

Таврический государственный агротехнологический университет

На правах рукописи

Попрядухин Вадим Сергеевич

УДК 621.374

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ МЕТОД И ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ
ТЕРАПИИ ГИНЕКОЛОГИЧЕСКИХ БОЛЕЗНЕЙ ЖИВОТНЫХ

Специальность 05.11.17 – биологические и медицинские
устройства системы

Диссертация на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Научный руководитель
Федюшко Юрий Михайлович
доктор технических наук, профессор

Мелитополь – 2017

СОДЕРЖАНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ.....	4
ВВЕДЕНИЕ.....	5
РАЗДЕЛ 1. АНАЛИЗ МЕТОДОВ И ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ ЖИВОТНЫХ.....	11
1.1. Особенности патологии репродуктивной системы крупного рогатого скота и методы её лечения.....	11
1.2. Применение информационно-волновых излучений в ветеринарии и медицине в лечебных целях.....	19
1.3. Анализ биофизических возможностей информационных электромагнитных излучений для лечения патологии яичников КРС.....	24
1.4. Анализ анатомического строения репродуктивной системы коров	29
1.5. Анализ излучающих систем для лечения патологии яичников крупного рогатого скота.....	31
Выводы по разделу.....	35
РАЗДЕЛ 2. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ЯИЧНИКАМИ КОРОВ.....	37
2.1. Постановка электродинамической задачи взаимодействия электромагнитного излучения с яичниками коров.....	37
2.2. Обоснование интегрального уравнения для распределения электрического поля внутри яичников коров.....	41
2.3. Теоретическое определение средней величины электрического поля внутри яичников коровы.....	46
2.4. Расчет зависимости среднего значения нормированного электрического поля от частоты возбуждающей волны.....	56
2.5. Действие информационных электромагнитных излучений на состояние мембран патогенных кокков, вызывающих воспаление яичников коров.....	60
2.6. Численные расчеты биотропных параметров электромагнитного поля для угнетения патогенных микроорганизмов в яичниках коров	63
Выводы по разделу.....	68
РАЗДЕЛ 3. АНТЕННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ ВОСПАЛЕНИЯ ЯИЧНИКОВ У КОРОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ ВОЛНАМИ МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА.....	69
3.1. Выбор типа излучающей антенны для лечения яичников коров	69
3.2. Выбор рупорного излучателя, который формирует аксиально- симметричную диаграмму направленности.....	79
3.3. Анализ диэлектрической линзы, используемой для корректировки ДН рупорного излучателя.....	86
Выводы по разделу.....	93

РАЗДЕЛ 4. АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ АНТЕННОЙ СИСТЕМЫ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО МЕТОДА ЛЕЧЕНИЯ БОЛЕЗНЕЙ ЯИЧНИКОВ КОРОВ.....	94
4.1. Цель и задачи экспериментальных исследований.....	94
4.2. Экспериментальные исследования излучающей системы для внутриутробного лечения яичников коров.....	94
4.3. Определение оптимальных параметров электромагнитного излучения для угнетения патогенных микроорганизмов, вызывающих воспаление яичников.....	102
4.4. Лечение воспаления яичников коров электромагнитным излучением миллиметрового диапазона в производственных условиях	107
Выводы по разделу.....	109
ВЫВОДЫ.....	110
Список литературных источников.....	112
Приложение А.....	127
Приложение Б.....	133

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ

ЭМП – электромагнитное поле;
ММ – миллиметры;
ЭМИ – электромагнитное излучение;
СВЧ – сверхвысокая частота;
КВЧ – крайневвысокая частота;
ЭП – электрическое поле;
КРС – крупный рогатый скот;
ПЖТ – персистентное жёлтое тело;
ЛГ – лютеинизирующий гормон
ДН – диаграмма направленности

ВВЕДЕНИЕ

Кризисное положение в животноводстве Украины характеризуется спадом производства молока и мяса за счет бесплодия маточного поголовья коров. Основными послеродовыми болезнями у коров являются акушерско-гинекологические болезни, среди которых основное место занимает патология гонад (яичников).

Экономический ущерб от этого заболевания складывается из низкой молочной продуктивности, не до получения телят, увеличения расхода спермы и ранней выбраковки скота. Быстрое и эффективное лечение патологии яичников крупного рогатого скота (КРС) важная экономическая задача, как в мясной, так и в молочной промышленности. Одним из перспективных направлений решения задач такого масштаба и сложности является использование информационных электромагнитных излучений, с оптимальными биотропными параметрами, для лечения патологии яичников КРС. В результате электромагнитного лечения болезней яичников КРС изменяется активность клеточных мембран, происходит активация различных молекул клеток, повышается скорость процессов окислительного фосфорилирования и биологического окисления, что приводит к повышению энергетики клеток и обменных процессов.

В диссертационной работе решается важная для теории и практики задача по определению параметров ЭМП и созданию антенной системы для внутриутробного лечения патологии яичников КРС.

Актуальность темы. Эксплуатация маточного поголовья КРС в значительной мере определяется возникновением у животных различных патологических изменений в организме и половых органах, ведущих к нарушению их воспроизводительной функции, потере плодовитости и продуктивности. Проведенный анализ показывает, что за последнее время яловость коров находится в пределах 17...30%, а в отдельных хозяйствах процент бесплодных животных достигает 40% от числа маточного поголовья. Экономический ущерб от содержания лишь одной коровы с нарушенной воспроизводительной функцией составляет в среднем до 100 грн. в сутки. Основными болезнями яичников у коров, чаще всего, встречаются: воспаление яичников (овариит) – до 15%; гипофункция яичников – до 30%; персистентное жёлтое тело – до 90%; киста яичников – до 30%; атрофия яичников – до 40%; склероз яичников – до 10%, от числа бесплодных коров.

В современных условиях для лечения болезней и расстройства функции яичников коров используются антибиотики, гормоны и другие химические препараты. Тем не менее, терапевтическая эффективность остаётся низкой, так как при назначении лечебных мероприятий не учитывается сложный многокомпонентный комплекс в регуляции половой функции, динамика содержания гормональных рецепторов и чувствительность к гормонам соответствующих компетентных структур.

Кроме того, антибиотики и другие медикаменты, попадая в организм человека через молоко и мясо коров, угнетают иммунитет, поражают печень и

другие органы, что приводит к различным заболеваниям. Поэтому немедикаментозное лечение яичников у коров является актуальной задачей.

Литературный анализ показывает, что лечение болезней яичников у коров возможно на основе применения информационного электромагнитного излучения КВЧ диапазона. При воздействии электромагнитного излучения на патологические процессы в яичниках КРС происходит уничтожение патогенных микроорганизмов (стафилококков), понижение рецепторной чувствительности, уменьшение длительности фазы воспаления и интерстициального отёка, повышение скорости кровотока, улучшение микроциркуляции крови и лимфы, увеличение поглощения тканями кислорода, активация регенеративных процессов, ускорение и коррекция гормональных и ферментативных систем, что приводит к выздоровлению животного. Анализ взаимодействия информационного ЭМП на клеточном уровне показывает, что электромагнитное информационное излучение следует воспринимать как тончайший инструмент почти безграничного влияния на биологические процессы в живом организме. Однако, желаемые изменения свойств биологических объектов могут быть получены только при оптимальном сочетании биотропных параметров воздействующего ЭМП (частота, плотность потока мощности, экспозиция, модуляция, поляризация). Определение биотропных параметров ЭМП для лечения болезни яичников КРС связано как с теоретическими работами, исследующими процесс взаимодействия информационных ЭМП с яичниками коров, с учётом их морфологического строения и электрофизических свойств, так и антенной системы для внутриутробного лечения, что является актуальной задачей.

Связь работы с научными программами, планами, темами. Тема диссертационной работы связана с общими Украинскими программами: постановлением Президиума Национальной академии наук Украины от 25.02. 2009 г №55 «Основні наукові напрямки, найважливіші проблеми фундаментальних досліджень у галузі природничих, технічних і гуманітарних наук на 2009...2013 роки»; постановлением Кабинета Министров Украины «Про основні напрямки державної аграрної політики на період до 2015 р.». По планам НИР и ОКР Таврического государственного агротехнологического университета были выполнены следующие научно-исследовательские работы: «Разработка научных систем, технологий и технических средств для обеспечения продовольственной безопасности Южного региона Украины», номер государственной регистрации 0102U000678; «Практические аспекты применения низкоэнергетического ЭМИ в медицине и сельском хозяйстве», номер государственной регистрации 0104U003720.

Цель и задачи исследования. Целью диссертационной работы является создание электронной системы и информационного электромагнитного метода для внутриутробного лечения болезней и расстройства функции яичников маточного поголовья крупного рогатого скота.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ физиологических особенностей болезней яичников у коров и методов их лечения;
- провести анализ биофизического действия информационных электромагнитных излучений для лечения болезней и расстройства функции яичников коров;
- разработать модель взаимодействия информационного электромагнитного излучения КВЧ диапазона с яичниками коров;
- на основе теоретических исследований определить биотропные параметры ЭМП для лечения яичников животных;
- провести теоретические исследования по определению параметров антенной системы для внутриутробного лечения болезней яичников крупного рогатого скота;
- провести экспериментальные исследования по влиянию информационных ЭМИ КВЧ диапазона на болезнь яичников коров в лабораторных и производственных условиях.

Объект исследования. Процесс лечения патологии яичников крупного рогатого скота информационным ЭМИ КВЧ диапазона.

Предмет исследования. Электронные системы и метод информационной электромагнитной технологии для лечения патологии яичников животных КРС.

Методы исследования основываются на способах решения интегральных и дифференциальных уравнений; биофизики и теоретических положениях электродинамики; математической физики; электроники и схемотехники; математических методах планирования полного факторного эксперимента.

Научная новизна полученных результатов состоит в том, что в данной работе:

- впервые, на основе разработанной модели, теоретически исследован процесс взаимодействия информационных ЭМП КВЧ диапазона с яичниками крупного рогатого скота, которым необходима без медикаментозное лечение;
- впервые определены биотропные параметры информационного ЭМП КВЧ диапазона для лечения болезней и расстройства функции яичников коров;
- получила дальнейшее развитие теория анализа антенной системы для лечения воспалений яичников животных, отличающая от известных тем, что в ней определены параметры рупорной антенны, согласованной с полым диэлектрическим волноводом с собирающей линзой;
- впервые математически интерпретировано влияние параметров ЭМП на процесс лечения болезней и расстройства функции яичников коров.

Практическое значение работы состоит в том, что полученные результаты формируют научно-техническую базу по созданию электронных систем и электромагнитного метода лечения болезней и расстройства функции яичников коров. На основе теоретических и экспериментальных исследований была создана излучающая система в КВЧ диапазоне волн для внутриутробного лечения болезней и расстройства функции яичников коров. Применение ЭМИ для лечения яичников коров позволит исключить медикаменты, сократить в 2...3 раза продолжительность лечения, повысит результативность лечения до

98%. Экономическая эффективность электромагнитной терапии воспаления яичников коров составит около 1000 тыс. грн. на корову. Результаты исследований апробированы в 2015 – 2016 г в хозяйствах Кегичёвского района Харьковской области

Личный вклад соискателя в научных работах, написанных в соавторстве состоит в следующем:

- в работе [32] автору принадлежит обоснование с позиций биофизики применение информационного электромагнитного излучения миллиметрового диапазона длин волн для лечения болезней яичников животных.

Апробация результатов диссертации. Основные положения и результаты диссертационной работы заслушивались и обсуждались на: международной научно-технической конференции молодых учёных «Відновлювальна енергетика, новітні автоматизовані електротехнології в біотехнічних системах АПК» (Україна), (Київ, НУБіП-2016 р.); міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України» (Харків, ХНТУСГ, 2016 р.); 3 Всеукраїнської науково-технічної конференції «Актуальні проблеми автоматики та приладобудування» (Харків, НТІ (ХПІ), 2016 р.); международной научной конференции (Россия), (Белгород, БГСХА, 2014 г.); международной научно-технической конференции «Энергосбережение – важнейшее условие инновационного развития АПК» (Минск, БГАТУ, 2015 г.); научно-практической студенческой конференции (Харьков, ХНТУСХ, 2014 г.); научно-технической конференции научно-педагогических работников, аспирантов и учёных (г. Каменец-Подольский, ПГАТУ 2014 г.).

Публикации. Основные положения диссертационной работы опубликованы в 2 статьях научно-технических сборниках, 3 статьях научно-технических журналах и 3 тезисах.

РАЗДЕЛ 1. АНАЛИЗ МЕТОДОВ И ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ ЖИВОТНЫХ

1. Особенности патологии репродуктивной системы крупного рогатого скота и методы её лечения

Увеличение производства животноводческой продукции на сельскохозяйственных предприятиях зависит от интенсификации воспроизводства крупного рогатого скота. Однако интенсификации воспроизводства крупного рогатого скота в значительной мере сдерживается возникновением у маточного поголовья животных различных патологических изменений в организме и половых органах, ведущих к нарушению их воспроизводительной функции, потере плодовитости и продуктивности [1, 2]. В животноводческих хозяйствах Украины ежегодно отмечается до 40% уровень бесплодия и яловости коров. Основной причиной бесплодия коров являются морфологические изменения и расстройства функций яичника, которые развиваются на фоне нарушений в кормлении, содержании и использовании животных, а также в организации и проведении искусственного осеменения [3...7].

Анатомическая структура организма маточного поголовья коров, деятельность всех его органов и тканей находятся в тесной функциональной связи с яичниками [8, 9]. Однако работа органов животных, особенно эндокринной и нервной систем, отражаются на морфологии и функции яичников [10, 11]. Нервной системе свойственно программирование быстрых процессов, эндокринной – более медленной.

Эндокринная система использует в качестве мобильных посредников разнообразные гормоны, которые секретируются специфическими железами и в процессе транспортировки воздействуют на отдалённые ткани, в том числе и на морфологические изменения и расстройства функций яичника. Нервная система играет интегрирующую роль в регуляции эндокринных функций [12, 13].

Изучение функциональной морфологии яичников коров в норме и патологии показывает, что большинство болезней яичников возникают в послеродовой период, вызывая временную или постоянную потерю организмом воспроизводительной способности [14...17]. В основу классификации болезней яичников у коров положена тесная взаимосвязь общего состояния организма животного и работы его органов с морфо-функциональным состоянием яичников [18...21].

На рис. 1.1 приведены основные виды патологии яичников животных КРС.

Рис.1.1. Основные виды патологии яичников животных КРС

Оофорит (овариит) является инфекционным процессом воспаления яичников [7, 18, 19]. Как и большинство воспалительных процессов болезнь протекает в острой и хронической формах. По характеру экссудата воспаление может быть: серозным, геморрагическим, гнойным, фибринозным [14, 19]. Острый оофорит развивается при внедрении в яичники возбудителя инфекции при воспалении матки, труб, брюшины и других органов; после отдавливания жёлтого тела, кист и прочих воздействий травматического характера. Реже оофорит возникает вследствие проникновения возбудителя инфекции гематогенным путём [20, 21]. Острые оофориты сопровождаются повышением температуры тела, животное угнетено, отказывается от корма, снижает удои. Ритм половых циклов нарушается. Ректальным исследованием обнаруживают увеличение пораженного яичника до размеров небольшого куриного яйца. Фолликулов и жёлтых тел в яичнике нет. Наряду с поражением яичников обнаруживают патологию матки и яйцепроводов [22, 23]. При хроническом оофорите общее состояние не изменяется. Иногда паренхима яичника атрофируется, белочная оболочка сильно утолщается, и яичник значительно уменьшается в объёме. Если вирулентность микрофлоры слабая, а защитные силы организма хорошо выражены, развитие острого оофорита после своевременного лечения прерывается, и деятельность яичника восстанавливается. При гнойном оофорите иногда возможно осложнение перитонитом со смертельным исходом. При хроническом оофорите болезнь может сопровождаться перерождением зародышевого слоя яичника. Животные подлежат выбраковке [18, 19]. Для лечения острого воспаления яичников применяют антибиотики и сульфаниламидные препараты в общепринятых дозах. Для внутримышечного применения используют пенициллин, стрептомицин, тетрациклин, неомицин, эритромицин и другие антибиотики в различных комбинациях. Указанные препараты вводят 2...3 раза в день из расчёта 3000 – 5000 ЕД/кг массы животного [18, 19, 24].

Гипофункция яичников обусловлена нарушением гаметообразующей и стероидосинтезирующей функции яичников в условиях хронического стресса. Гипофункция яичников занимает значительное место в структуре гинекологической патологии у коров [13, 20]. Заболевание характеризуется нарушением развития и созревания фолликулов, овуляции и формирования жёлтых тел. Непосредственная причина гипофункции заключается в снижении синтеза гонадотропных гормонов гипофиза и в ослаблении реакции яичников на их действие. Значительное влияние на дисфункцию яичников оказывают кортикостероидные гормоны, синтез которых повышается при различных стрессовых воздействиях на животных. Гипофункция яичников проявляется уменьшением их размеров, они не содержат фолликулов и жёлтых тел. При ректальном исследовании яичники небольшие и имеют гладкую поверхность. При этом у коров отсутствуют половые циклы, возникает стойкое бесплодие, животные становятся непригодными для воспроизводства и подлежат выбраковке [20, 25, 26].

Для лечения коров при гипофункции яичников используют Сурфагон в дозе 10 мл (50 мкг) в/м; Фоллигон 500 – 1000 МЕ; Фертагил 2,5 – 3 мл за 30 минут до осеменения и другие лекарственные препараты. Лекарственные средства, применяемые для лечения коров, не должны снижать качество производимой продукции (молока) [12, 23, 26].

Персистентное жёлтое тело (ПЖТ) – считают жёлтое тело в яичнике небеременной коровы, задержавшееся и функционирующее более 25...30 дней [18...20]. Жёлтые тела в яичниках образуются на месте лопнувших фолликулов и могут быть трёх разновидностей: жёлтое тело полового цикла; жёлтое тело беременности; персистентное жёлтое тело. Частота распространения ПЖТ регистрируется у 30-60% бесплодных коров. Непосредственной причиной ПЖТ является недостаточная выработка маткой лютеолитического фактора ($PgF_{2\alpha}$). Персистентное жёлтое тело выделяет в кровь гормон прогестерон, который блокирует овуляцию [10, 13, 20].

К факторам, способствующим возникновению ПЖТ, относятся: недостатки в кормлении; хронические патологические процессы, протекающие в матке; неполноценные половые акты; отдельные формы эндометритов. Бесплодие коров при ПЖТ яичников может продолжаться не только месяцами, но и годами [20-23]. Все терапевтические приёмы при персистентных жёлтых телах можно подразделить на консервативные и оперативные. Оперативные методы основаны на удалении жёлтого тела из яичников путём его энуклеации через прямую кишку. Консервативный метод предусматривает применение синтетических аналогов простагландина из группы $PgF_{2\alpha}$ (магэстрофан, тимэстрофан, просольвин, динолитик). Препараты вводят в дозе 500 мкг (2 мл) однократно. Кровы проявляют охоту через 48...72 часа после инъекции препаратов [12, 13, 26].

Кисты яичников – сферические полостные образования, возникающие в тканях этих органов из неовулировавших фолликулов в результате ановуляторного полового цикла. По функциональному состоянию разделяются на фолликулярные и лютеиновые [18, 19]. Лютеиновые кисты отличаются от фолликулярных тем, что внутренняя поверхность частично или на всём протяжении выстлана слоем лютеиновой ткани, толщина которой варьирует от едва заметной до 0,5 см. Макроструктура лютеиновых кист зависит от степени и характера лютеинизации их стенки. Они могут быть толстостенными или тонкостенными с упругой или мягкой флюктуацией, шаровидными образованиями диаметром от 21,0...35,6 мм.

Полость лютеиновой кисты тела значительно меньше фолликулярной и содержит гомогенный секрет с небольшим количеством прогестерона (0,38...4,2 нг/мл). Кисты чаще бывают одиночными, реже множественными. В этих случаях в одном или обоих яичниках обнаруживают одновременно фолликулярную и лютеиновую кисты, находящиеся на разных стадиях развития [10, 20].

Непосредственными причинами для возникновения кисты являются: эндокринные нарушения, которые приводят к образованию на месте фолликула кисты; использование больших доз гормональных препаратов; скормливание

кормов, богатых эстрогенами [22, 23].

Лечебный метод кисты предусматривает внутримышечное введение одного из синтетических аналогов простагландина из группы $\text{PgF}_{2\alpha}$ в дозе 500 мг, двукратно с интервалом 24 часа [12, 13]. При отсутствии эффекта курс лечения повторяют через две недели с учётом функционального состояния яичников.

Фолликулярные кисты – тонкостенные, реже толстостенные напряжённо или мягко флюктуирующие шаровидные образования диаметром 2...6 см. Киста имеет истончённую оболочку и её легко можно раздавить. Кисты обладают низкой прогестагенной активностью. Низкий уровень прогестерона и лютеотропина у коров с фолликулярными кистами свидетельствует о нарушении гормональной функции яичников вследствие недостаточной гонадотропной стимуляции. При кистах яичников прогноз бывает осторожным, так как лечебные мероприятия не всегда дают надлежащий эффект, а иногда кистозные поражения возобновляются, обуславливая постоянное бесплодие [18, 19]. Для лечения коров при фолликулярных кистах яичников используют три метода: медикаментозный; хирургический; комбинированный. Медикаментозный метод предусматривает использование Сурфагона 25 мкг (5 мл) в течении 3-х дней в/м. На 11-й день после первого введения Сурфагона инъецируют Тмэстрофон в дозе 2 мл двукратно с интервалом 10...12 часов. За 8...10 часов до первого осеменения коров инъецируют внутримышечно 4...5 мл Сурфагона [12, 13].

К атрофии яичников относится заболевание, которое сопровождается уменьшением яичников в объёме с одновременным снижением их функции. Двусторонняя атрофия яичников наиболее часто возникает как результат недостаточного и несбалансированного кормления. Иногда это заболевание бывает следствием ранее имевшихся оофоритов. Атрофия яичников, как правило, является следствием гипофункции яичников [18, 20, 22].

При атрофии в яичниках развиваются дистрофические процессы различного характера, глубина которых зависит от силы и длительности действия этиологического фактора. Длительное же действие раздражителей различной продолжительности и силы сопровождается глубокими и необратимыми изменениями в паренхиме и строме, вызванными развитием соединительной ткани. В легких случаях атрофия яичников сопровождается прекращением роста и созревания фолликулов, атрезией их, уменьшением в яичнике интерстициальной ткани и запустеванием части его сосудов, что приводит к незначительному уменьшению объема коркового и мозгового слоев яичника. При атрофии яичников происходит понижение или прекращение выработки половых гормонов, но необратимые изменения в яичниках или не возникают, или проявляются лишь в слабой степени и только в отдельных участках яичника [18, 25, 26]. В затяжных случаях при данном заболевании яичников отмечается перерождение и уменьшение коркового и мозгового слоев яичника, развитие соединительной ткани и другие необратимые изменения. Размер яичника при этом значительно уменьшается, рост фолликулов и желтых тел прекращается, матка атоничная, уменьшенная в размерах [10, 18, 22, 27].

При атрофии яичников отмечается сбой в половых циклах коров. Яичники становятся меньших размеров, функция их прекращается.

Для лечения коров при атрофии яичников используют Сурфагон в дозе 10 мл (50 мкг) в/м; Фоллигон 500 – 1000 МЕ; Фертагил 2,5 – 3 мл за 30 минут до осеменения и другие лекарственные препараты. [12, 23, 26].

Склероз яичников характеризуется замещением их паренхимы соединительной тканью. Склероз яичников является следствием воспаления интерстициальной ткани с последующей ее гиалинизацией. Под влиянием одного из указанных или других факторов начинается усиленный рост соединительной ткани яичника, которая оказывает постоянное давление на паренхиму и строму, вызывая склероз яичника.

Соединительная ткань затем подвергается гиалинизации с образованием плотных очагов по всему яичнику или отдельных его участках. Белочная оболочка яичника сильно уплотняется, образование фолликулов в яичниках приостанавливается. Половая цикличность нарушается или вовсе прекращается. Если разрастание соединительной ткани обусловлено травмой яичника, соединительная ткань разрастается по месту травмы, а второй яичник может функционировать нормально. При интенсивном развитии соединительной ткани яичники могут быть увеличены в размерах. Созревающие фолликулы, жёлтые тела или кисты в яичниках отсутствуют.

С течением времени развивается атония матки, а затем она атрофируется, что приводит к постоянному бесплодию [18, 23, 26]. Для лечения склероза яичников, в начальной стадии заболевания, можно использовать Сурфагон в дозе 10 мл (50 мкг) в/м; Фоллигон 500 – 1000 МЕ; Фертагил 2,5 – 3 мл за 30 минут до осеменения и другие лекарственные препараты [12, 23, 26, 27].

Персистенция фолликула – патология, сопровождающаяся нарушением сроков овуляции у коров в течение полового цикла. Персистенция фолликула связана с эндокринными нарушениями, которые сопровождаются уменьшением предовуляционного выброса лютеинизирующего гормона (ЛГ) в кровь [10, 12, 20]. К факторам, вызывающим персистенцию фолликулов, относятся: ожирение коров; недостаток в рационах витаминов и микроэлементов; стрессы (грубое обращение, удары и др.). Данная форма дисфункции яичников проявляется в виде многократных неплототворных осеменений и постлибидными метроррагиями (маточными кровотечениями на вторые-третьи сутки после окончания половой охоты). Основная стратегия лечебных мероприятий при данных патологиях состоит в индукции овуляции. При проявлении охоты за 8...10 часов до осеменения вводят Сурфагон – (2...5) мл в/м, либо Фертагил – 2,5 мл за 30 минут до осеменения, либо Хорулон – 1500 м.е. за 30 минут до осеменения [25, 27]. Проведенный анализ показывает, что в современных условиях для лечения болезней и расстройства функции яичников коров используются антибиотики, гормоны и другие химические препараты. Тем не менее, терапевтическая эффективность остаётся низкой. Применение большого количества медикаментов и гормонов для лечения акушерско-гинекологических болезней коров приводит к накоплению их в организме животных [28, 29]. Антибиотики и гормональные препараты с

молоком и мясом поступают в организм человека, угнетают иммунитет, поражают печень и другие органы, что приводит к различным заболеваниям.

Таким образом, без медикаментозные методы лечения патологии яичников, удовлетворяющие практике, в настоящее время отсутствуют.

1.2. Применение информационно-волновых излучений в ветеринарии и медицине в лечебных целях

Информационные электромагнитные излучения КВЧ диапазона находят всё большее применение в ветеринарии и медицине, что подтверждает их высокую терапевтическую эффективность, отсутствие осложнений и побочных отрицательных эффектов. Применение ЭМИ информационного характера для лечения животных связано с тем, что ЭМП обладают рядом положительных особенностей: энергосбережение; экологическая чистота; экономичность; технологическая и аппаратурная простота; без медикаментозный метод лечения [30...36].

Анализ исследований по воздействию информационных ЭМП на биологические объекты, проводимых: в Московском центре информационной медицины под руководством Бессонова А. Е. в ИРЭ РАН под руководством Н. Д. Девяткова; в ТулГУ под руководством Нефедва Е. Н.; а Харьковском НТУСХ под руководством А. Черенкова, Н. Лисиченко, Ю. Мегеля, Н. Косулиной; в Новосибирском институте под руководством Казначеева А. П. показывают, что наибольший терапевтический эффект в ветеринарии и медицине следует ожидать от информационных электромагнитных излучений миллиметрового диапазона [32...35].

Из анализа экспериментальных исследований по воздействию ЭМИ на биологические объекты различной природы следует, что указанные воздействия оказывают стимулирующее действие на функции кроветворения и состав крови животных [37...40].

При определенных биотропных параметрах ЭМП, используемых для облучения животных, были установлены изменения в содержании белка и белковых фракций, в увеличении в крови меди, гистамина, холестерина [37, 39, 40].

В экспериментах также было установлено, что ЭМИ КВЧ диапазона способствует повышению резистивности эритроцитов к влиянию низких температур и снижает эффект рентгеновского облучения [30, 31, 41].

В опытах с животными была проведена СВЧ-терапия семи телят с признаками бронхопневмонии. После десяти сеансов СВЧ-терапии у четырех телят температура нормализовалась, исчезли хрипы, появились аппетит и подвижность. У остальных телят после СВЧ-терапии было отмечено улучшение общего состояния [30]. ЭМИ миллиметрового диапазона длин волн было использовано для лечения эмфиземы легких у жеребца. Заболевание было

связано с кашлем, хрипотой, жестким напряженным дыханием, сильным переутомлением. После десяти сеансов КВЧ-терапии было установлено выздоровление. Признаки эмфиземы исчезли, появился аппетит, общий тонус повысился [30]. Применение КВЧ-терапии позволило вылечить восемь телят айширской породы в возрасте 3...4 месяцев, больных бронхопневмонией [30]. У телят наблюдались: кашель, повышенная температура, угнетенное состояние, отказ от корма. У семи телят было средней тяжести, а у одного очень тяжелое. В течение трех дней КВЧ-терапию применяли с экспозицией по 40 минут, а в последующие дни – по 30 минут. После 6 сеансов было установлено улучшение состояния у всех животных: кашель прекратился, температура нормализовалась, животные стали принимать корм. Полное выздоровление наступило через восемь сеансов. ЭМИ миллиметрового диапазона применяют и для лечения мастита у коров.

По данным работ [42...44], корова, пораженная маститом, теряет до 15% годовой молочной продукции, зачастую выбраковывается. Современное лечение мастита у коров связано с использованием большого количества антибиотиков. Антибиотики с мясом и молоком поступают в организм человека и приводят к появлению у него устойчивых рас микробов. Поэтому немедикаментозное лечение мастита у коров является особенно актуальным [42].

Подтверждена положительная роль облучения волнами миллиметрового диапазона при лечении злокачественных опухолей, регенерации мягких и костных тканей [45...47]. В работах [30, 48] было отмечено, что ЭМИ способствует быстрому заживлению ран без применения антибиотиков и других препаратов. В исследованиях было использовано 95 м коров: с гнойными ранами 36 голов; с абсцессов вымени 43 коровы, после операционными ранами 13 коров; с экземой 3 коровы. У животных с гнойными ранами была выявлена кокковая микрофлора: стафилококки (*St. Aureus*) 85,5%; стрептококки (*str. Agalastial*) 12,3%; 3,2% другие микроорганизмы. Для лечения инфекционных ран кожного покрова животных было применено излучение миллиметрового диапазона с частотой 36,72 ГГц на расстоянии 25 см от раны с плотностью потока мощности 5 Вт/м² и экспозицией 4 мин, утром и вечером. проведенные исследования показали, что электромагнитное излучение миллиметрового диапазона ускоряет процесс регенерации тканей инфекционных ран, что подтверждается увеличением фибробластов в размерах их цитоплазмы, ядер, массой произведенных коллагеновых волокон. При восстановлении кожного покрова животных электромагнитное излучение стимулирует иммунную систему организма, оказывает бактерицидное влияние на ткань, усиливает обменные процессы в организме животных.

В работе [47] установлено, что микроволновое излучение с параметрами: частота 3,75 ГГц; плотность потока мощности 10 Вт/м²; экспозиция 15...16 мин, при переломах костей КРС вызывает ускоренное костеобразование. Из опыта следует, что на 3 сутки после облучения перелома появляется мелкопелистый регенерат, который на 14 сутки образует регенерат, состоящий из вновь образованной пластинчатой кости, при этом имело место рассасывание и

замена старого вертикального слоя вновь образованным, с сохранением костномозговой полости.

В производственных условиях было проведено лечение 7 коров и 8 телят с диагнозом серозный персеостит плюсневелой кости. Лечение проводили при тех же параметрах СВЧ в течении 10 суток, по 15 мин в сутки. После 10 суток лечения животные выздоровели.

В работе [49] было отмечено изменение всасывательной и секреторной деятельности желудка и кишечника животных при гастрите и энтерите и восстановление этих функций при воздействии на организм микроволнового излучения. Накоплен обширный клинический и экспериментальный материал, свидетельствующий об изменениях иммунного статуса больных людей и экспериментальных животных после воздействия ЭМП мм-диапазона низкой интенсивности, обусловленных изменением активности иммунокомпетентных клеток [43, 44].

Продemonстрировано, что электромагнитное крайневысокочастотное излучение низкой интенсивности снижает поглощение йода тиреоидной тканью [50]. Это является экспериментальным обоснованием использования КВЧ-излучения в комплексной терапии интенсификации радиойодом в качестве радиопротекторного воздействия. Доказано эффективность использования мм-диапазона как монотерапии, так и в комбинации с традиционной медикаментозной терапией при лечении больных ишемической болезнью сердца [51].

При стенокардии ЭМП способствуют уменьшению частоты приступов и переходу прогрессирующей стенокардии в стабильную, росту при этом резервных возможностей и аэробной мощности миокарда, что коррелирует с показателем физической работоспособности больных [52]. Получена доказанность эффективного использования ЭМП при лечении гастродуоденальных язв [53], лечение неврологических больных [54], лечение больных с гиперпластическими процессами в матке [55], в комбинированном лечении ортопедических больных [56], заболеваний урологического профиля [31], при лечении больных хроническим необструктивным бронхитом [30].

Данные многочисленных исследований позволили предположить, что выбором биотропных параметров ЭМИ, можно добиться благоприятного влияния на ход лечения при многих болезнях, с которыми данный вид организмов может бороться. Доказано, что сигналы, подобные ЭМП, вырабатываются и используются в определенных целях самим организмом, а внешнее облучение лишь имитирует их. Проникая в организм, эти излучения на определенных (резонансных) частотах трансформируются в информационные сигналы, осуществляющие управление и регулирование восстановительными процессами или приспособительными процессами в нем [57...62].

Проведенный анализ позволяет сделать вывод о том, что методы электромагнитной терапии представляют значительный интерес для ветеринарной практики. Широкое применение фармакологических препаратов, содержащих антибиотики, гормоны и другие химические средства, приводят зачастую к негативным явлениям, накоплению их в организме, снижению

качества продуктов животноводства, что может вызывать болезни людей. Электромагнитное излучение при воздействии на патологические процессы в организме животных приводит к понижению рецепторной чувствительности, уменьшению длительности фазы восстановления и интерстициального отёка, активизации регенеративных процессов, ускорению и коррекции гормональной и ферментативной систем, улучшению микроциркуляции крови и лимфы. При соответствующих параметрах ЭМП, воздействующего на кровь животного, улучшается транспорт питательных веществ и отработанных продуктов метаболизма, поддержания водного баланса тканей, перенос активных субстанций, регулирующих характер и активность обменных процессов в клетках и тканях.

В связи с тем, что проблемы воспалительных заболеваний яичников маточного поголовья КРС является до настоящего времени актуальной, ввиду большой частоты осложнений и низкой эффективности проводимой традиционной терапии, нередко приводящей к потере воспроизводства. При этом следует отметить, что эффективное лечение акушерско-гинекологических заболеваний животных можно ожидать от действия информационных ЭМП с оптимальными биотропными параметрами. Однако определение оптимальных параметров ЭМП для лечения животных, требует разработки моделей, учитывающих параметры воздействующего ЭМП и параметры гинекологических органов животных.

1.3. Анализ биофизических возможностей информационных электромагнитных излучений для лечения патологии яичников КРС

Многочисленные наблюдения и аналитические обобщения лечебных эффектов дают основание считать, что информационное электромагнитное излучение КВЧ диапазона является фактором, повышающим неспецифическую резистентность организма животных. Наблюдаемые закономерности действия на живые организмы информационных сигналов электромагнитной природы объясняются тем, что, проникая в организм, эти излучения на определённых (резонансных) частотах имеют в своём составе информационные сигналы, которые осуществляют управление и регулирование восстановительных или приспособительных процессов в организме животных. Это означает, что при определённых биотропных параметрах электромагнитного излучения (частота, плотность потока мощности, экспозиция, модуляция и поляризация) это излучение будет осуществлять лечение больных яичников маточного поголовья КРС [32, 43...45, 63...65].

Высокая терапевтическая эффективность информационных электромагнитных излучений состоит в том, что связь между клетками организма, передача и обработка информации осуществляется путём генерации ими электромагнитных излучений, амплитудно-частотная характеристика

которых нарушается при патологических состояниях. В процессе лечебного воздействия, искусственно генерируемые электромагнитные излучения, трансформируясь в акустоэлектрические колебания в плазматических мембранах клеток, синхронизируют их автоколебания, что приводит к образованию информационного сигнала, восстанавливающего гомеостаз [63, 64, 66...68].

Акустоэлектрические волны под действием электромагнитного излучения могут возникать также на внутренних мембранах митохондрий, нарушая хеомосмотическое сопряжение. Это связано, по-видимому, с тем что ухудшаются условия для клеточного дыхания, в частности переход электронов по компонентам цепи цитохромов, что снижает потребление кислорода клетками, замедляя процесс утилизации ионов водорода на внутренней стороне мембраны. С другой стороны, должны учитываться условия синтеза молекул АТФ, т.к. колебания мембраны приводят к увеличению скорости движения протонов относительно мембраны по протонному каналу. Энергетика взаимодействия молекул АДФ с протонами возрастает, увеличивая вероятность прохождения реакции АДФ → АТФ. Таким образом, действие информационных ЭМИ сводится в пользу процессов фосфорилирования при некотором антиоксидантном эффекте [63, 67, 68].

Синхронизация колебаний автогенераторов внешним информационным электромагнитным излучением приводит к изменению спектральных характеристики всех автогенераторов, при которых фазы колебаний автогенераторов совпадают с фазой внешнего поля в данном объеме биологического объекта. Как следует из работ [69...71] синфазные колебания способны вызвать конформационные перестройки клеточных структур, влиять на проницаемость биологических мембран и служить информационным сигналом для регуляторных систем всего биологического объекта.

С позиций биофизики основная роль в установлении информационного гомеостаза принадлежит, в первую очередь, клеточным мембранным системам, которые ответственны за биоэнергетические процессы, скорость поступления и выделения веществ клетками. По современной теории трансмембранного транспорта, именно электрическое поле внутри мембраны создает потоки необходимых веществ из наружной среды внутрь клетки и из клетки в наружную среду через специальные гидрофильные каналы, вероятнее всего, липопротеиновой природы. Скорость проникновения ионов через мембрану определяется такими свойствами, как толщина, значение диэлектрической проницаемости, наличие фиксированных электромагнитных зарядов на мембране, размеры и число пор в мембране, наличие фиксированных зарядов в порах и некоторыми другими [67, 71, 72...75].

Действие КВЧ-излучения на биологические мембраны во многом обусловлено особенностями структурной организации и функционирования мембран, представляющих собой высокоупорядоченные надмолекулярные ансамбли с ярко выраженными векторными свойствами. Основная часть поглощаемой в мембране избыточной КВЧ-энергии сразу же рассеивается в среду, повышая общую температуру объекта. При этом весьма вероятно, что

действие СВЧ-энергии влечет за собой перераспределение электрических сил, участвующих в стабилизации мембраны. В результате меняется степень связывания K^+ , Ca^{2+} и других ионов в мембране (в том числе в ионных каналах), а также возникают локальные изменения физико-химических свойств поверхности мембран (микровязкость, рН, поверхностное натяжение, эффективный заряд) [73...77].

С этих позиций основными причинами патологий животных и людей являются необычные для нормальной жизнедеятельности не ферментативные реакции, протекающие в мембранах: в большинстве случаев это цепные реакции окисления фосфолипидов клеток с участием свободных радикалов, которые, в свою очередь, ведут к повреждению структурных элементов клеток и нарушению функции регулирования. Клетка начинает работать в нештатном режиме. В этих случаях даже малая внешняя сила электромагнитной природы может существенно влиять на важнейшие параметры клетки как автогенератора [64, 73...76].

Живые организмы являются динамическими системами, с большим числом параметров внутренних процессов. В живых организмах содержатся многочисленные управляющие, регулирующие, страхующие системы, удерживающие параметры в строго определённых пределах. Поэтому функционирование указанных систем по поддержанию жизнедеятельности живого организма связано с основной структурно-функциональной единицей живого организма – клеткой. Все значимые для биообъекта изменения начинаются и заканчиваются на клеточном уровне, клетка является универсальным комплексом, начальным и конечным этапом реализации всех биологических процессов [67, 69, 70...72]. Источником и приемником информационных электромагнитных полей является живая клетка, которая является «крупномасштабной» элементной базой для сложнейшего устройства для обработки сверхбольших массивов информации [64, 72, 75, 77].

Живая клетка представляет подвижную саморегулирующую систему. Её внутренняя организация поддерживается активными процессами, направленными на ограничения, предупреждения или устранения сдвигов, вызываемых различными воздействиями из окружающей и внутренней среды. Установлено важнейшее свойство клетки – её способность возвращаться к исходному состоянию после отклонения от некоторого среднего уровня, вызванного одним или многими «возмущающими» факторами, в том числе и электромагнитными излучениями [64, 78].

Теоретический и экспериментальный материал по проблеме биологического действия ЭМИ свидетельствует, что информационное действие электромагнитного излучения должно иметь резонансный характер [45, 77]. Биологические макромолекулы и надмолекулярные системы имеют некоторые собственные частоты колебаний, лежащие в диапазоне СВЧ. Так, в биомембранах полярные головки фосфолипидов совершают вращательное движение с частотой 109 Гц, а характеристическая частота связанной воды лежит в области 108 – 109 Гц. В области 1010 – 1011 Гц расположены характеристические частоты COO^- , NH_3^+ и других групп, играющих важную

роль в функционировании белковых молекул. Кинетика элементарных актов ферментативного катализа характеризуется следующими временами: взаимное узнавание фермента и субстрата – 10^{-8} – 10^{-9} с; локальные микрохимические изменения в активном центре – 10^{-10} – 10^{-11} с; конформационная релаксация в фермент-субстратном комплексе 10^{-3} – 10^{-7} с [63, 64, 74]. Следовательно, в биологическом объекте резонансное поглощение энергии ЭМП возможно в дециметровом, сантиметровом и КВЧ диапазонах длин волн.

Следует также отметить, что минимальная мощность электромагнитного излучения, воздействующего на больной орган животного, необходимая для того, чтобы вызвать значительный терапевтический эффект, ничтожна мала по сравнению с тепловой мощностью, отдаваемой самим организмом во внешнее пространство. В то же время мощность поступающего извне излучения вполне достаточно для формирования сигналов управления, энергия которых в любых информационных системах на несколько порядков меньше энергии системы в целом, определяемой мощностью исполнительных органов или устройств [64, 69].

Величина плотности потока мощности электромагнитного излучения для лечения больных органов животных КРС зависит от конкретных механизмов взаимодействия внешнего поля с клеточными осцилляторами, биотропных параметров электромагнитного излучения, уровня шумов в органах животных и должна превышать уровень слабых не ковалентных связей в объекте: ионных взаимодействий, водородных связей и ван-дер-ваальсовых взаимодействий. С помощью этих связей реализуется информация, заключенная в последовательности макромолекулярных цепей. Практические уровни энергии электромагнитного излучения для воздействия на эмбрионы животных должны составлять единицы – десятки мкВт/см² [64, 74, 78].

Многочисленные наблюдения и аналитические обобщения лечебных эффектов дают основание считать, что КВЧ-излучение является фактором, повышающим неспецифическую резистенцию организма. А так как в основе метода терапии волнами КВЧ диапазона лежит влияние на управляющую систему организма и корректировка ее для поддержания гомеостаза, то в основном это метод является без лекарственным.

Предполагается, что эффективное действие информационных электромагнитных излучений КВЧ диапазона на процесс лечения патологии яичников маточного поголовья КРС происходит за счет вовлечения дополнительных внутренних ресурсов (нервная, эндокринная, иммунная, сосудистая системы и др.), которые участвуют в восстановлении систем саморегуляции, заблокированных негативной информацией на клеточном уровне [69, 70, 79...81].

1.4. Анализ анатомического строения репродуктивной системы коров

Для проведения внутриутробного лечения патологии яичников КРС информационным электромагнитным излучением необходимо рассмотрение и анализ морфофункциональных характеристик репродуктивной системы коров. Проведенный анализ позволяет определить необходимые внешние размеры излучающей системы для внутриутробной обработки яичников коров электромагнитным излучением. Репродуктивная система коровы состоит: яичников; яйцеводов; рогов матки с карункулами; тела матки; шейки матки; влагалища; вульвы; прямой кишки; мочевого пузыря; мочеиспускательного канала [82...84].

Преддверие влагалища – короткая трубка, начинающая от половой щели и заканчивающаяся у отверстия мочевого канала. Оно у коров имеет длину 8...12 см. Влагалище – мускульно-эластичная трубка от преддверия влагалищной части шейки матки. Оно находится в тазовой полости под прямой кишкой и достигает длины у коров 30 см. Матка у коров двурогая, расположена под прямой кишкой и свободно подвешена на широкой маточной связке, которая закреплена на поясничных мышцах. Матка состоит из шейки, тела и рогов. Шейка матки коров предназначен для накопления спермиев и сохранения их жизнеспособности. У коров шейка матки имеет длину 8...12 см, а диаметр 3...6 см; у тёлочек она от 5...7 см длиной и диаметром до 3 см. Тело матки расположено между шейкой и рогами с длиной 2...3 см. Яйцепроводы – парные трубочки, расположенные в собственной, образованной брюшиной, складке. Для коров длина их составляет 20...30 см [18, 82].

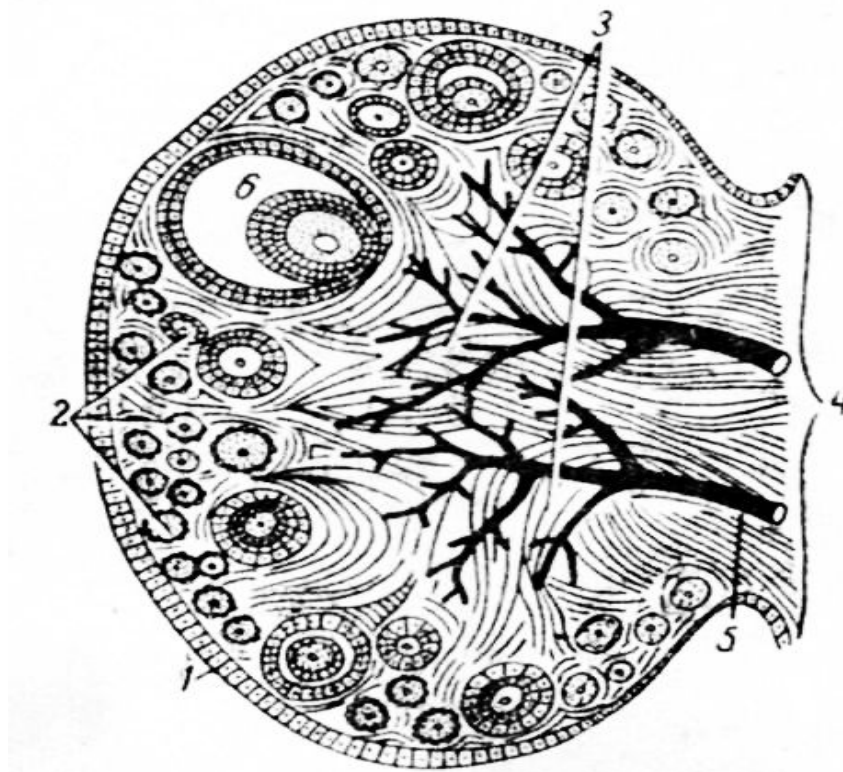


Рис. 1.2. Схема строения яичника коров:

- 1 – зачатковый эпителий;
- 2 – фолликулярный слой;
- 3 – сосудистый слой;
- 4 – ворота яичника;
- 5 – сосуды;
- 6 – граафов пузырь.

Яичники – парные органы, в них образуются половые клетки самки – яйца, половые гормоны, играющие важную роль в развитии и функционировании половой системы, её подготовки к акту спаривания, процессу оплодотворения, наступлению и сохранению беременности [82, 84]. Схема строения яичников приведена на рис. 1.2 [83].

У коров яичники эллипсоидной формы, весят в среднем 14...20 г, длина их 3,5...5 см, ширина 2...2,8 см, толщина 1,5...2 см. Яичники находятся в брюшной полости. Они подвешены на брыжейке яичника и специальных яичниковых связках. Снаружи яичники покрыты однослойным кубическим зачатковым эпителием. Под ним находится белочная оболочка. В яичнике видны две зоны: наружная – корковая (фолликулярная) и внутренняя – мозговая (сосудистая). Корковая зона состоит из нежной соединительной ткани. Этот слой содержит в себе фолликулы и жёлтые тела. Мозговой слой обильно пронизан сосудами и нервами. Зрелые фолликулы заметны на поверхности яичников в виде пузырьков с размерами у коров 1...2 см [82, 85...86].

Состояние яичника значительно влияет на репродуктивные свойства животного. Данные половые железы выполняют воспроизводительную и эндокринную функции. Воспроизводительная функция заключается в образовании и выделении яйцеклеток, эндокринная – в секреции половых гормонов [82, 87, 88].

Воспроизводительная функция желез обеспечивается процессами фолликулогенеза, овогенеза и овуляции, которые связаны между собой и зависят от действия многих факторов, возраста и особенностей роста и развития организма. В связи с этим, при определении состояния полового аппарата коров значительное внимание уделяется исследованию морфологических и функциональных изменений яичников [85...91]. Анализ анатомического строения половых органов крупного рогатого скота показал, что для внутриутробного лечения патологии яичников необходимо использовать систему излучения электромагнитной энергии с параметрами: длина 50 см; диаметр 25 см. Для проведения неоднократных внутриутробных облучений репродуктивных органов маточного поголовья крупного рогатого скота, излучающая система должна помещаться в обтекатель, изготовленного из материала с плотностью 160 кг/м³, диэлектрической проницаемостью не более 1,2 и тангенсом диэлектрических потерь $2 \cdot 10^{-4}$.

1.5. Анализ излучающих систем для лечения патологии яичников крупного рогатого скота

Наиболее эффективные результаты при лечении патологии яичников коров могут быть получены с помощью внутриутробного лечения электромагнитным излучением миллиметрового диапазона. Поэтому возникает необходимость создания антенной системы с необходимой диаграммой направленности и достаточным уровнем мощности на яичниках коров.

Рассмотрим наиболее часто используемые в радиолокации антенные системы: волноводно-щелевые антенны, волноводно-рупорные антенны и других типов [92...97]. Волноводно-щелевые антенны получают при прорезании щелей в широких или узких стенках прямоугольных волноводов и являются одним из видов линейных многоэлементных антенн [95]. Они обеспечивают сужение диаграммы направленности (ДН) в плоскости, проходящей через ось волновода и ту сторону волновода, на которой выполнены щели. Различают антенны резонансные, нерезонансные и антенны с согласованными щелями. Для антенн первого типа расстояние между соседними щелями равно волноводной длине волны. Для нерезонансных волноводно-щелевых антенн выбирается , либо . В антеннах с согласованными щелями каждая щель отдельно согласовывается с волноводом при помощи реактивного вибратора или диафрагмы. В общем случае длина щелей равна (– длина волны в свободном пространстве). Во всех случаях волноводно-щелевых антенн ширина щелей выбирается из условия

. Отсюда становится понятным, что подобного типа антенны наиболее часто используются в сантиметровом и более длинноволновых диапазонах. По мере укорочения длины волны их применение становится нецелесообразным, поскольку возрастают технологические трудности при изготовлении щелей, и уменьшается механическая прочность самой антенной системы. Кроме того, общим недостатком волноводно-щелевых антенн является ограниченность диапазонных свойств [95, 96]. При использовании нестабилизированного по частоте источника СВЧ колебаний в такой антенной системе происходит отклонение в пространстве ДН от заданного направления, сопровождающееся изменением ее ширины и согласования с питающим волноводом. Проведенный анализ показывает, что волноводно-щелевые антенны из-за своих недостатков нецелесообразно использовать для лечения болезней яичников коров.

Волноводно-рупорные антенны, в отличие от рассмотренных выше антенных систем, являются широко-импульсными устройствами и обеспечивают примерно полуторное перекрытие по диапазону [96]. В общем случае рупор является трансформатором волны, распространяющейся по подводящему волноводу, в волну другого типа. Происходит преобразование плоской волны в поперечном сечении волновода в приблизительно плоскую волну значительных размеров в раскрыве рупора. В качестве волноводной волны, как правило, рассматриваются: TE_{10} волна прямоугольного волновода или TE_{11} волна круглого волновода. Согласование волновода со свободным

пространством обеспечивается благодаря плавному изменению волнового сопротивления вдоль рупора. Это приводит к уменьшению отражения от раскрыва. К волноводно-рупорным антеннам относятся конические, пирамидальные и секториальные излучатели [96, 97]. Конические рупорные антенны строятся на базе круглого волновода. Они имеют ряд недостатков: у таких антенн плоскость поляризации поля неустойчива и может легко изменяться при незначительных деформациях стенок; поле в раскрыве такого конического излучателя поляризовано неодинаково в различных точках. ДН таких антенн обладают приблизительно осевой симметрией. Пирамидальные и секториальные рупорные антенные излучатели строятся на базе прямоугольных волноведущих систем. Такие антенны используются, как правило, для получения узкой ДН в двух взаимно перпендикулярных плоскостях за счет увеличения поперечных размеров раскрыва рупора, что является существенным недостатком для применения в лечебных целях болезней яичников коров. Наиболее приемлемыми для лечения болезней яичников коров внутриутробным способом являются антенны излучения из открытого конца полого диэлектрического волновода и согласования его с прямоугольным волноводом [98...100].

Поэтому использование такого типа антенной системы для наших конкретных целей требует проведения дополнительных исследований.

Полный диэлектрический волновод (ПДВ) представляет собой цилиндрический волноведущий канал радиусом α , много большим рабочей длины волны λ в диэлектрике с комплексной диэлектрической проницаемостью ϵ материала стенок канала. В рассматриваемой антенной системе с рупорным облучателем требуемое согласование волновых сопротивлений достигается применением пирамидальной рупорной антенны. Необходимое преобразование фазовых характеристик полей осуществляется диэлектрической линзой [99, 100]. Соотношение длин сторон раскрыва апертуры рупора выбирается из условия, обеспечивающим равенство диаграмм в ϕ и θ – плоскостях на уровне половинной мощности. Это условие необходимо для увеличения

эффективности возбуждения гибридной волны H_{10} , обладающей осесимметричным распределением поля. Размеры излучающей апертуры должны быть такими, чтобы во всем рабочем диапазоне волноводно-линзового перехода линза находилась в дальней зоне облучателя и расстояние между фазовыми центрами излучаемого рупора поля в ϕ и θ – плоскостях было незначительным в сравнении с фокусным расстоянием линзы. Дальняя зона и совпадение фазовых центров обеспечивают сферичность фазового фронта, падающего на линзу КВЧ поля. Профиль линзы, применяемый в переходе, плоско-выпуклый, обращенный выпуклой поверхностью к облучателю. При прохождении линзы сферический фазовый фронт поля, поступающий из облучателя, преломляется на выпуклой поверхности линзы. Со стороны диэлектрического волновода на выпуклую поверхность линзы падает близкий к плоскому фазовый фронт. Отраженные от обеих поверхностей волны уходят на поглощающую стенку диэлектрического волновода, где эффективно затухают. В качестве материала линзы выбирается фторопласт-4, обладающий в

миллиметровом и субмиллиметровом диапазонах малыми потерями, ().

Выводы по разделу

1. На основании обобщения фактического материала отечественных и зарубежных научных публикаций следует сделать вывод, что для внутриутробного лечения акушерско-гинекологических болезней маточного поголовья крупного рогатого скота следует использовать низкоэнергетические (информационные) ЭМП миллиметрового диапазона, которые позволяют создать эффективную, энергосберегающую и экологически чистую электромагнитную технологию.

2. Для определения биотропных параметров ЭМП (частота, плотность потока мощности, экспозиция), вызывающих угнетение патогенных кокков в яйчниках животных и ускоренную регенерацию повреждённых тканей, необходимы физико-математические исследования на основе модели яйчников и патогенных кокков с учетом их электрофизических параметров.

3. Для внутриутробного лечения болезней яйчников КРС, необходимы исследования и разработка антенны на основе полого диэлектрического волновода, согласованного с пирамидальным рупорным излучателем и диэлектрической линзой на выходе волновода.

4. Величина плотности потока мощности на поверхности яйчников КРС должна быть такой, чтобы наведенный потенциал на мембране патогенных кокков был не менее 110 мВ.

$\epsilon_1, \epsilon_0, \mu_0$
РАЗДЕЛ 2.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
С ЯИЧНИКАМИ КОРОВ

h



2.1. Постановка электродинамической задачи взаимодействия электромагнитного излучения с яичниками коров

При анализе процесса воздействия электромагнитного излучения на яичники коровы будем считать, что выполняются следующие основные предположения. Во-первых, в качестве электромагнитного излучения будем рассматривать линейно поляризованную монохроматическую электромагнитную волну, распространяющуюся в среде, где расположены яичники. Во-вторых, яичники коровы модулируются сфероидом вращения, заполненным изотропной средой с диэлектрической проницаемостью ϵ_1 и магнитной проницаемостью μ_1 (и ϵ_0, μ_0 – диэлектрическая и магнитная проницаемости вакуума) (рис. 2.1). В-третьих, будем пренебрегать частотной и пространственной дисперсиями диэлектрической проницаемости яичников коровы. Эти предположения являются общепринятыми [101] и позволяют строго в математическом отношении сформулировать задачу о взаимодействии электромагнитного излучения с яичниками коровы.

Введем декартовую (x, y, z) и цилиндрическую (ρ, ϕ, z) системы координат с осями x, y, z , совпадающими с осью симметрии сфероид (модель яичника, рис. 2.1). Граничная поверхность сфероид получается вращением вокруг оси z линии, описываемой уравнением:

(2.0)

где h – максимальная высота яичника;

a – максимальный диаметр окружности, лежащей в плоскости xy .

Рис. 2.1. Электродинамическая модель яичника коровы

Линейно поляризованную монохроматическую электромагнитную волну, распространяющуюся в общем случае в направлении, которое не совпадает ни с одной из осей декартовой системы координат (x, y, z) можно представить в виде:

(2.1)

Здесь θ и ϕ – углы, указывающие ориентацию вектора $\mathbf{E}$ и соответственно, $\mathbf{H}$ – углы ориентации направления

распространения волны (рис. 2.2), Z – волновое сопротивление среды, в которой находятся яичники, ϵ – диэлектрическая проницаемость этой среды, k – волновое число, ω – круговая частота волны, E_0 – амплитуда волны.

Рис. 2.2. Углы ориентации направления распространения возбуждающей волны

В результате дифракции волны (2.1) на яичнике коровы возникает вторичное электромагнитное поле (поле дифракции) с векторами напряженностей электрического и магнитного полей $\mathbf{E}$ и $\mathbf{H}$ (знак + отвечает полю внутри яичника, а знак – полю вне яичника). Это поле должно удовлетворять однородной системе уравнений Максвелла как внутри яичника, так и вне.

(2.2)

(2.3)

Кроме уравнений (2.2), (2.3) поле дифракции должно удовлетворять граничным условиям на поверхности яичников, а вне яичников – условию излучения [102].

Граничные условия на поверхности яичников состоят в непрерывности тангенциальных компонент поля к этой поверхности:

(2.4)

(2.5)

Требование, чтобы поле $\mathbf{E}$ удовлетворяло условию излучения, состоит в выполнении следующих соотношений [103]:

(2.6)

(2.7)

где

Как следует из общих теорем электродинамики [102] задача (2.1)...(2.7) имеет единственное решение. Построение этого решения, в общем случае, возможно только с помощью численных методов [104] и компьютера. Однако, при определенных предположениях можно получить для напряженности электрического поля формулу для расчета этой величины, как функции диэлектрической проницаемости и частоты возбуждающей волны. В последующих подразделах на основе метода объемных интегральных уравнений [105] будет получена такая формула.

2.2. Обоснование интегрального уравнения для распределения электрического поля внутри яичников коров

Для распределения электрического поля внутри яичников коров, получим интегральное уравнение эквивалентное задаче (2.1)...(2.7). С этой целью воспользуемся представлениями для электромагнитного поля с помощью векторных потенциальных функций [103] и интегральными формулами теории векторных полей [106].

Пусть V обозначает область пространства, занимаемую яичниками. Уравнения (2.2), (2.3) представим в следующем виде:

(2.8)

(2.9)

Здесь введены обозначения:

(2.10)

$$(2.11)$$

— волновое число и волновое сопротивление среды, где распространяется возбуждающая волна;

— точка пространства.

Уравнения (2.8), (2.9) можно рассматривать как неоднородные уравнения Максвелла в однородной среде с диэлектрической проницаемостью ϵ и магнитной проницаемостью μ , а векторную функцию $\mathbf{J}$ считать плотностью тока заданного в области V .

Предположим, что величина $\mathbf{J}$ (2.11) известна. Тогда решение уравнений (2.8), (2.9) удовлетворяющие условию излучения (2.6) (2.7), можно представить с помощью векторной потенциальной функции $\mathbf{A}$ по известным формулам [103]:

$$(2.12)$$

$$(2.13)$$

$$(2.14)$$

Функция $G(\mathbf{r}, \mathbf{r}')/4\pi$ является функцией Грина трехмерного скалярного уравнения Гельмгольца:

$$(2.15)$$

где R — расстояние между точками $\mathbf{r}$ и $\mathbf{r}'$.

Подставим (2.12) в (2.13). После ряда преобразований имеем:

$$(2.16)$$

Следует отметить, что операцию $\nabla \cdot$ нельзя внести под знак интеграла, поскольку функция Грина (2.15) после дважды дифференцирования по переменной x_i имеет неинтегрируемую особенность порядка $\frac{1}{r}$ при совпадении точек $\mathbf{r}$ и $\mathbf{r}'$ и следовательно соответствующий интеграл является расходящимся. Положим теперь в (2.16), что точка $\mathbf{r}$ не принадлежит области V . Тогда из (2.16) с учетом (2.10) получаем:

$$(2.17)$$

Выражение (2.17) является интегро-дифференциальным уравнением относительно напряженности электрического поля внутри яичников (область V). Когда точка $\mathbf{r}$ находится вне яичников, то при известном поле $\mathbf{E}$ выражение (2.16) позволяет рассчитать электрическое поле вне яичников. Магнитное поле так же определяется, если известно электрическое поле $\mathbf{E}$. Из (2.14) имеем:

$$(2.18)$$

Таким образом, исходная задача о взаимодействии электромагнитного излучения с яичниками коровы сведена к интегро-дифференциальному уравнению (2.17). Построение решения этого уравнения является сложной вычислительной проблемой. Поскольку, во-первых, это уравнение является системой трехмерных линейных интегро-дифференциальных уравнений. Во-вторых, непосредственная дискретизация этих уравнений, т.е. замена интегралов соответствующими квадратурными суммами и замена дифференциальной операции $\nabla \cdot$ конечными разностями сводит (2.17) к системе линейных алгебраических уравнений большой размерности. Поэтому решение такой системы уравнений даже с учетом современных компьютеров представляет собой сложную вычислительную задачу [107].

В связи с этим необходимо преобразовать уравнение (2.17) к более простому виду. Это можно сделать с помощью интегро-дифференциальных формул теории векторных полей [106]. Пусть $\mathbf{E}$ – векторное поле с компонентами, являющимися непрерывно дифференцируемыми функциями пространственных переменных x_i в некоторой области V с границей S .

Тогда согласно [106] имеют место следующие формулы:

$$(2.19)$$

$$(2.20)$$

Здесь $\mathbf{n}$ – единичный вектор внешней нормали к границе S , $\mathbf{r}$ и $\mathbf{r}'$ – скалярное и векторное произведение соответственно векторов $\mathbf{r}$ и $\mathbf{r}'$. Используем формулы (2.19) и (2.20) для преобразования уравнения (2.17).

Рассмотрим второе слагаемое в правой части уравнения (2.17). Тогда согласно формуле (2.19) имеем:

$$(2.21)$$

где S – граничная поверхность яичника ;

$\mathbf{n}$ – единичный вектор внешней нормали к границе S .

Далее, воспользуемся формулой:

$$(2.22)$$

Здесь индексы i и j обозначают, по каким переменным применяется операция ∇ .

Из (2.21) с учетом (2.22) имеем:

$$(2.23)$$

Теперь подставим (2.23) в (2.17). Тогда имеем:

$$(2.24)$$

Выражение (2.4) является искомым уравнением для электромагнитного поля внутри яичника. Как следует из выше изложенного, в отличии от интегро-

дифференциального уравнения (2.17), уравнение (2.24) является интегральным уравнением. Это обстоятельство существенно упрощает построение его решения. Ниже на основе уравнения (2.24) будут получены формулы для расчета электрического поля внутри яичников.

2.3. Теоретическое определение средней величины электрического поля внутри яичников коровы

Цель этого подраздела состоит в получении явной формулы для расчета напряженности электрического поля внутри яичника. Основой для этого служит интегральное уравнение (2.24). Ниже для определенности будем предполагать, что возбуждающая электромагнитная волна (2.1) распространяется вдоль оси z , а вектор напряженности электрического поля параллелен оси z . Это предположение не ограничивает общности в постановке задачи. Однако позволяет существенно упростить соответствующие преобразования. Согласно формуле (2.1) будем иметь:

$$(2.25)$$

где Z_1 и k_1 – волновое сопротивление и волновое число соответственно среды, в которой находятся яичники. При таком возбуждающем поле вектор напряженности электрического поля E_z внутри яичника будет иметь доминирующую компоненту E_z .

Кроме того, будем полагать, что на граничной поверхности яичника скалярное произведение E_z и единичного вектора нормали к этой поверхности достаточно мало:

$$(2.26)$$

где E_0 – амплитуда возбуждающей волны (2.25).

Выполнение этого условия означает, что кривизна граничной поверхности яичника близка к кривизне круговой цилиндрической поверхности. Условия (2.26) может нарушаться в малой окрестности точек A и B . Не смотря на это, можно считать, что:

Тогда, с учетом сделанных предположений, уравнение (2.24) для электрического поля внутри яичников можно представить в виде:

, (2.27)

Остальные компоненты близки к нулю. Физическое содержание сделанных предположений состоит в том, что явление дифракции возбуждающей волны (2.25) на яичники практически не приводит к изменению поляризации электрического поля внутри яичника. Запишем уравнение (2.27) в цилиндрических коэффициентах:

. (2.28)

Здесь введены следующие обозначения:

(2.29)

(2.30)

(2.31)

Как следует из [108], возбуждающее поле можно разложить в ряд Фурье по азимутальной переменной :

(2.32)

Для функции справедливо следующее представление [109]:

(2.33)

(2.34)

(2.35)

(2.36)

Представления (2.32) и (2.33) позволяют искать функцию в виде аналогичной (2.33):

(2.37)

(2.38)

(2.39)

Подставим (2.32), (2.33) и (2.37) в уравнение (2.28). После ряда преобразований с учетом теоремы единственности разложения в ряд Фурье получаем:

(2.40)

В дальнейшем будем интересоваться такой интегральной характеристикой электрического поля внутри яичника, как среднее поле, т.е. поле, усредненное по объему яичника. Это поле можно представить в виде:

(2.41)

где — объем яичника.

Если рассматривать яичник как открытый диэлектрический резонатор, то анализ зависимости среднего поля от частоты возбуждающей электромагнитной волны позволяет определить резонансные частоты (частоты при которых среднее поле принимает максимальное значение). Информация о резонансных частотах яичников позволяет разработать методику эффективного воздействия электромагнитного излучения на яичники коровы. Поэтому, далее

на основе уравнений (2.40) будет получена формула для расчета зависимости среднего поля от частоты возбуждающей волны.

Подставим в (2.41) представление (2.37) для $\mathbf{E}(\mathbf{r}, \omega)$. Будем иметь:

$$(2.42)$$

где

Как следует из (2.42), для определения $\mathbf{E}(\mathbf{r}, \omega)$ достаточно решить уравнение (2.40) с индексом n :

$$(2.43)$$

Решение уравнения (2.43) будем искать методом последовательных приближений. С этой целью представим это уравнение в операторной форме:

$$(2.44)$$

Здесь $\mathbf{A}$ – интегральный оператор в пространстве непрерывных функций $C(\Omega)$ в области Ω

Оценки нормы оператора $\mathbf{A}$ позволяет утверждать, что:

$$(2.45)$$

где $\|\cdot\|$ – норма оператора $\mathbf{A}$ в пространстве непрерывных функций.

В этом случае приближенное решение уравнения (2.44) можно получить следующим образом [110]. Строится последовательность:

Приближенное решение $\mathbf{E}^{(n)}$, при некотором n Оценки показывают, что для получения решения с относительной погрешностью менее 5% достаточно ограничиться вторым приближением:

$$(2.46)$$

Физическая интерпретация нулевого и первого приближения следующая.

Нулевое приближение соответствует распределению напряженности электрического поля внутри яичника, совпадающей с напряженностью электрического поля возбуждающей волны. Первое приближение учитывает отклонения напряженности электрического поля внутри яичника, вызванные отличием диэлектрической проницаемости среды окружающей яичники и геометрическими параметрами яичника. Перейдем в (2.46) от операторной формы к координатной. Тогда получим следующую формулу для напряженности электрического поля внутри яичника:

$$\dots \quad (2.47)$$

Поскольку наша цель получать средние поля (поле, усредненное по объему яичника), то заменим в интегральном члене (2.47) поле плоской волны на среднее поле. Тогда (2.47) преобразуется к виду:

$$\dots \quad (2.48)$$

Здесь:

$$\dots \quad (2.49)$$

– объем яичника.

Из (2.48) имеем:

$$\dots \quad (2.50)$$

где

$$\dots \quad (2.51)$$

Теперь из (2.50) легко определить среднее поле:

(2.52)

Таким образом, для расчета среднего поля достаточно вычислить соответствующие интегралы.

Рассмотрим интеграл:

(2.53)

Для его вычисления воспользуемся известной формулой [8]:

(2.54)

Имеем:

(2.55)

Интеграл (2.55), в общем случае, не может быть представлен в элементарных функциях. Однако, если воспользоваться разложением цилиндрической функции в ряд по степеням величины x и ограничиться первым членом ряда, то получим:

Теперь воспользуемся формулой из [11]:

(2.56)

В (2.56) через $\Gamma(x)$ обозначена бета функция. Окончательно получаем:

(2.57)

В (2.57) использовано выражения для бета-функций через гамма функцию:

Теперь рассмотрим интеграл (2.51). Прежде всего, вычислим интеграл:

Воспользуемся выражением (2.34) и (2.35) для функции .
Тогда, делая ряд преобразований, получим:

Далее, применяя формулу (2.54), имеем:

. (2.58)

Для вычисления интеграла по переменной применим формулу [111]:

Кроме того, аппроксимируем цилиндрическую функцию . (2.59)

Тогда интеграл (2.58) примет вид:

. (2.60)

Таким образом, величину (2.51) можно представить в виде:

(2.61)

Если теперь подставить (2.60) в (2.61) и воспользоваться формулой (2.59), то получим:

(2.62)

(2.63)

EMBED Equation.3 . (2.64)

Как следует из (2.63) и (2.64) для расчета коэффициента необходимо вычислять соответствующие интегралы. При анализе зависимости среднего поля от частоты возбуждающей волны, геометрических и материальных параметров яичника указанные выше интегралы рассчитывались с помощью квадратурной формулы трапеций [108] с относительной погрешностью, не превышающей 5%. Окончательное выражение для среднего поля имеет вид:

(2.65)

Если воспользоваться соотношением (2.29), то:

U_{cp} (2.66)

где – амплитуда возбуждающей волны;

– круговая частота возбуждающей волны;

– диэлектрическая проницаемость среды яичников;

– диэлектрическая проницаемость среды внешней по отношению к яичникам;

и – геометрические параметры яичников (рис. 2.1);
величины и определяются согласно формулам (2.63) и (2.64).

2.4. Расчет зависимости среднего значения электрического поля от частоты возбуждающей волны

Формулы (2.66) и (2.63), (2.64) являются основой для методики расчета частотной зависимости среднего электрического поля. Как следует из (2.63), (2.64) основная проблема расчета этой зависимости связана с вычислением коэффициента α . Этот коэффициент можно представить в следующем виде, удобным для расчета:

$$\alpha = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \cos^2 \theta d\theta \quad (2.67)$$

Выражение для коэффициента α получено из (2.62)...(2.64) путем замены переменной интегрирования θ в интегралах (2.63) и (2.64) на новую переменную интегрирования ϕ и использования формулы:

$$\theta = \frac{\pi}{2} - \phi$$

Как видно, первый интеграл не зависит от параметров яичников и частоты возбуждающей волны. Этот факт позволяет один раз вычислить этот интеграл. Второй интеграл зависит от частотного параметра β , и, следовательно, изменяется при варьировании, как частоты возбуждающей волны, так и геометрического параметра a (максимальный размер яичника вдоль оси z). Оба интеграла при численных расчетах аппроксимировались квадратурной формулой трапеций. Это позволило рассчитывать коэффициент α с относительной погрешностью менее 5%.

Прежде чем переходить к анализу результатов математического моделирования взаимодействия электромагнитного излучения с яичниками коровы, рассмотрим два предельных случая: низкие частоты $\beta \ll 1$ и высокие частоты $\beta \gg 1$. Предположим, что частота возбуждающей волны такова, что выполняются неравенства:

Тогда из (2.66) получаем следующую асимптотическую формулу для электрического среднего поля:

(2.68)

где:

Из этой формулы следует, что среднее поле стремится к нулю при уменьшении частоты возбуждающей волны

Следовательно, при достаточно низких частотах эффективность взаимодействия электромагнитного излучения с яйчиками уменьшается. Так, при частоте возбуждающей волны величина среднего поля

нормированная на амплитуду возбуждающей волны составляет

Рассмотрим теперь другой предельный случай, когда частота возбуждающей волны такова, что:

Из (2.66) имеем следующую асимптотическую формулу:

(2.69)

где

Как видно и в случае высоких частот среднее поле стремится к нулю, когда . Поэтому, при высоких частотах эффективность взаимодействия электромагнитного излучения с яйчиками уменьшается с ростом частоты возбуждающей волны.

Таким образом, диапазон частот, где наиболее перспективен для эффективного взаимодействия электромагнитного излучения с яйчиками коровы. Учитывая среднестатистические геометрические размеры

яичников этот диапазон можно определить как .
 Зависимость среднего поля от частоты в этом диапазоне может иметь резонансное поведение. Это связано с тем, что яичник можно рассматривать как открытый диэлектрический резонатор. Поэтому, когда частота возбуждающей электромагнитной волны близка к одной из собственных частот такого резонатора может наблюдаться резкое возрастание среднего поля.

Рис. 2.3. Зависимость от частоты среднего поля, нормированного на амплитуду возбуждающей волны

На рис. 2.3 представлены результаты расчетов зависимости среднего поля от частоты возбуждающей волны. Геометрические параметры яичника были следующие:

Относительная диэлектрическая проницаемость среды заполняющей яичник , потери в среде характеризовались Среда внешняя по отношению к яичникам имела материальные параметры: Расчеты проводились в диапазоне частот 61...91 ГГц. Как видно из рис. 2.3, частотная зависимость среднего поля имеет резонансное поведение. Максимальное значение среднего поля достигается по частоте ГГц. Это значение частоты возбуждающей электромагнитной волны является оптимальным для эффективного взаимодействия электромагнитного излучения с яичниками коровы.

2.5. Действие информационных электромагнитных излучений на состояние мембран патогенных кокков, вызывающих воспаление яичников коров

Разработка методов подавления патогенных кокков в яичниках животных с помощью ЭМИ связано с изменением потенциала на мембране [112...114].

Обычно процесс разрушения мембран связывают с достижением параметрами системы некоторых критических значений, после чего процесс становится необратимым и наступает разрушение мембраны.

Отклонение мембраны от равновесия можно связать с возникновением дефектов в структуре мембран за счет локального сжатия в продольном или поперечном направлении. Случайное уменьшение толщины мембраны носит резко выраженный локальный характер, что следует рассматривать как начальный этап формирования локального углубления [114].

Наиболее признанным в настоящее время механизм разрушения мембран, обусловленный дефектами типа сквозной поры. Предполагается, что в этом случае формирование дефекта сопровождается переориентацией молекул

липидов, расположенных вблизи границы дефекта с образованием так называемой инвертированной поры [114]. Величина критического радиуса дефекта в мембране, при котором сквозная пора не закрывается, описывается соотношением [114]:

$$\gamma = \frac{2\sigma}{r} \quad (2.70)$$

где γ – линейное натяжение единицы длины периметра дефекта;
 σ – поверхностное натяжение мембраны;

;

где C – емкость единицы площади мембраны;
 ϵ_w – диэлектрическая проницаемость воды;
 ϵ_m – диэлектрическая проницаемость мембраны;
 ϕ_c – критический потенциал, превышение которого приводит к деструкции мембраны.

Величина критического потенциала пробоя может быть определена из выражения [114].

$$\phi_c = \frac{2\sigma}{\epsilon_m} \quad (2.71)$$

где E – модуль упругости мембраны;
 h – толщина мембраны;
 ϵ_0 – электрическая постоянная.

Согласно теории электрического пробоя, среднее время жизни мембраны в ЭМП КВЧ диапазона можно представить выражением:

$$\tau = \frac{1}{\nu} \quad (2.72)$$

где k – константа;
 W – максимальное значение энергии мембраны при облучении в ней цилиндрической поры;
 k_B – постоянная Больцмана.

Для расчета энергии дефекта необходимо учитывать работу, связанную с изменением поверхности раздела «мембрана-раствор» за счет образования боковой поверхности цилиндра и уменьшение поверхности раздела за счет

спада участков, соответствующих торцам цилиндра [114].

Зависимость максимального значения энергии дефекта от величины критического потенциала на мембране определяется из выражения [114]:

(2.73)

Полученные в п. 2.3 выражения (2.67)...(2.68) позволяют оценить относительную величину напряженности электрической составляющей ЭМП, как в цитоплазме микроорганизмов, так и в мембране цитоплазмы на резонансной частоте. Однако, полученные выражения не дают сведений о величине электрической напряженности и экспозиции действия ЭМП для деструкции мембран клеток патогенных кокков.

В данном случае наведенный потенциал на мембране цитоплазмы определяется следующим выражением [112]:

(2.74)

где ϕ_0 – потенциал на мембране в начальный момент времени;

P – проницаемость мембраны;

t – время экспозиции;

C_0, C_S – концентрации ионов внутри и вне клетки;

V_0 – объем клетки в начальный момент времени;

g – заряд иона;

F – число Фарадея;

R – газовая постоянная;

T – абсолютная температура;

e – заряд электрона;

E – электрическая напряженность поля;

N_A – постоянная Авогадро;

ω – круговая частота ЭМП облучения.

2.6. Численные расчеты биотропных параметров электромагнитного поля для угнетения патогенных микроорганизмов в яичниках коров

Полученные результаты 2.70...2.74 должны послужить основой для предварительного определения биотропных параметров ЭМП, которые влияют на угнетения патогенных кокков в яичниках животных. Кроме того, эти

результаты позволят разработать соответствующие технические требования для создания электронной аппаратуры. Для расчетов были использованы многочисленные данные, взятые из литературных источников [114...118]:

$-14 \text{ Н}; \quad =10^{-3} \text{ Н/м}; \quad C1 \times 10^{-2} \text{ Ф/м}^2;$
 Еупруг $h-8 \text{ м}; \quad F R$
 $T \text{ } ^\circ\text{К}; \quad \text{КБ-23 Дж/К}; \quad A \times 10^{-23} \text{ с.}; \quad d -8 \text{ м}; \quad ; \quad \text{Ф/м}; \quad NA=6,$
 $0.22 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}; \quad k_p=110 \text{ мВ}; \quad =60 \text{ мВ}; \quad P=0.3 \cdot 10^{-3} \text{ с/м}^3; \quad C0 \quad ; \quad CS 3;$
 $V0 \cdot 10^{-17} \text{ м}^3;$
 $\cdot 10^{-18} \text{ Кл}; \quad f, 2 \text{ ГГц}.$

В результате численных расчетов было установлено, что критический потенциал для деструкции плазматической мембраны патогенных кокков в яйчниках животных должен быть не менее 110 мВ. При потенциале 110 мВ на мембране патогенных кокков, критический радиус дефекта при котором сквозная пора не закрывается, составляет $0.8 \cdot 10^{-12} \text{ м}$ (рис. 2.4).

Как видно из приведенной зависимости (рис. 2.4) увеличение приведенного потенциала на мембране приводит к уменьшению критического радиуса поры и уменьшению максимального значения (W).

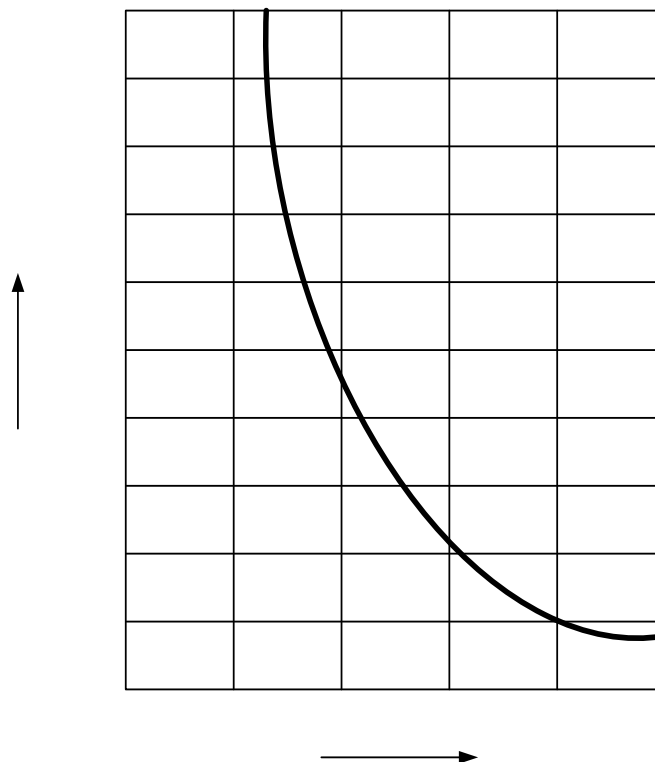


Рис. 2.4. Зависимость критического радиуса сквозной поры на мембране патогенных кокков от наведенного потенциала внешним ЭМП

Уменьшение энергии критического барьера при увеличении приведенного потенциала внешним ЭМП, приводит к увеличению вероятности

сверхкритического дефекта мембраны.

При возникновении такого дефекта мембрана разрывается невольно, поскольку увеличение размера дефекта сопровождается понижением свободной энергии системы.

Именно этим можно объяснить увеличение вероятности разрыва мембран патогенных микроорганизмов, находящихся под влиянием ЭМП с оптимальными биотропного параметрами.

На рис. 2.5 приведена зависимость среднего времени жизни мембран патогенных кокков от разности потенциалов на мембране, наведенной внешним ЭМП.

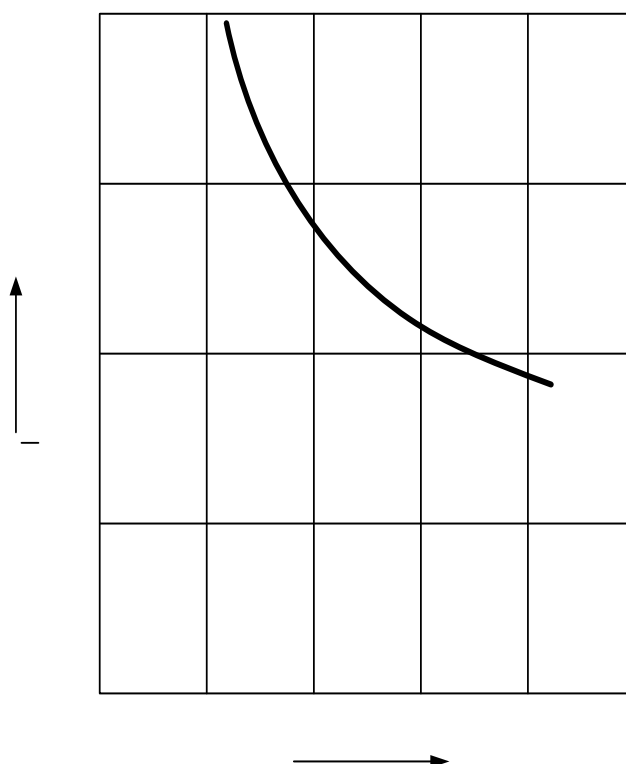


Рис. 2.5. Зависимость среднего времени жизни мембран патогенных кокков от разности потенциалов

Из полученной зависимости (рис. 2.5) следует, что время жизни мембран патогенных кокков, под действием внешнего ЭМП, падает при увеличении разности потенциалов. При разности потенциалов более 110 В время жизни мембран патогенных кокков в яйчиках животных составляет до 1 с.

Согласно теории электромагнитного пробоя, среднее время жизни () мембран в электрическом поле является величина, обратная стационарной скорости потока через энергетический барьер W [114].

Анализ выражений (2.72) и (2.73) показывает, что время жизни мембран гораздо чувствительнее к изменению параметра, величина которого определяется формой патогенных кокков.

При проведении численных расчетов учитывалось, что наведенный потенциал равен 110...115 мВ. В результате расчетов было установлено, что

экспозиция составляет $t = 0$ с, а напряженность $E = 44,88$ В/м. Для полученной напряженности плотность потока мощности составила $0,4$ мВт/см², а мощность источника ЭМИ для внутриутробного облучения поверхности яичников коров площадью 25 см² будет равна $15...20$ мВт.

На основании выражения (2.74) был проведен расчет наведенного на мембране клеток патогенных кокков электрического потенциала ϕ в зависимости от плотности потока мощности поля облучения Π и времени воздействия (экспозиции) t ЭМП. Результаты данных расчетов приведены на рис. 2.6 и 2.7.

Кривая рис. 2.6 показывает, что при постоянном времени облучения равном 70 с плотность потока мощности в 400 мкВт/см² является оптимальной.

Выясним теперь зависимость мембранного потенциала от экспозиции при постоянной плотности потока мощности (рис. 2.7).

Из рис. 2.7 следует, что при постоянной плотности потока мощности равной 400 мкВт/см² экспозиция должна быть порядка 70 с.

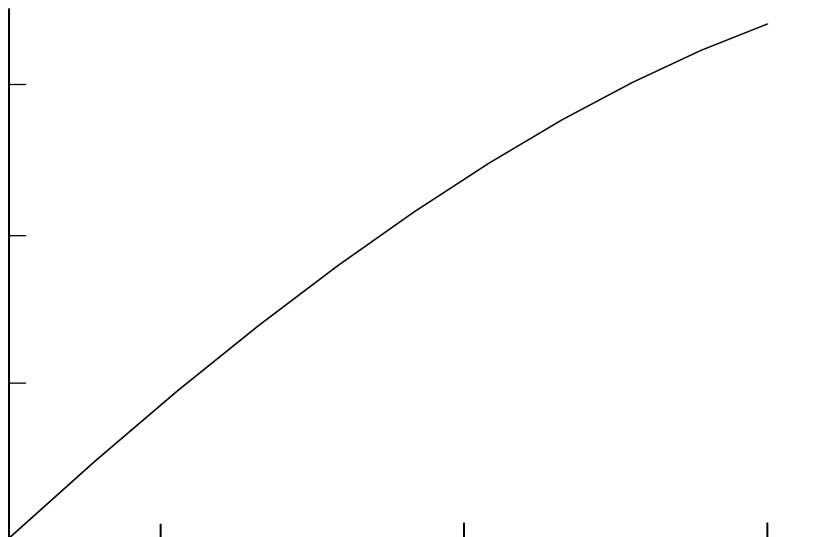


Рис. 2.6. Зависимость наведенного на мембране клетки электрического потенциала от плотности потока мощности поля облучения при постоянной экспозиции 70 с

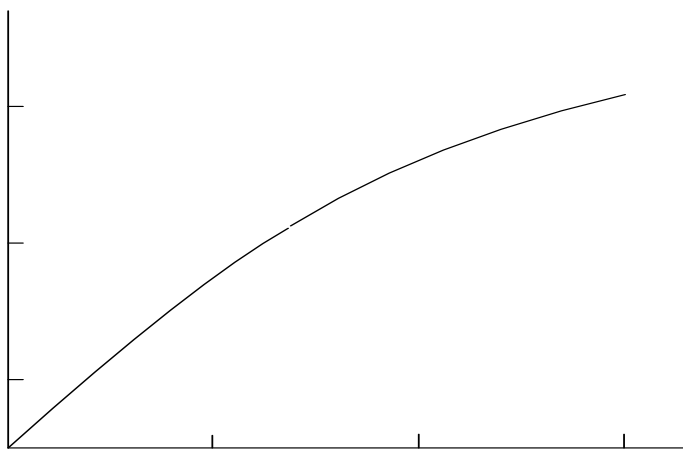


Рис. 2.7. Зависимость наведенного на мембране клетки патогенных кокков электрического потенциала от времени экспозиции при постоянной плотности потока мощности 400 мкВт/см^2

Таким образом, анализируя полученные на рис. 2.6 и 2.7 кривые, можно сделать вывод, что оптимальный поток мощности облучения яичников коровы для получения терапевтического эффекта должен иметь величину 400 мкВт/см^2 , а время экспозиции не превышать 70 с.

Выводы по разделу

1. Для определения биотропных параметров информационного электромагнитного излучения, которые будут использованы при лечении болезней яичников коров, следует использовать модель в виде сфероида вращения, заполненного изотропной средой с диэлектрической проницаемостью и магнитной проницаемостью и полученные математические выражения при ее анализе.

2. Для разрушения мембраны патогенных кокков в яичниках коров необходим потенциал на мембране не менее 110 мВ, наведенный внешним электромагнитным источником КВЧ диапазона мощность 20 мВт.

3. В результате теоретических исследований установлено, что лечение болезней яичников коров следует проводить электромагнитным излучением с параметрами: частота 72,2 ГГц; плотность потока мощности $0,4 \text{ мВт}$, экспозиция 70 мВ.

РАЗДЕЛ 3.

АНТЕННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ ВОСПАЛЕНИЯ ЯИЧНИКОВ У КОРОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ ВОЛНАМИ МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА

3.1. Выбор типа излучающей антенны для лечения яичников коров

Основным элементом конструкции излучающей антенны является облучатель, который должен сформировать необходимую диаграмму направленности, что в итоге позволит обеспечить достаточный уровень мощности на поверхности яичников коровы для эффективного лечения.

На сегодняшний день в миллиметровом диапазоне длин волн широко применяются облучатели в виде открытого конца прямоугольного или круглого волноводов, а также пирамидальный или конический рупоры [119...123].

В качестве наиболее простой конструкции, которая обладает основными свойствами типичного облучателя, представляет интерес рассмотреть открытый конец волновода. Если взять круглый волновод, то основной тип волны в нем TE_{11} , структура электрического поля которой приведена на рис. 3.1, а. В волноводе прямоугольного сечения основной тип волны TE_{10} . Структура электрического поля этой волны показана на рис. 3.1, б.

Как видно из рисунка, прямоугольный волновод значительно лучше держит поляризацию распространяющейся по нему волны. В случае круглого волновода любая незначительная неоднородность может привести к повороту плоскости поляризации волны. Важное значение имеет постоянство поляризации излучения миллиметрового диапазона при лечении заболеваний яичников коров у коров. Поэтому на первом этапе рассмотрим излучение из открытого конца прямоугольного волновода.

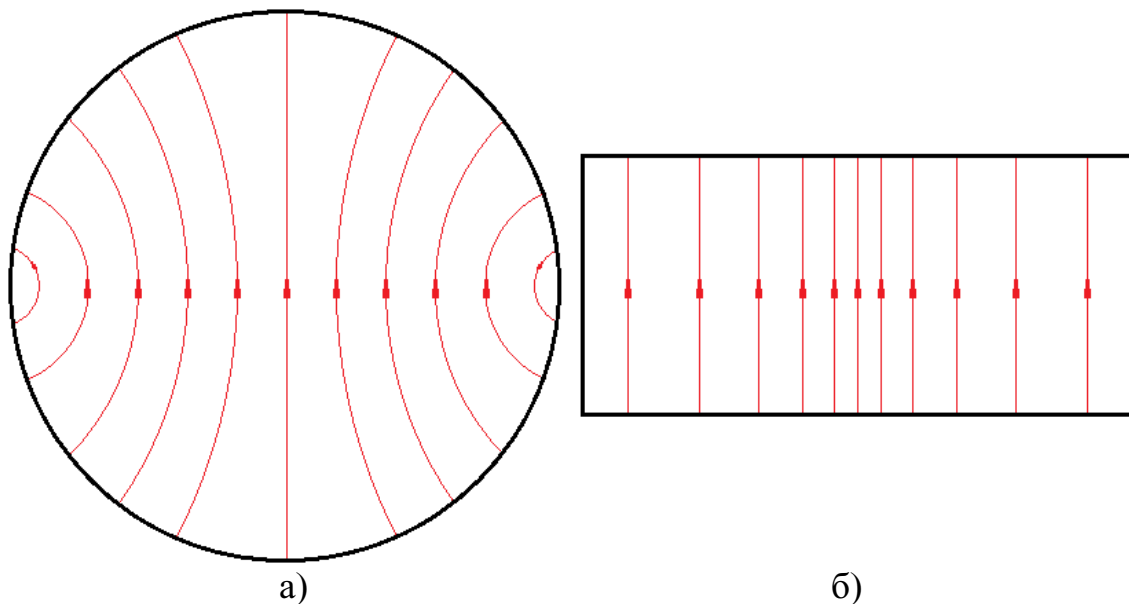


Рис. 3.1. Структуры электрических компонент основных волн в круглом и прямоугольном волноводах

Начало декартовой системы координат расположим в раскрыве волновода (рис. 3.2).

Для расчетов подобного типа излучателей используется апертурный метод. При его использовании делаются следующие допущения:

- излучающей апертурой является раскрыв волновода;
- в волноводе распространяется только основная волноводная волна TE_{10} ;
- электромагнитное поле вне раскрыва считаем равным нулю;
- электромагнитное поле в раскрыве волновода считается таким же, как и в поперечном сечении волновода, отстоящем от раскрыва на несколько длин волн;
- отражением от раскрыва волновода пренебрегаем.

Рассчитанное апертурным способом распределение поля излучения, несмотря на сделанные предположения, обычно хорошо совпадает с измеренным. Как было сказано выше, при рассмотрении волновода, по которому распространяется только одна волноводная волна (в нашем случае TE_{10}) результаты будут тем точнее, чем больше размер раскрыва по сравнению с длиной волны .

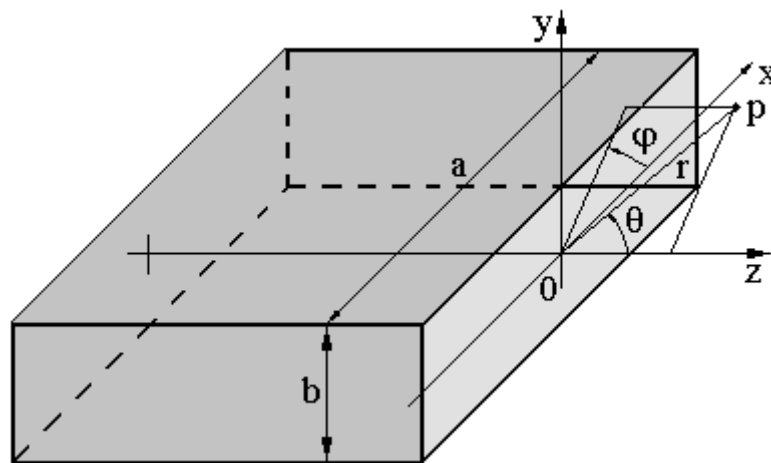


Рис. 3.2. Система координат в раскрыве прямоугольного волновода

В декартовой системе координат распределение электрической компоненты волны, распространяющейся по волноводу, имеет вид:

$$\dots \quad (3.1)$$

Теперь запишем электрическую компоненту волны в сферической системе координат по аналогии с выражением (3.1):

$$\dots \quad (3.2)$$

Для прямоугольного волновода, в котором распространяется волна типа E_{10} , выражения для составляющих электрического поля записываются в следующем виде [122]:

$$\dots \quad (3.3)$$

После подстановки значений составляющих электрического поля из (3.3) в соотношение (3.1) получим:

$$\dots \quad (3.4)$$

В сферической системе координат составляющие электрического поля и в раскрыве прямоугольного волновода сечением определяются

выражениями [120]:

$$\quad , \quad (3.5)$$

$$\quad , \quad (3.6)$$

где Γ – амплитудный коэффициент;

Z_0 – волновое сопротивление свободного пространства;

β , β_0 ;

λ – волноводная длина волны.

Рассмотрим E_x – составляющую электрического поля в соотношении (3.3), которая после подстановки в нее значений Γ и β , определяемых выражениями (3.5) и (3.6), примет вид:

$$\quad , \quad (3.7)$$

$$\quad \text{где} \quad \beta_0 = \frac{2\pi}{\lambda_0} . \quad (3.8)$$

Теперь аналогичным образом из соотношения (3.3) с учетом (3.5) и (3.6) запишем выражения для E_y – и H_z – составляющих электрического поля, определяемого соотношением (3.4):

$$\quad (3.9)$$

$$\quad . \quad (3.10)$$

После подстановки выражений для составляющих электрического поля, определяемых (3.7), (3.9) и (3.10), в соотношение (3.4) получим выражение для электрической компоненты основной волны прямоугольного волновода:

$$(3.11)$$

Если теперь в приведенном соотношении положить $\beta = \beta_{TE10}$, то мы получим диаграмму направленности открытого конца прямоугольного волновода в плоскости Oxy ($Ox - y$ – плоскость) основной волны в прямоугольном волноводе TE₁₀ (рис. 3.2). В этом случае выражение (3.11) преобразуется к виду:

$$(3.12)$$

После подстановки значений β и β_{TE10} в уравнение (3.8) мы получим:

$$(3.13)$$

Предельное значение дроби $\frac{\beta}{\beta_{TE10}}$ при $\theta = 0$ стремится к единице, $\beta = \beta_{TE10}$ при $\theta = 0$. Тогда можем записать выражение (3.13) в окончательном виде:

$$(3.14)$$

После подстановки значения β из выражения (3.14) в соотношение (3.12) получим:

$$\dots \quad (3.15)$$

На основании анализа уравнения (3.15) можно утверждать, что угловая зависимость в плоскости вектора $\vec{E}$ основной волны в прямоугольном волноводе определяется функцией $\cos(\beta y)$. Как было показано в работе [120], подобная диаграмма направленности (ДН) существует при синфазном возбуждении и амплитудном распределении поля в прямоугольном раскрыве типа TE_{10} . А подобное распределение поля как раз и характерно для основной волны TE_{10} .

Теперь положим $\vec{E} = E_0 \cos(\beta y) \vec{e}_y$ и проанализируем диаграмму направленности открытого конца прямоугольного волновода в плоскости вектора $\vec{E}$ основной волны TE_{10} . При этом соотношение (3.11) преобразуется к виду:

$$\dots \quad (3.16)$$

В полученном выражении $\cos(\beta y)$ – составляющей пренебрегаем [5], тогда (3.16) можем записать как:

$$\dots \quad (3.17)$$

Рассмотрим параметр β , входящий в (3.17) и определяемый уравнением (3.13). При $\beta \gg \beta_c$ он значительно упростится:

$$\dots \quad (3.18)$$

После подстановки значения параметра β из (3.18) в (3.17) получим:

$$\dots \quad (3.19)$$

Полученное уравнение (3.19) определяет ДН открытого конца прямоугольного волновода в плоскости $\phi = 0$ (– плоскость) основной волны TE₁₀ (рис. 3.2). Как видно из выражения (3.19), в этой плоскости ДН описывается функцией $D(\phi) = 1$. Такое поведение ДН имеет место в случае возбуждения прямоугольного раскрыва постоянными амплитудой и фазой, что как раз и характерно для основной волны прямоугольного волновода.

Таким образом, в результате проведенного анализа мы получили выражения, которые описывают ДН открытого конца прямоугольного волновода в двух взаимно перпендикулярных плоскостях $\phi = 0$ (выражение (3.15)) и $\phi = 90^\circ$ (выражение (3.19)).

С учетом выражения (3.15) построим угловое распределение электрической компоненты поля волны TE₁₀ в плоскости вектора $\vec{E}$. Положив в формуле (3.15) $\phi = 0$, найдем максимальное значение напряженности электрического поля:

$$E_{\max} = \frac{2V}{a} \sin\left(\frac{\pi y}{a}\right) \quad (3.20)$$

Теперь можем построить ДН по формуле $D(\phi) = \frac{E(\phi)}{E_{\max}}$. Все расчеты будем проводить на фиксированной частоте 2 ГГц ($\lambda = 150$ мм, $a = 3,6$ мм, $b = 1,8$ мм).

На рис. 3.3 показан срез диаграммы направленности открытого конца прямоугольного волновода в плоскости $\phi = 0$, построенной на расстоянии $z = 6,322$ мм от раскрыва (красная кривая). Дальняя зона рассматриваемого излучателя определяется как [9]. При построении мы исходили из того, что $\sigma = -12$ дБ. Из рисунка видно, что по уровню -12 дБ ширина ДН составляет порядка 70 мм.

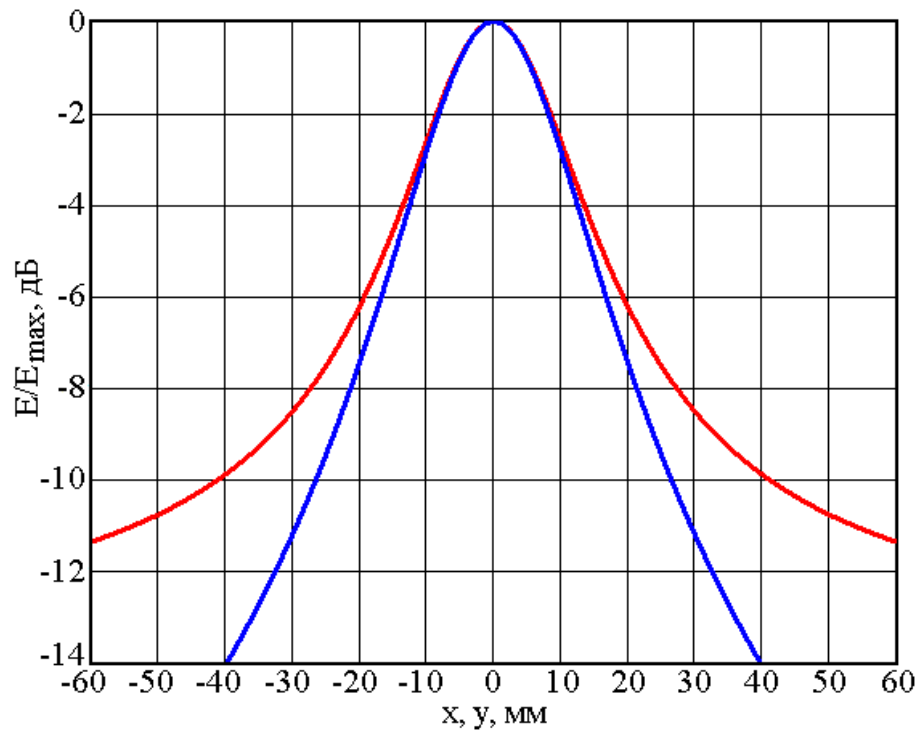


Рис. 3.3. Срезы диаграммы направленности открытого конца прямоугольного волновода, построенные в двух взаимно перпендикулярных плоскостях

Для дальнейшего анализа построим срез ДН открытого конца прямоугольного волновода, по которому распространяется волна TE_{10} , в плоскости $(E - \text{плоскость})$. Для этого используем соотношение (3.19). Как и в предыдущем случае для того, чтобы найти θ , положим $\theta = 0$. А поскольку при $\theta = 0$, то $\sin \theta = 0$ будет определяться выражением (3.20).

При построении, как и выше, мы исходили из того, что $\theta = 0$. Результаты расчета представлены на рис. 3.3 (синяя кривая). Как видно, в этой плоскости по уровню -12 дБ ширина ДН открытого конца прямоугольного волновода с поперечными размерами $3,6 \times 1,8$ мм уже, чем в плоскости вектора H основной волны прямоугольного волновода, и составляет величину порядка 26 мм. Таким образом, на основании проведенного анализа можно сказать, что ДН открытого конца прямоугольного волновода является асимметричной.

Анализ анатомического строения половых органов крупного рогатого скота показал, что для внутриутробного лечения патологии яичников необходимо использовать систему излучения электромагнитной энергии с параметрами: длина 30...40 см; диаметр 30 мм [119]. Для проведения неоднократных внутриутробных облучений репродуктивных органов маточного поголовья крупного рогатого скота, излучающая система должна помещаться в обтекатель, изготовленного из материала с плотностью 160 кг/м³, диэлектрической проницаемостью не более 1,2 и тангенсом диэлектрических потерь $2 \cdot 10^{-4}$.

При этом ширина ДН открытого конца прямоугольного волновода в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, особенно в плоскости вектора $\mathbf{H}$, превышает указанный размер (рис. 3.3).

Поэтому для сужения ширины ДН необходимо увеличивать поперечные размеры прямоугольного раскрыва, который в нашем конкретном случае будет представлять собой пирамидальный рупор, вписанный в круг диаметром 25 мм. При проведении лечения желательно также иметь аксиально-симметричную диаграмму направленности. А этого можно добиться за счет изменения поперечных размеров раскрыва. Это все говорит о необходимости проведения дополнительных исследований.

3.2. Выбор рупорного излучателя, который формирует аксиально-симметричную диаграмму направленности

Для расчета ДН пирамидального рупора в плоскости вектора $\mathbf{H}$ основной волны прямоугольного волновода, как и выше, воспользуемся формулой (3.15). Результаты расчетов приведены на рис. 3.4 для трех значений раскрыва, равных 18 мм (красная кривая), 20 мм (синяя кривая) и 22 мм (зеленая кривая). Срезы всех трех ДН построены на расстоянии 236,098 мм от раскрыва рупора. Это расстояние соответствует дальней зоне для всех рассматриваемых излучателей.

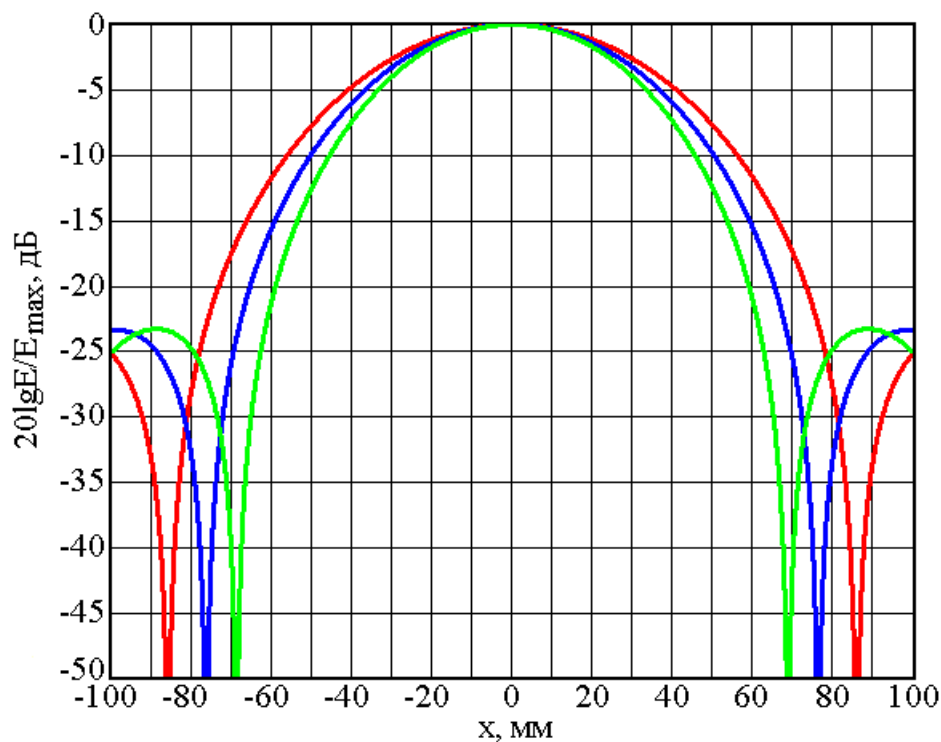


Рис. 3.4. ДН прямоугольного раскрыва, построенные в плоскости вектора основной волны для трех значений широкой стороны раскрыва

Как видно из приведенного рисунка, по мере увеличения раскрыва от 18 мм до 22 мм ширина ДН рассматриваемого излучателя уменьшается. Это соответствует общепринятым физическим принципам. При этом даже когда

22 мм, ширина ДН по уровню -20 дБ составляет 118 мм, что значительно превосходит диаметр трубки, равный 25 мм. Уровень боковых лепестков для всех раскрывов порядка -23,3 дБ.

Теперь построим ДН для трех раскрывов в плоскости вектора E основной волноводной волны. Для этого воспользуемся соотношением (3.19). Результаты расчетов показаны на рис. 3.5. Здесь красной кривой соответствует 17,349 (18 мм); синей кривой – 15 мм (20 мм); зеленой кривой – 11,874 мм (22 мм). Все графики построены при таком же расстоянии от раскрыва, что и выше. Поперечные размеры раскрыва рупора выбирались из соображений, чтобы он вписывался в круг, диаметром 25 мм.

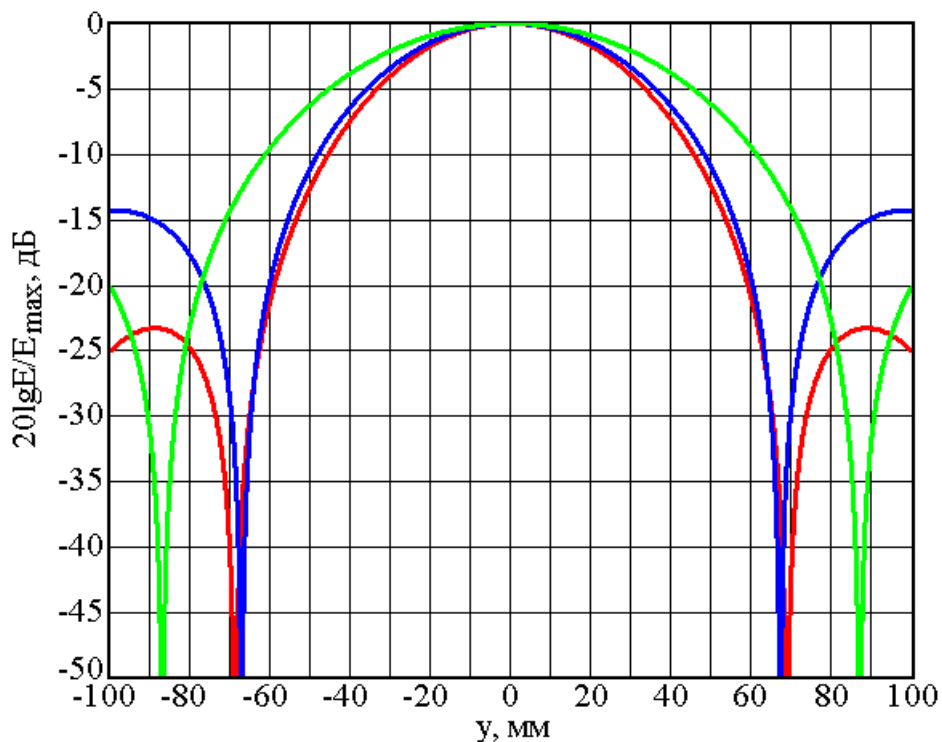


Рис. 3.5. ДН прямоугольного раскрыва, построенные в плоскости вектора E основной волны волновода для трех значений узкой стороны раскрыва

Из приведенного графика видно, что в плоскости вектора E основной волноводной волны ширина ДН всех рассматриваемых излучателей превосходит аналогичные зависимости в плоскости вектора H . Это связано с тем, что размеры узкой стороны раскрывов меньше соответствующих размеров широкой стороны раскрывов. В рассматриваемой плоскости наблюдается значительный рост боковых лепестков для всех ДН. Так при 15 мм уровень боковых лепестков равен -14,3 дБ, в то время как в плоскости H (20 мм) он не превышает -23,3 дБ (рис. 3.4). Надо заметить, что для всех

размеров узкой стороны прямоугольного раскрыва по уровню -20 дБ, ширина ДН значительно превосходит диаметр 25 мм. В то же самое время для приведенных размеров раскрывов ни одна из ДН не является аксиально-симметричной. Поэтому необходимо изменить размеры и .

На рис. 3.6 приведены ДН прямоугольного раскрыва в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, построенные при 20,5 мм (красная кривая, Н – плоскость) и 14,309 мм (синяя кривая, Е – плоскость). В этом случае дальняя зона определяется как 205 мм.

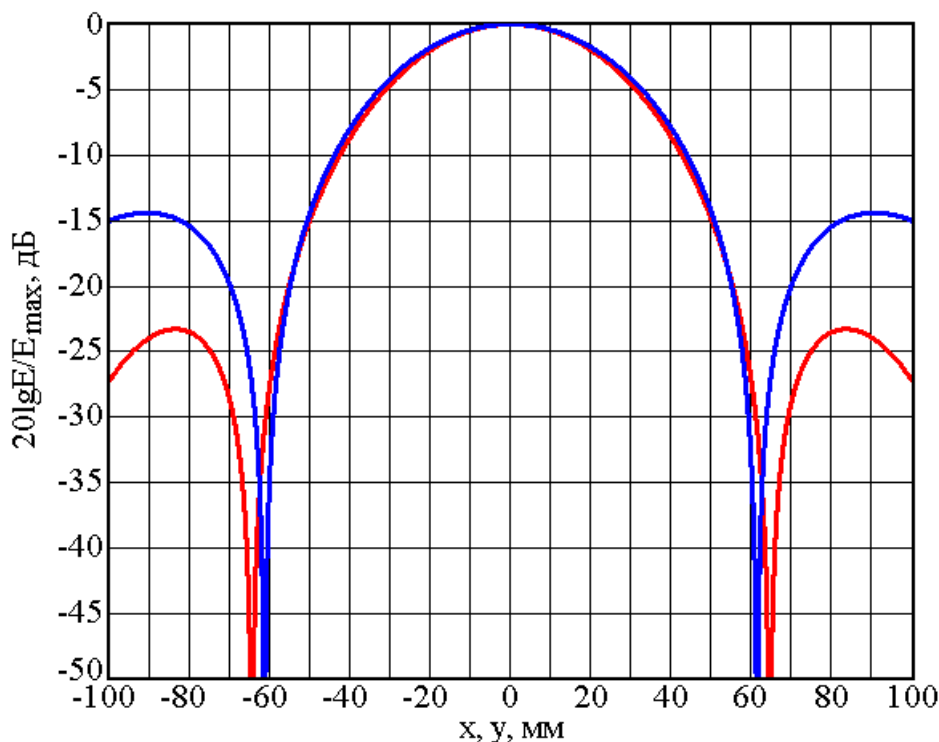


Рис. 3.6. ДН прямоугольного раскрыва, построенные в двух взаимно перпендикулярных плоскостях векторов Н и Е основной волны волновода

Как легко заметить из приведенного рисунка, при указанных размерах прямоугольного ДН является аксиально-симметричной. Уровень боковых лепестков в Е – плоскости (-14,4 дБ) значительно выше, чем в Н – плоскости (-23,3 дБ). Однако приведенная ДН даже по уровню -15 дБ составляет 100 мм, что превосходит диаметр трубки 25 мм, в которой должен располагаться наш излучатель. Поэтому представляет практический интерес проанализировать ДН рассматриваемого излучателя на более близком расстоянии от раскрыва.

Хорошо известно, что в пространстве вокруг антенны существует три зоны излучения: ближняя, промежуточная (зона Френеля) и дальняя (зона Фраунгофера). В ближней зоне средний за период колебаний поток мощности равен нулю: половину периода колебаний вектор плотности потока мощности направлен от антенны, а вторую половину периода – к антенне. Этим характеризуется реактивное поле. Следовательно, ближняя зона антенны является накопителем энергии электромагнитного поля и определяется как

[95]. В активном поле средний за период колебаний поток мощности отличен от нуля. Благодаря этому активное поле переносит мощность от антенны в дальнюю зону. Поскольку в ближней зоне реактивное поле существенно превосходит активное, то эту зону мы рассматривать не будем.

В промежуточной зоне активное поле уже превышает реактивное, а сами размеры этой зоны определяются как $\frac{2\lambda}{\pi}$, или в наших обозначениях 22,652 мм $\frac{205}{\pi}$ мм ($\frac{20,5}{\pi}$ мм). Поэтому рассмотрим ДН аксиально-симметричного раскрыва (рис. 3.6) на расстоянии 50 мм.

Результаты расчета по формулам (3.15) и (3.19) показаны на рис. 3.7. Как мы можем видеть из представленного рисунка, основной лепесток ДН в двух взаимно перпендикулярных плоскостях является аксиально-симметричным. Наряду с этим уровень боковых лепестков в плоскости вектора E основной волны прямоугольного волновода значительно выше, чем в плоскости вектора H , -14,4 дБ против -23,3 дБ (по уровню -15 дБ). По этому же уровню -15 дБ ширина главного лепестка ДН в обеих рассматриваемых плоскостях составляет 24,8 мм. Таким образом, в этом случае более 80% излучаемой мощности будут сосредоточены в трубе диаметром 30 мм.

Поскольку размеры излучателя в обеих плоскостях превышают рабочую длину волны в несколько раз, то остается открытым вопрос о длине пирамидального рупора для обеспечения синфазного распределения поля в его раскрыве.

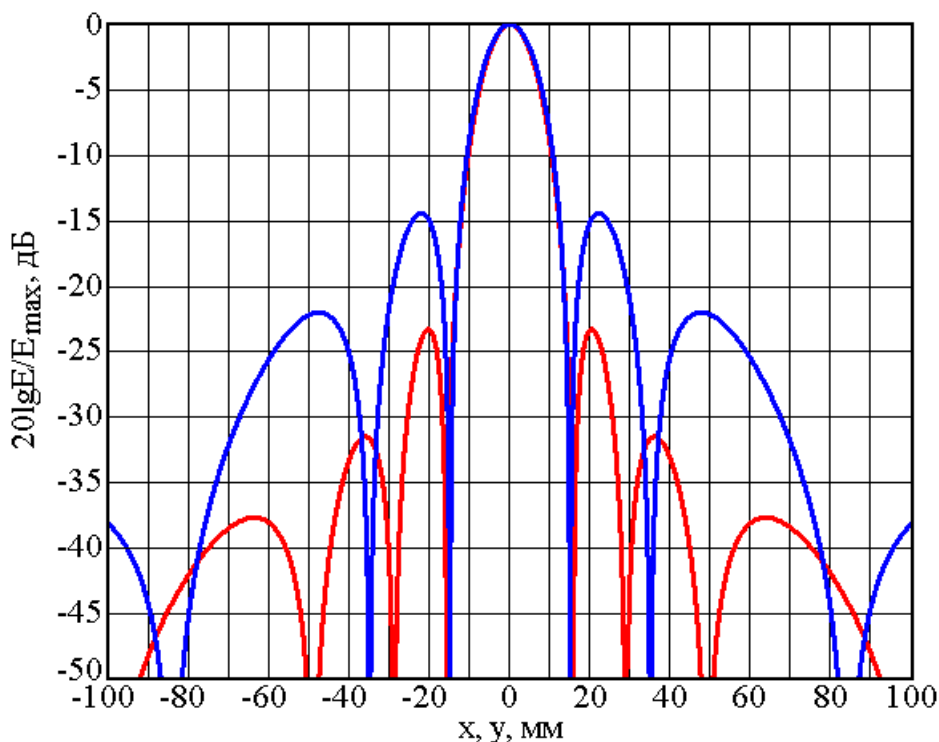


Рис. 3.7. ДН прямоугольного раскрыва, построенные на расстоянии 50 мм в двух взаимно перпендикулярных плоскостях векторов Н и Е основной волны волновода

Из литературных источников хорошо известно, что максимальная фазовая ошибка в раскрыве определяется геометрическими размерами раскрыва рупора. При этом ее допустимая величина должна удовлетворять следующим условиям [124]:

- в Н – плоскости:

$$\Delta \varphi_H \leq \frac{\pi}{2}, \quad (3.21)$$

- в Е – плоскости:

$$\Delta \varphi_E \leq \frac{\pi}{2}, \quad (3.22)$$

где L_H – расстояние от раскрыва до точки в волноводе, в которой сходятся ребра рупора в плоскости вектора H основной волноводной волны;

L_E – расстояние от раскрыва до точки в волноводе, в которой сходятся ребра рупора в плоскости вектора E волны TE_{10} в волноводе.

Таким образом, мы имеем два выражения (3.21) и (3.22) и два неизвестных, из которых получим соотношения для определения длины рупора в плоскостях Н и Е:

$$L_H = \frac{2}{\pi} \Delta \varphi_H, \quad (3.23)$$

$$L_E = \frac{2}{\pi} \Delta \varphi_E. \quad (3.24)$$

С другой стороны, размеры a и b связаны с размерами прямоугольного раскрыва $20,5 \times 14,309$ мм и с размерами волновода $3,6 \times 1,8$ мм соотношением [124]:

$$a = 20,5 - 2b, \quad (3.25)$$

Процедура нахождения длины пирамидального рупора состоит в следующем. Сначала в выражении (3.23) изменяем знак неравенства на

равенство и находим . После этого из выражения (3.25) определяем . При этом необходимо учитывать, что полученное значение должно удовлетворять неравенству (3.24). После подстановки численных значений найдем, что для получения синфазного распределения поля в раскрыве длина рупорного излучателя должна быть равна 35 мм.

Таким образом, в результате проведенных исследований мы нашли геометрические размеры излучателя для облучения яичников коров. Учитывая условия, в которых такой излучатель будет использоваться (внутриутробное), он должен быть помещен в защитный корпус.

С другой стороны, сам рупорный излучатель не может быть изготовлен из бесконечно тонкого металла. Толщина металла должна быть хотя бы 0,5 мм. В этом случае внутренний диаметр трубки, в которую помещается излучатель указанных выше размеров, составит 26,4 мм.

При этом на расстоянии 50 мм от раскрыва на краях внутреннего диаметра трубки амплитуда сигнала составит -18,8 дБ (рис. 3.7). В плоскости вектора E по этому уровню существуют боковые лепестки ДН. Наружный диаметр диэлектрической трубки составляет 30 мм.

Для проведения эффективного лечения необходимо иметь более узкую ДН с низким уровнем боковых лепестков. Для этих целей целесообразно использовать диэлектрическую линзу.

3.3. Анализ диэлектрической линзы, используемой для корректировки ДН рупорного излучателя

Учитывая специфические условия использования (внутриутробное) нашей излучающей системы, ее раскрыв обязательно должен быть закрыт. Для этих целей при решении поставленной в диссертационной работе задачи будем использовать обтекатель [96, 125]. В качестве последнего как раз и применим собирающую линзу, которая будет выполнять двойную функцию. С одной стороны, она позволит сформировать необходимую ДН, а с другой – является защитным элементом излучающей системы. В качестве материала, из которого изготовлена линза, выберем фторопласт-4, обладающий в миллиметровом диапазоне малыми потерями ().

Излучающая система с обтекателем 1 показана на рис. 3.8. Здесь же показаны все основные геометрические размеры рассматриваемой системы. Пирамидальный рупор 2 переходит в прямоугольный волновод 3 четырехмиллиметрового диапазона. Вся эта конструкция располагается в диэлектрической трубе 4 из винипласта. Для центровки в трубе волноводных элементов используются пенопластовые вставки 5.

Поскольку рассматриваемый излучатель закрыт собирающей линзой, то представляет практический интерес определить ее фокусное расстояние. Для собирающей линзы выражение, связывающее ее толщину , фокусное расстояние и диаметр , для случая имеет вид [125, 126]:

$$, \quad (3.26)$$

где – коэффициент преломления материала линзы;

мм – диаметр линзы.

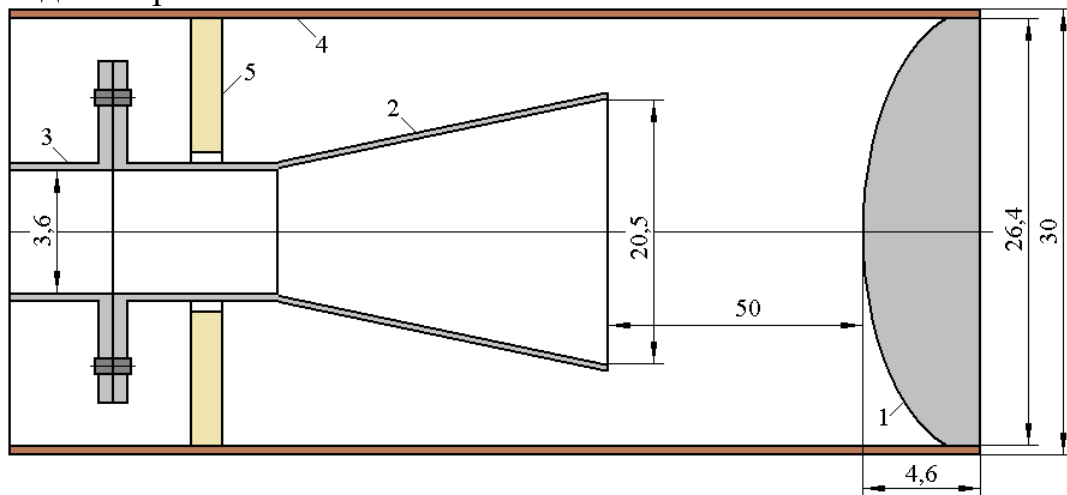


Рис. 3.8. Внешний вид излучающей системы с полусферической диэлектрической линзой

При проведении исследований в предыдущем подразделе мы анализировали ДН пирамидального рупора на расстоянии 50 мм от раскрыва (рис. 3.7). Поэтому физически будет наиболее правильно, используя уравнение (3.26), найти толщину плосковыпуклой диэлектрической линзы, при которой ее фокусное расстояние будет равно 50 мм. В этом случае фокус линзы будет находиться в раскрыве рупора. Следовательно, можно найти амплитудное распределение поля на выходе линзы в двух взаимно перпендикулярных плоскостях.

Результаты расчета по формуле (3.26) представлены на рис. 3.9.

Из рисунка видно, что толщина линзы должна быть равна $\approx 4,6$ мм, для того, чтобы ее фокусное расстояние составляло 50 мм.

Для дальнейшего анализа найдем амплитудное распределение поля вдоль раскрыва линзы вследствие рефракции. С одной стороны, оно будет определяться ДН пирамидального рупора в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, описываемых с помощью выражений (3.15), (3.19) и представленной на рис. 3.7. При данном рассмотрении значения выражений (3.15) и (3.19) обозначим через $t(f)$. Здесь, как и выше, $t(f)$ для одной плоскости и $t(f)$ для другой. С другой стороны, амплитудное распределение поля вдоль раскрыва будет определяться самой линзой. Это связано с тем, что за счет рефракции в диэлектрике происходит изменение ДН.

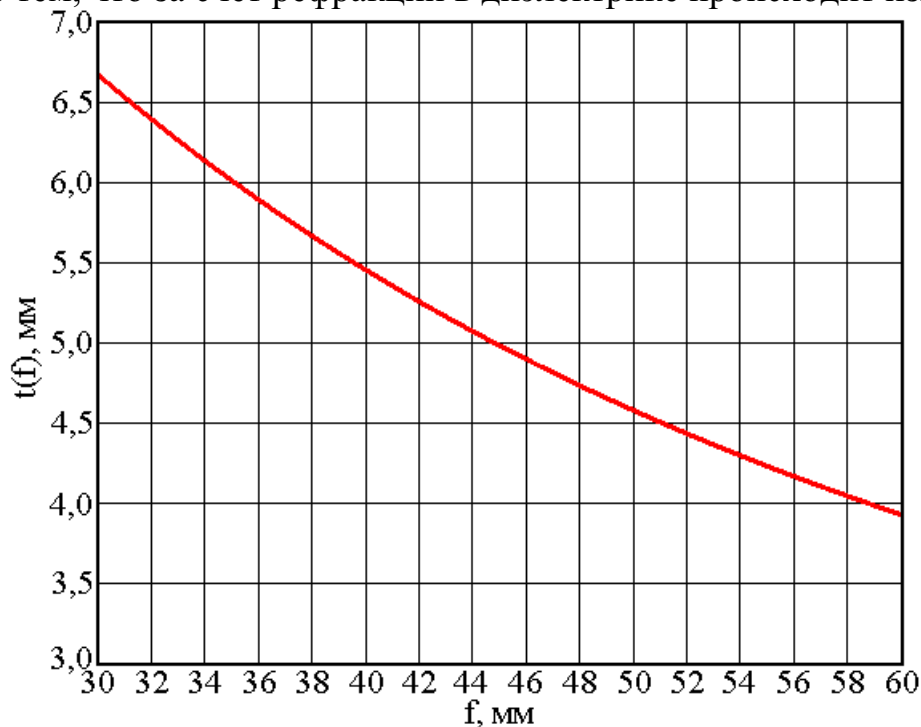


Рис. 3.9. Зависимость фокусного расстояния диэлектрической плосковыпуклой линзы от ее толщины

Для плосковыпуклой линзы поправочный множитель, обусловленный рефракцией, можно рассчитать по формуле [127]:

$$\dots \quad (3.27)$$

Поскольку диэлектрическая проницаемость рассматриваемой линзы больше единицы, то коэффициент отражения от такой линзы должен быть отличен от нуля. Для учета отражения необходимо ввести коэффициент прохождения через линзу, который будет равен отношению энергии, прошедшей через линзу, к энергии, падающей на ее внутреннюю поверхность. Изменение амплитуды поля вдоль раскрыва линзы, определяемое коэффициентом прохождения, может быть определено из выражения [127]:

$$\dots \quad (3.28)$$

Теперь можем записать распределение поля в раскрыве диэлектрической линзы в виде [127]:

$$\dots \quad (3.29)$$

Для того чтобы построить амплитудное распределение поля на выходе плосковыпуклой диэлектрической линзы, необходимо найти $(\dots)$.

Максимальное значение $\dots$ определяется соотношением (3.20). Из выражения (3.27) найдем, что $\dots$. По аналогии из выражения (3.28) определим, что $\dots$.

$\dots$. Теперь можем записать:

$$\dots \quad (3.30)$$

Амплитудное распределение поля в раскрыве плосковыпуклой диэлектрической линзы с учетом уравнения (3.30) примет вид:

$$\dots \quad (3.31)$$

Результаты расчета по формуле (3.31) показаны на рис. 3.10. Если теперь сравним амплитудное распределение поля пирамидального рупора на расстоянии 50 мм от раскрыва (рис. 3.7) и поле в раскрыве линзы, то можно заметить следующее. Во-первых, линза не приводит к качественному изменению ДН, она по-прежнему остается аксиально-симметричной. Во-вторых, диэлектрическая линза приводит к снижению уровня боковых лепестков. Уровень боковых лепестков в плоскости вектора E основной волны

прямоугольного волновода во входной плоскости линзы составляет -14,4 дБ (рис. 3.7). В то же время в раскрыве линзы в этой же плоскости уровень боковых лепестков значительно ниже (-17,9 дБ). В-третьих, ширина главного лепестка ДН во входной плоскости линзы по уровню -15 дБ равна 24,76 мм (рис. 3.7). В раскрыве линзы по этому же уровню ширина главного лепестка ДН составляет 23,8 мм. Таким образом, плосковыпуклая диэлектрическая линза приводит к снижению уровня боковых лепестков, к сужению главного лепестка ДН и фактически не изменяет аксиальную симметрию амплитудного распределения поля на выходе.

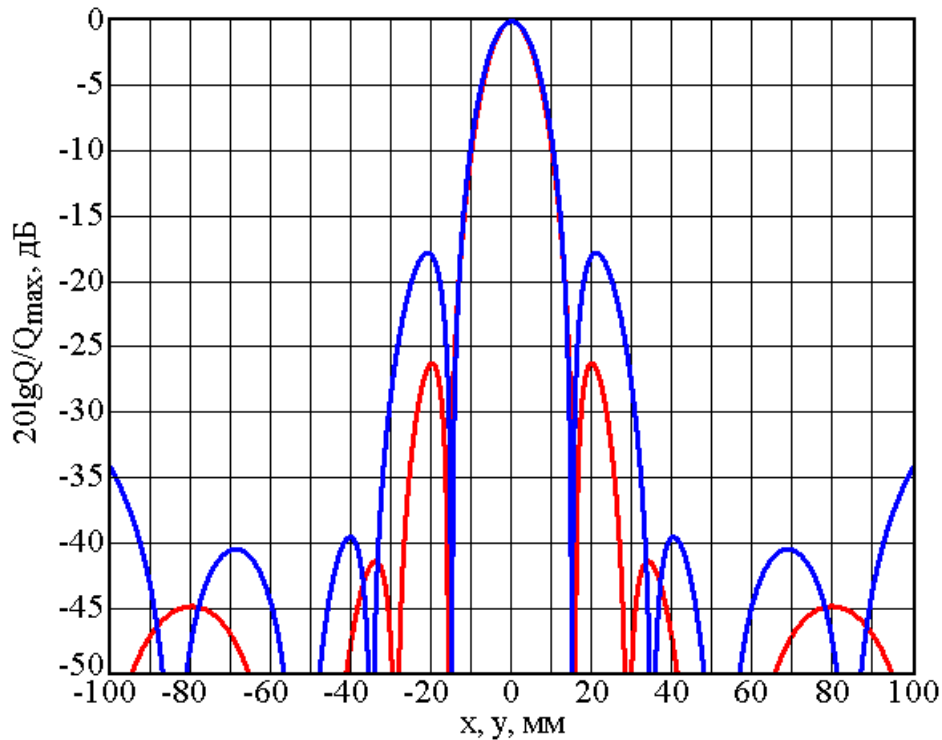


Рис. 3.10. Распределение поля в раскрыве плосковыпуклой диэлектрической линзы

Для подтверждения сделанных выводов необходимо провести экспериментальные исследования.

Представляет практический интерес определить коэффициент отражения от рассчитанного рупорного излучателя. Это связано с необходимостью понимать, какая часть мощности, подводимой к пирамидальному рупору, будет излучаться в свободное пространство. Отражение в такой антенне возникает в двух сечениях: в раскрыве самого рупора () и в его горловине ().

Коэффициент отражения от раскрыва является величиной комплексной. Его модуль и фаза зависят от размеров раскрыва. Как было показано в работе [128], с увеличением размеров раскрыва модуль коэффициента отражения уменьшается, а фаза стремится к нулю. И при размерах раскрыва в несколько длин волн можно считать приблизительно равным нулю.

Для определения модуля коэффициента отражения от рассчитанного рупорного излучателя воспользуемся соотношением [124]:

$$\Gamma = \frac{Z_{\text{рупора}} - Z_{\text{волновода}}}{Z_{\text{рупора}} + Z_{\text{волновода}}} \quad (3.32)$$

где $Z_{\text{рупора}}$ – постоянная распространения в прямоугольном волноводе, поперечное сечение которого равно раскрытию рупора, т.е.

20,5 мм;

k – волновое число.

Результаты расчета по формуле (3.32) в диапазоне (4,1±0,1) мм представлены на рис. 3.11 (красная кривая).

Модуль коэффициента отражения от горловины рупора можно найти из выражения [124]:

$$\Gamma = \frac{Z_{\text{рупора}} - Z_{\text{горловины}}}{Z_{\text{рупора}} + Z_{\text{горловины}}} \quad (3.33)$$

где a и b – размеры поперечного сечения прямоугольного волновода, приведенные выше;

α и β – углы раскрытия рупора в плоскостях xy и xz , соответственно.

Как мы получили выше, длина от горловины рупора до его раскрытия равна 35 мм. Следовательно, при размерах раскрытия рупора 20,5×14,3

мм 16,67° (0,291 рад), 11,57° (0,202 рад). Поведение Γ , определяемого формулой (3.2), представлено на рис. 3.11 (синяя кривая). Как видно из рисунка, при данных размерах излучающей апертуры отражением от горловины и от самого рупора можно пренебречь, поскольку при длине волны 4

,1 мм $\Gamma_{\text{горловины}} = 2,51 \times 10^{-3}$ и $\Gamma_{\text{рупора}} = 2,50 \times 10^{-3}$. Это говорит о том, что практически вся мощность генератора излучается в свободное пространство, т.е. мы имеем дело с согласованным режимом и в прямоугольном волноводе устанавливается режим бегущей волны.

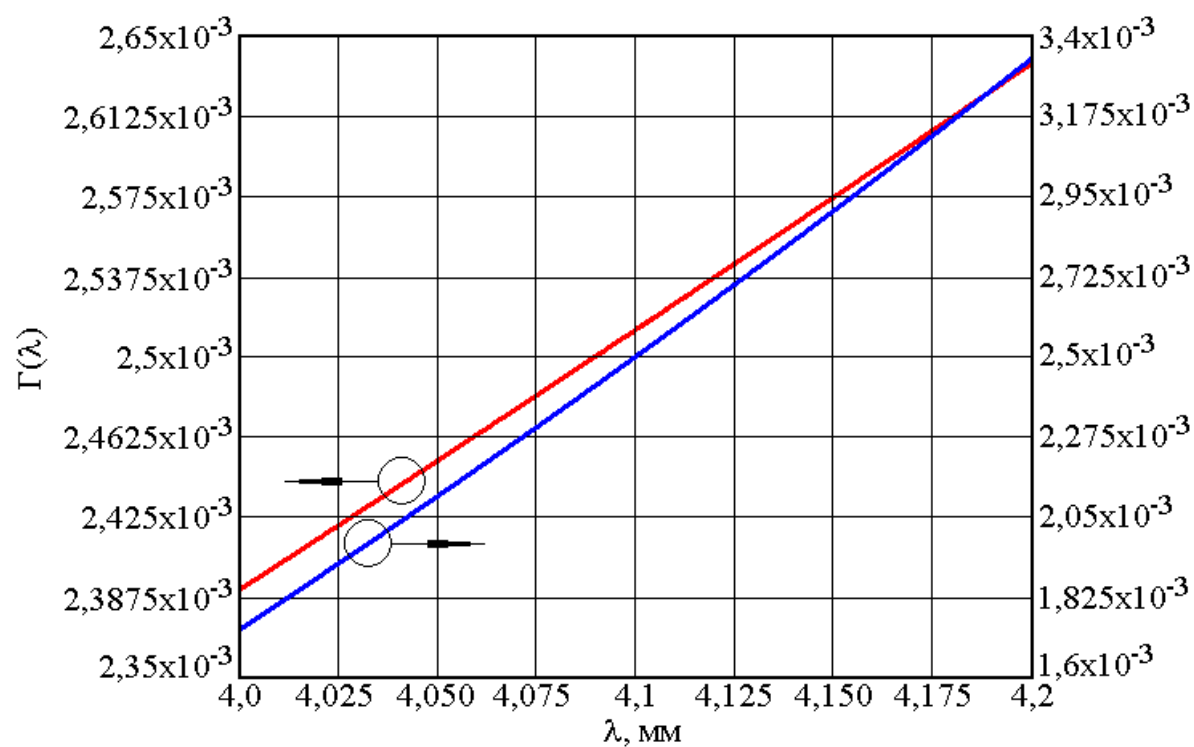


Рис. 3.11. Зависимости модулей коэффициентов отражения и от длины волны в прямоугольном волноводе

Выводы по разделу

1. Внутриутробное лечение болезней яичников коров возможно с применением рупорно-волноводной системы, которая на частоте 73,2 ГГц формирует ширину главного лепестка ДН в раскрыве линзы по уровню -15 дБ 23,8 мм и ослаблением боковых лепестков в пределах -17,9 дБ.
2. Для создания аксиально-симметричного главного лепестка ДН как в зоне Фраунгофера (дальняя зона), так и в зоне Френеля (промежуточная зона) возможно пирамидальным рупором с размерами: $20,5 \times 14,31$ мм и длиной 35 мм, с выходом на основное сечение прямоугольного волновода сечением $3,6 \times 1,8$ мм.
3. В связи с внутриутробным лечением животных, раскрыв диэлектрического волновода излучателя электромагнитной энергии должен быть закрыт диэлектрической линзой с параметрами: диаметр 26,4 мм; толщина 4,6 мм; фокусное расстояние 50 мм.

РАЗДЕЛ 4. АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СИСТЕМЫ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО МЕТОДА ЛЕЧЕНИЯ БОЛЕЗНЕЙ ЯИЧНИКОВ КОРОВ

4.1. Цель и задачи экспериментальных исследований

Целью данных экспериментов является создание излучающей системы и информационного электромагнитного метода для внутриутробного лечения болезней и расстройства функции яичников маточного поголовья крупного рогатого скота.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- разработка и исследование основных характеристик антенного устройства для внутриутробного лечения болезней яичников коров;
- определение в лабораторных условиях биотропных параметров миллиметрового электромагнитного излучения для угнетения патогенных кокков, вызывающих воспаление яичников коров;
- проведение производственных опытов лечения патологии яичников маточного поголовья коров.

4.2. Экспериментальные исследования излучающей системы для внутриутробного лечения яичников коров

С целью проверки выполненных расчетов были проведены экспериментальные исследования по измерению коэффициента отражения от пирамидального рупора. Для этого был изготовлен пирамидальный рупор длиной 35 мм, имеющий излучающий раскрыв $20,5 \times 14,3$ мм с выходом на основное сечение прямоугольного волновода четырехмиллиметрового диапазона $3,6 \times 1,8$ мм. Измерения проводились в частотном диапазоне $(73,2 \pm 0,05)$ ГГц. Модуль коэффициента отражения от излучающего раскрыва, как показали выполненные выше расчеты, близок к нулю. Поэтому измерения необходимо выполнять методом рефлектометра [121, 129].

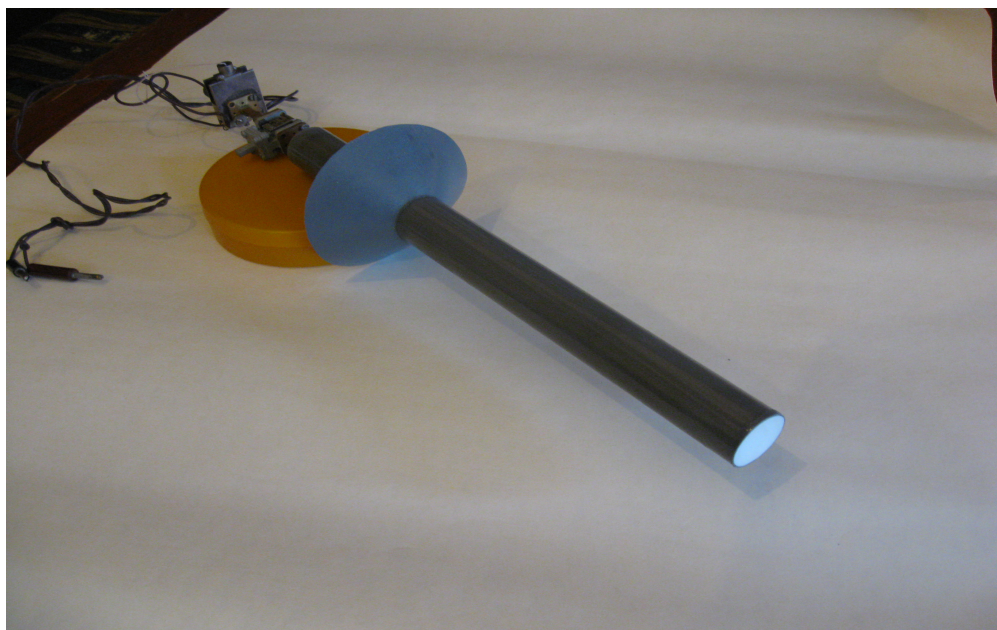


Рис. 4.1. Общий вид рупорно-волноводной излучающей системы

Блок-схема измерительной установки приведена на рис. 4.2. Сигнал, отраженный от раскрытия пирамидального рупора 5, находящегося в диэлектрической трубке 6, через фазовращатель 4, направленный ответвитель 3 плечи II и III -тройника 10, поступает в приемный тракт, состоящий из детекторной секции 12, резонансного усилителя 13 (У2-6) и осциллографа 14 (С1-68). Для контроля частоты генератора сигналов высокочастотного Г4-142 1 в приемный тракт включен волномер 11. Поскольку для измерения малых изменений модуля коэффициента отражения мы используем схему рефлектометра, то ответвители 2 и 3 подобраны таким образом, что их направленности составляют 30 дБ.

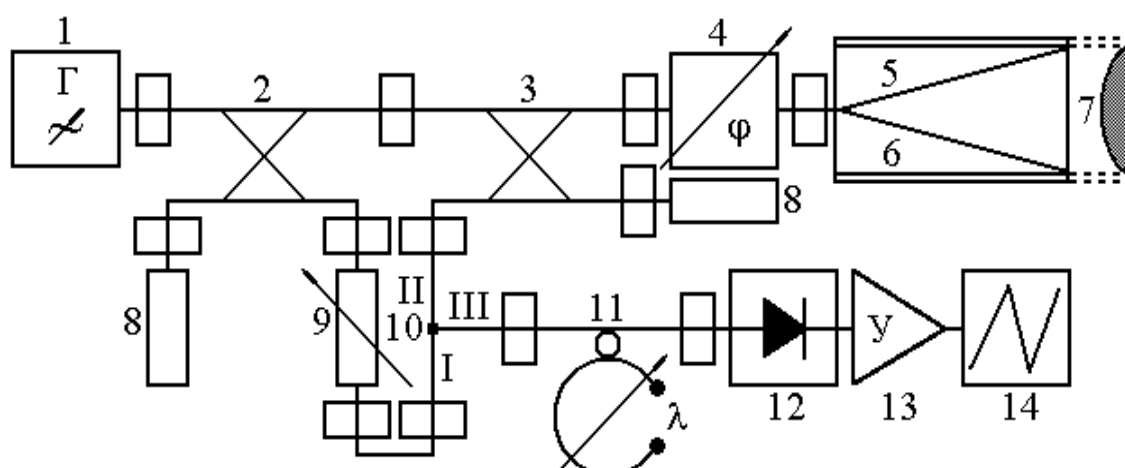


Рис. 4.1. Блок-схема рефлектометра для измерения малых изменений коэффициента отражения

Для расширения динамического диапазона сверхвысокочастотный сигнал модулируется по амплитуде меандром частотой 1 кГц. Для развязки с нагрузкой в схему передающего генератора включен установочный аттенюатор. Для того, чтобы исключить влияние различных металлических тел, расположенных в поле излучения исследуемого пирамидального рупора, используются поглощающие покрытия.

Методика эксперимента состоит в следующем [129]. Первоначально в раскрые рупора 5 помещается короткозамыкатель, выполненный из медной пластины. Сигнал после отражения от такого короткозамыкателя через направленный ответвитель 3 поступает в плечо II – тройника. Второй сигнал, который является опорным, поступает в плечо I – тройника через направленный ответвитель 2 от генератора 1. С помощью поляризационного аттенюатора 9 и фазовращателя 4 добиваемся компенсации сигналов в плече III

– тройника 10. При этом фиксируем показания аттенюатора 9, равные . После этого убирается короткозамыкатель и производится измерение модуля коэффициента отражения от излучающего раскрыва. Для этого снова делаем балансировку – тройника с помощью фазовращателя 4 и аттенюатора 9, показания которого при этом будут . Теперь можем вычислить модуль коэффициента отражения по полю от раскрыва исследуемого

пирамидального рупора по формуле [130] . После этого изменяется частота генератора Г4-142. По описанной выше схеме проводится

калибровка и измеряется на другой частоте. Для того, чтобы исключить влияние случайных отраженных сигналов на результаты измерений, во вторые плечи направленных ответвителей 2 и 3 включены согласованные нагрузки 8.

Результаты измерения модуля коэффициента отражения от пирамидального рупора указанных выше размеров при изменении частоты генератора 1 ($73,2 \pm 0,05$) ГГц приведены на рис. 4.2 (синяя кривая). Из рисунка видно, что практически во всем диапазоне перестройки частоты генератора Г4-142 модуль коэффициента отражения от раскрыва исследуемого рупора

меньше 0,1. На частоте 73,2 ГГц (связано с тем, что при теоретическом анализе не учитывались омические потери в волноводном тракте и самой антенне.

Плосковыпуклая диэлектрическая линза 7 из фторопласта-4 располагается на расстоянии 50 мм от раскрыва рупорного излучателя (рис. 3.8). Вся излучающая система помещается в диэлектрическую трубу 6 из

винипласта. Результаты измерения от излучающей системы при изменении частоты генератора Г4-142 приведены на рис. 4.2 (красная кривая).

Как видно, рассчитанная и измеренная зависимости от частоты генератора ведут себя подобно. За счет отражения сигнала от входной плоскости линзы

коэффициент отражения от излучающей системы возрастает. При $\lambda = 4,1$ мм модуль коэффициента отражения по полю $\Gamma_p = 0,178$. Если теперь рассмотреть коэффициент отражения по мощности от исследуемой излучающей системы, то он не превышает 0,03, т.е. $\Gamma_{\text{мощ}} \approx 0,03$. Таким образом, можно сказать, что практически вся мощность, подводимая к пирамидальному рупору с диэлектрической линзой, будет излучаться в свободное пространство.

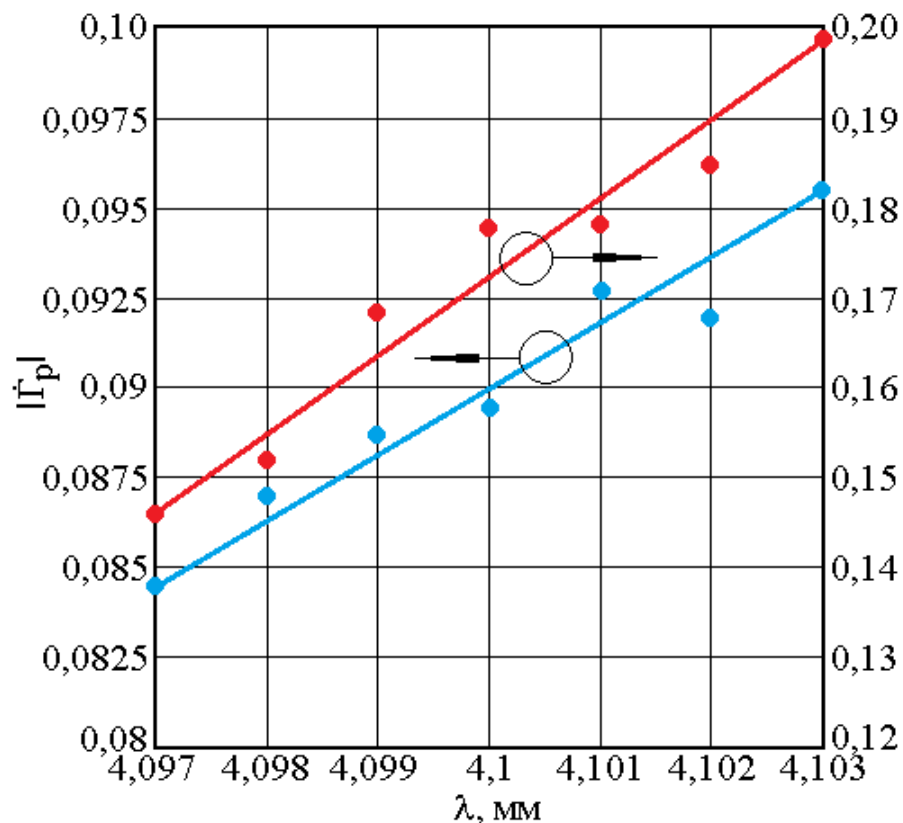


Рис. 4.2. Экспериментально измеренные модули коэффициентов отражения от пирамидального раскрыва и от излучающей системы

Для того, чтобы понять каким будет распределение поля в раскрыве диэлектрической линзы, необходимо экспериментально измерить разрезы поля в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Блок-схема экспериментальной установки, с помощью которой проводились исследования, приведена на рис. 4.3.

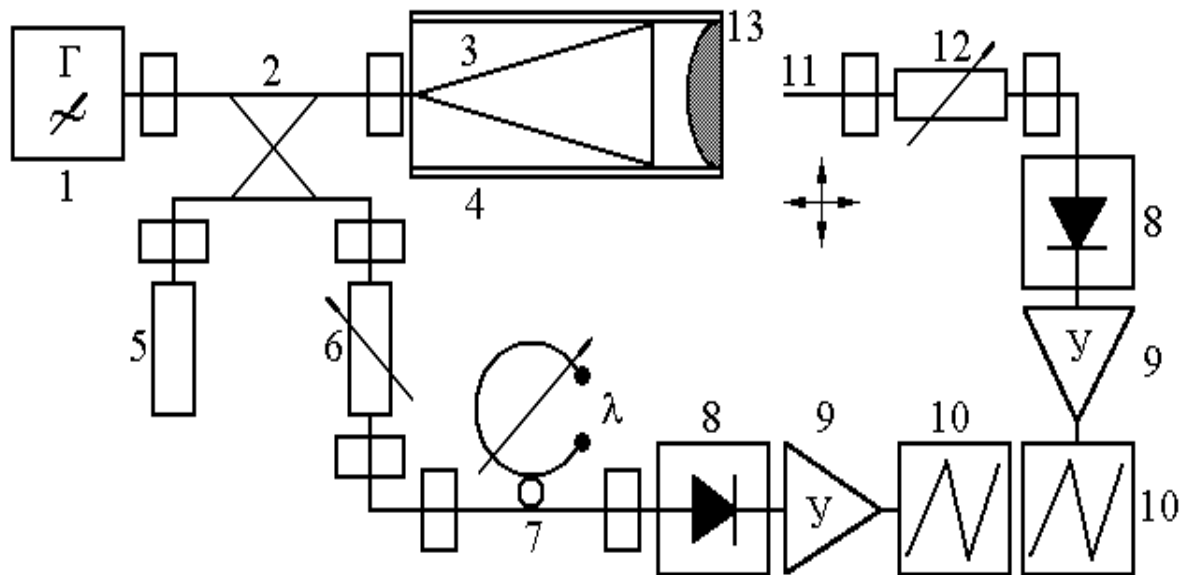


Рис. 4.3. Блок-схема экспериментальной установки для измерения распределения поля в раскрыве диэлектрической линзы

Сигнал от генератора сигналов высокочастотного Г4-142 1 со встроенным аттенуатором поступает в пирамидальный рупор 3, помещенный в диэлектрическую трубку 4 из винипласта. Для расширения динамического диапазона сверхвысокочастотный сигнал модулируется по амплитуде меандром частотой 1 кГц. Для контроля частоты и уровня выходной мощности генератора 1 в тракте установлен направленный ответвитель 2, в прямое плечо вспомогательной линии которого включены поляризационный аттенюатор 6, резонансный волномер 7, детекторная секция 8, резонансный усилитель 9 (У2-6), осциллограф 10 (С1-68). Для устранения отраженных сигналов, которые могут исказить результаты измерений, в обратное плечо вспомогательной линии направленного ответвителя 2 включена согласованная нагрузка 5.

Разрезы полей в двух взаимно перпендикулярных плоскостях на расстоянии длины волны (4 мм) от раскрыва диэлектрической линзы измерялись с помощью открытого конца прямоугольного волновода 11 сечением 3,6 × 1,8 мм с шагом 2 мм. Выбор именно такого шага связан с тем, что даже открытый конец волновода обладает интегрирующей характеристикой. В приемный тракт помимо отрезка волновода 11 также входят поляризационный аттенюатор 6, детекторная секция 8, резонансный усилитель 9 (У2-6), осциллограф 10 (С1-68).

Результаты экспериментальных исследований представлены на рис. 4.4, на котором показан разрез поля, измеренный в плоскости вектора $\mathbf{H}$ основной волны прямоугольного волновода (синие кружки).

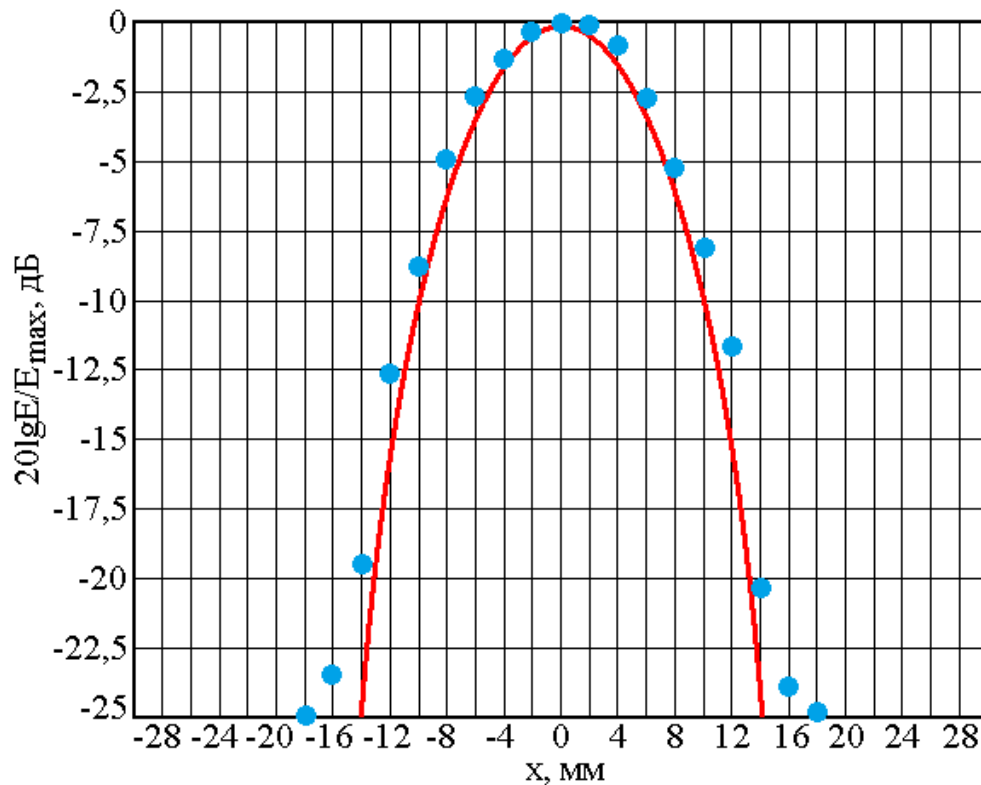


Рис. 4.4. Экспериментально измеренный разрез поля в раскрыве диэлектрической линзы в плоскости вектора основной волны волновода

Здесь же показано расчетное распределение поля в раскрыве плосковыпуклой диэлектрической линзы (красная кривая). Из приведенного рисунка видно, что экспериментально измеренный разрез поля находится в хорошем соответствии с проведенными теоретическими расчетами. Как было показано выше в этой плоскости по уровню -15 дБ ширина главного лепестка ДН равна 23,8 мм. Из рис. 3.15 следует, что экспериментально измеренная ширина главного лепестка ДН равна ≈ 26 мм. Отличие расчета от эксперимента не превышает 10%. Это говорит о правильности выполненного теоретического анализа. На рис. 4.5 представлен экспериментально измеренный разрез поля в раскрыве плосковыпуклой диэлектрической линзы, измеренный в плоскости вектора основной волны прямоугольного волновода (синие кружки).

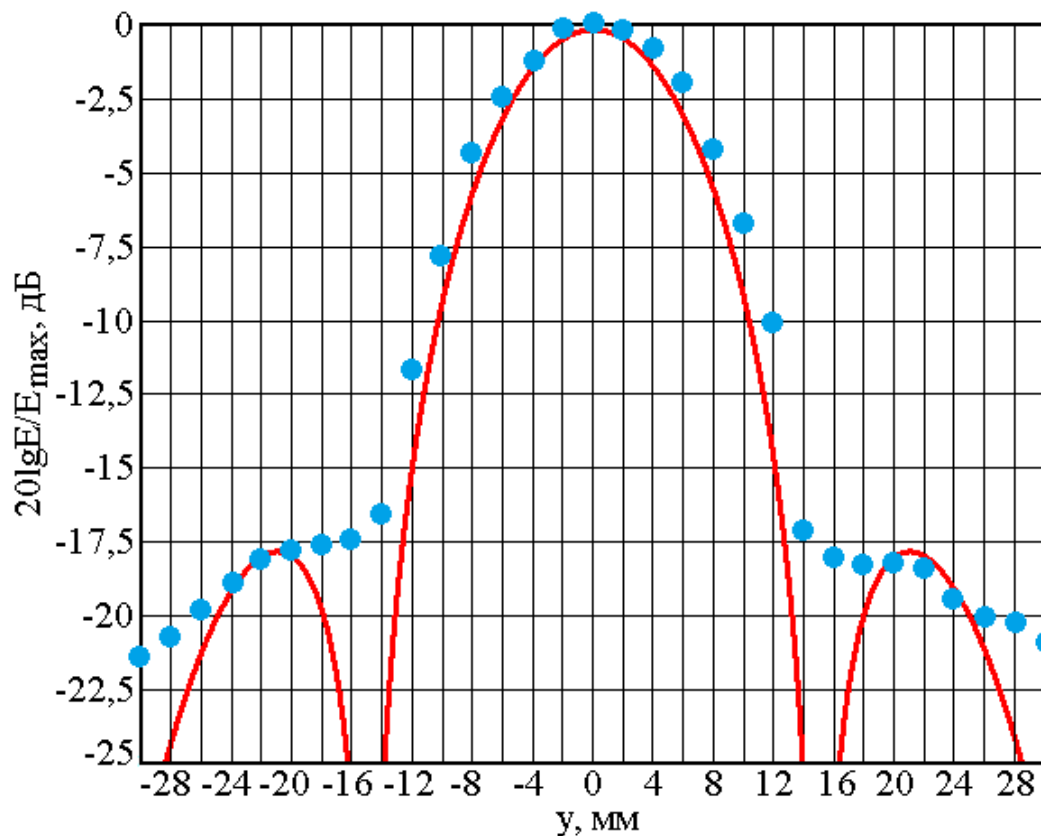


Рис. 4.5. Экспериментально измеренный разрез поля в раскрытии диэлектрической линзы в плоскости вектора E основной волны волновода

Здесь же показана теоретически рассчитанная ДН в раскрытии линзы в этой же плоскости (красная кривая). В этом случае по уровню -15 дБ ширина диаграммы направленности равна $\approx 26,7$ мм. Отличие расчета от эксперимента не превышает 12%. Экспериментальные результаты подтверждают теоретические выкладки, когда было показано, что в плоскости вектора основной волны в прямоугольном волноводе уровень боковых лепестков значительно выше, чем в плоскости вектора H .

Проведенные дополнительные исследования показали, что на расстоянии 30 мм от раскрытия линзы ширина главного лепестка ДН остается аксиально-симметричной. Однако при этом по уровню -15 дБ она увеличивается на $\approx 24\%$ и составляет ≈ 33 мм.

Таким образом, весь цикл проведенных исследований позволяет сделать важный практический вывод о применимости пирамидального рупора с плосковыпуклой диэлектрической линзой для облучения яичников коров.

4.3. Определение оптимальных параметров электромагнитного излучения для угнетения патогенных микроорганизмов, вызывающих воспаление яичников

Оофорит (овариит) является инфекционным процессом воспаления яичников [7, 18, 19]. Как и большинство воспалительных процессов болезнь протекает в острой и хронической формах. Как показывает литературный

анализ [7, 8, 19], наиболее опасными бактериями-возбудителями воспаления яичников коров являются стафилококки. Для определения параметров электромагнитного излучения, приводящих к уничтожению стафилококков, были проведены исследования в Кегичёвской районной государственной лаборатории ветеринарной медицины. Для определения количественного и качественного состава патогенных микроорганизмов были использованы унифицированные методики, утвержденные Минздравом [131, 132].

Цель исследования: выделение, идентификация стафилококков и проведение многофакторного эксперимента по угнетению стафилококков ЭМИ КВЧ диапазона. Материал для исследований брался пастеровской пипеткой и засеивался на желточно-солевой агар и на агар с 3...5% содержанием крови в чашках Петри. Все посевы ставились в термостат на сутки при температуре 37 °С. В течении трех дней из данного материала получали чистую культуру. В первый день каплю исследуемого материала пипеткой наносили на поверхность агара в чашке Петри. Затем шпателем втирали материал в поверхность среды и тем же шпателем проводили посев второй и третьей чашке. При таком посеве на первую чашку приходится много материала, на вторую меньше и на третью еще меньше. На второй день изучали рост микробов на чашках. С третьей чашки изолированные колонии пересеивали на скошенный агар. Посевы ставили в термостат. На третий день изучали характер роста колоний на скошенном агаре и, убедившись в том, что культура чистая, приступили к многофакторному эксперименту. Для получения зависимости, связывающей количество стафилококков с параметрами ЭМИ КВЧ диапазона при наличии аддитивной помехи случайного характера, применимо полнофакторное планирование второго порядка. Значение факторов и их интервалы варьирования приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Значение факторов в эксперименте

Интервал варьирования и уровень факторов	Частота, ГГц	Плотность потока мощности, мВт/см ²	Экспозиция, сек
	X1	X2	X3
Нулевой уровень,	72,2	0,4	70
Интервал варьирования,	1	0,1	40
Верхний уровень,	73,2	0,5	110
Нижний уровень,	71,2	0,3	30

Для построения плана второго порядка используются данные приведенные в табл. 4.2 [133].

Таблица 4.2

Данные для построения плана второго порядка

Число факторов, К	Число точек ядра	Число звёздных точек,	Число нулевых точек,	Звёздные точки, а	Число опытов, N
3	8	6	6	1,682	20

При использовании стандартной методики построения плана второго порядка составлены матрицы: планирование эксперимента; расчета коэффициентов регрессии; определения дисперсии адекватности и результатов обработки данных, которые приведены в приложении А. После проведения измерений и расчетов получены уравнения регрессии, связанное с уничтожением стафилококков ЭМИ КВЧ диапазона:

$$Y = 1500 - 650X_1 + 1800X_2 + 1850X_3 + 500X_1X_2 - 1000X_1X_3 + 500X_2X_3 + 500X_{12} + 1000X_{22} + 750X_{32} \quad (4.3)$$

где Y – выходной параметр (количество стафилококков);

X_1 – частота электромагнитного излучения;

X_2 – плотность потока мощности;

X_3 – время облучения стафилококков.

Проверка значимости коэффициентов регрессии проводилась при уровне значимости $\alpha = 0,05$ по критерию Стьюдента [133]. С учетом значимости коэффициентов, уравнение регрессии для подавления жизнедеятельности стафилококков принимает вид (4.1). На основании проверки данного уравнения на адекватность по критерию Фишера [133] сделан вывод (Приложение А), что уравнение адекватно описывает реальный процесс, и, следовательно, позволяет оценить характер влияния каждого из трех факторов на функции отклика. Кроме того, стало возможным практическое использование полученной модели для прогнозирования значения выходного сигнала в области варьирования параметров X_i . Для нахождения оптимальных параметров процесса решена система уравнений, полученных приравниванием к нулю значений градиентов компонентов, вычисленных по выражению [134]:

$$, \quad (4.2)$$

где X_1, X_j – кодированные значения факторов, по которым берется

производная и взаимодействующий с ними, соответственно: –

коэффициенты уравнения регрессии.

Для выражения (4.2) получена следующая система:

(4.3)

Решения системы уравнений (4.3) дает следующие значения факторов в оптимальной точке:

что соответствует таким значениям натуральных параметров: частота ЭМП $73,2 \pm 0,1$ ГГц; плотность потока мощности $0,3 \pm 0,01$ мВт/см²; время действия на стафилококки $1 \pm 0,02$ мин. Применение ЭМП с оптимальными параметрами позволило полностью уничтожить стафилококки в лабораторных условиях.

Для подтверждения полученных результатов был проведен опыт с 10 коровами, больных склерозом яичников [135]. Для контроля использовали 10 здоровых животных. Курс лечения проводили в течение 4 дней, по одному сеансу в день. Для анализа использовали морфологические показатели крови опытных контрольных животных. Результаты исследований приведены в табл.

4.3. Результаты приведенные в табл. 4.3 показывают, что после лечения количество эритроцитов в крови увеличилось на 3,6% ($p < 0,01$), а количество лейкоцитов уменьшилось на 37,3% ($p < 0,01$). В содержании лимфоцитов, после лечения, наблюдается снижение на 7,9%, а количество моноцитов увеличивается на 85,7% ($p < 0,02$). Количество базофилов, эозинофилов, палочкоядерных нейтрофилов и сегментоядерных после лечения не отличаются от значений контрольных животных. Проведенный опыт показывает, что информационное электромагнитное излучение при облучении яичников коров приводит к активизации неспецифического клеточного и гуморального иммунитета и при этом не нарушается кроветворная функция организма животных. Информационное электромагнитное излучение обладает не только стимулирующим, но и корригирующим действием на иммунный статус. Полученные данные подтверждают затухание воспалительного процесса в яичниках животных, что характерно для фазы выздоровления.

Таблица 4.3

Морфологические показатели крови животных, больных склерозом яичников

Показатели	Опытная группа		Контрольная группа	
	До лечения	После лечения	До лечения	После лечения
Эритроциты, $10^{12}/л$	$5,6 \pm 0,6$	$5,8 \pm 0,2$	$5,4 \pm 0,07$	$5,4 \pm 0,1$

Лейкоциты 109/л	$9,2 \pm 0,8$	$6,7 \pm 0,24$	$6,8 \pm 0,3$	$6,8 \pm 0,2$
Лимфоциты, %	$66,2 \pm 3,8$	$63,3 \pm 1,8$	$68,1 \pm 1,4$	$68,1 \pm 1,5$
Моноциты, %	$1,4 \pm 0,4$	$2,6 \pm 0,6$	$1,8 \pm 0,1$	$1,7 \pm 0,2$
Базофилы, %	$0,3 \pm 0,1$	$0,6 \pm 0,1$	$0,6 \pm 0,2$	$0,6 \pm 0,3$
Эозинфилы, %	$9,6 \pm 1,8$	$11,9 \pm 0,1$	$11,7 \pm 0,1$	$11,8 \pm 0,2$
Палочкоядерные, %	$4,9 \pm 0,8$	$3,6 \pm 0,21$	$3,4 \pm 0,51$	$3,5 \pm 0,42$
Сегментоядерные, %	$17,3 \pm 2,1$	$12,2 \pm 1,1$	$12,0 \pm 1,8$	$12,0 \pm 1,0$

На основании экспериментальных исследований установлено, что для обеспечения надёжности и эффективной работы источника ЭМИ для лечения патологии яичников коров необходимо предусмотреть следующие технические требования к источнику электромагнитного излучения:

1. Выходная частота генератора $73,2 \pm 0,1$ ГГц;
2. Выходная мощность генератора 20 мВт;
3. Диапазон перестройки частоты генератора 3%;
4. Подавление побочных гармоник выходного сигнала не меньше 45 дБ;
5. Долговременная нестабильность частоты генератора за 1 с.

4.4. Лечение воспаления яичников коров электромагнитным излучением миллиметрового диапазона в производственных условиях

Для проведения производственных испытаний были отобраны коровы после отела, у которых диагностировали клинику воспалительного процесса в яичниках животных [135]. В основном это были животные с различными видами патологии яичников. Лечение яичников коров проводили в КВЧ диапазоне с параметрами: частота 73,2 ГГц; плотность потока мощности 0,3 мВт/см²; экспозиция 1 минута. Опыты проводили на молочных фермах Кегичёвского района. Исследования проводили специалисты ветеринарной медицины. Курс лечения проводили в течении 4 дней, по одному сеансу в день. Результативность электромагнитной терапии определяли путём клинических исследований и данных возобновления физиологического ритма половых

циклов у коров, с подтверждением стельности через два месяца после их осеменения. В группе коров из 188 голов было проведено внутриутробное лечение с помощью рупорно-волноводного излучателя. Материалы исследований представлены в табл. 4.4. Из приведенных в табл. 4.3 данных видно, что общая терапевтическая эффективность лечения склероза яичников составляет 95,9%. Эффективность лечения атрофии составила – 97,1%, кисты яичников – 100%, персистентного желтого тела – 100%, гипофункции яичников – 100%. Также следует отметить время появления охоты у коров после проведенного курса лечения. Так при склерозе оно составило 28 дней (n), при атрофии 24 дня (n), при кисте яичников 18 (n15), при персистентном желтом теле 32 (n при гипофункции 21 день (n).

Из 184 коров осеменяли однократно 132 головы (71,7%), двукратно – 40 голов (21,7%), трёхкратно – 12 голов (6,6%). Все вылеченные коровы благополучно растелились и принесли здоровое потомство.

Экономическая эффективность электромагнитной терапии гинекологической патологии коров составляет около 220 тыс. грн.

Таблица 4.1

Результаты терапии гинекологических заболеваний коров

Состояние яичников	Кол-во голов	Среднее количество дней от		Результаты лечения	
		Отёла до лечения	Лечения до осеменения	Излечено голов	Эффективность лечения, %
Склероз	49	208	28	47	95,9%
Атрофия	68	168	24	66	97,1%
Киста яичников	15	120	18	15	100%
Персистентное желтое тело	12	302	32	12	100%
Гипофункция яичников	44	89	21	44	100%

Выводы по разделу

1. Для согласования исследуемой антенны со свободным пространством, модуль коэффициентов отражения от раскрыва пирамидального рупора и горловины рупора должен составлять не более 0,1 единиц.
2. Для внутриутробного лечения болезней яичников коров следует использовать антенну, которая формирует на расстоянии 30 мм от раскрыва линзы аксиально-симметричную ДН с шириной главного лепестка 33 мм на уровне -15 дБ.
3. Получение общей терапевтической эффективности внутриутробного лечения воспаления яичников маточного поголовья крупного рогатого скота до 96% возможно с применением ЭМИ на частоте 73,2 ГГц, плотностью потока мощности 0,3 мВт/см² и экспозицией 1 минута.

ВЫВОДЫ

В диссертационной работе на основе теоретических и экспериментальных исследований создан информационный электромагнитный метод и электронная система электромагнитного излучения в мм диапазоне длин волн для внутриутробного лечения болезней яичников маточного поголовья крупного рогатого скота.

1. На основании обобщения фактического материала отечественных и зарубежных научных публикаций следует, что для лечения болезней яичников маточного поголовья коров следует использовать информационные электромагнитные излучения мм диапазона длин волн с определёнными биотропными параметрами, которые позволят создать безмедикаментозный метод лечения яичников животных.

2. Уничтожение патогенных кокков, вызывающих воспаление яичников коров, возможно за счёт наведенного потенциала на мембране кокков величиной не менее 110 мВ внешним источником электромагнитного излучения мощностью 20 мВт на частоте 72,2 ГГц.

3. Анализ анатомического строения половых органов крупного рогатого скота показал, что для внутриутробного лечения патологии яичников необходимо использовать систему излучения электромагнитной энергии с параметрами: длина 30...40 см; диаметр 30 мм, расстояние между пирамидальным рупором и диэлектрической линзой не более 50 мм.

4. Для создания необходимой ДН и ослабления боковых лепестков диэлектрическая линза изготавливается из второпласта-4 с коэффициентом преломления $n = 1,442$.

5. Для проведения неоднократных внутриутробных облучений репродуктивных органов маточного поголовья крупного рогатого скота, излучающая система должна помещаться в обтекатель, диэлектрический волновод из винипласта с плотностью 160 кг/м³, диэлектрической проницаемостью не более 1,2 и тангенсом диэлектрических потерь $2 \cdot 10^{-4}$.

6. Создание режима бегущей волны в излучающей системе, при размерах раскрыва рупора 20,5×14,31 мм и длиной 35 мм, модули коэффициентов отражения от рупора и горловины рупора должны быть не более 0,1.

7. В результате теоретических и экспериментальных исследований установлено, что внутриутробное лечение эндометрита коров следует проводить в миллиметровом диапазоне с параметрами: частота 73,2 ГГц; плотность потока мощности 0,3 мВт/см²; экспозиция 1 минута.

8. На основании экспериментальных исследований установлено, что для обеспечения надёжности и эффективной работы источника электромагнитного излучения для лечения болезней яичников коров необходимо предусмотреть следующие технические требования к источнику:

- выходная частота генератора $73,2 \pm 0,1$ ГГц;

- выходная мощность генератора 20 мВт;
- диапазон перестройки частоты генератора 3%;
- подавление побочных гармоник выходного сигнала не меньше 45 дБ;
- долговременная нестабильность частоты генератора за 1 с;

9. Применение ЭМИ для лечения яичников коров позволит исключить медикаменты, сократить в 2...3 раза продолжительность лечения, повысит результативность лечения: склероза до 95,9%; атрофии до 97,1%, кисты яичников до 100%, персистентного желтого тела до 100%, гипофункции яичников до 100%. Результаты исследований внедрены хозяйстве ПП «Агропрогресс» Кегичёвского района Харьковской области.

Экономическая эффективность ЭМ терапии яичников коров составит около 1 тыс. грн. на корову.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Полянцев Н. И. Воспроизводство стада в скотоводстве и свиноводстве / Н. И. Полянцев, Б. А. Калашник. – Москва: Агропромиздат, 1991. – 144 с.
2. Полянцев Н. И. Воспроизводство в промышленном животноводстве / Н. И. Полянцев. – М.: Росагропромиздат, 1990. – 240 с.
3. Багманов М. А. Диагностика, лечение и профилактика заболеваний животных / М. А. Багманов. – Ульяновск: УСХИ, 1999. 25 с.
4. Dulores P. Incrase incidense of retained placenta associated with heat stress in dairi caustheriogenology / P. Duiiores, D. Williams. – 1980. – V. B. – №2. – P. 115 – 121.
5. Lomba F. Aspects du syndrome part dans cing grandes exploitations baines. Freguence ct reperceesions / F. Lomba // Ann. Med Veter. – 1980. – V.24. – №18. – P. 577 – 584.
6. Мисайлов В. Д. Меры борьбы с бесплодием яловостью коров / В. Д. Мисайлов. – Улан-Удэ, 1976. – 77 с.
7. Зверев Г. В. Гинекологические болезни коров / Г. В. Зверев. – Киев: Урожай, 1976. – 150 с.
8. Батраков А. Я. Ветеринарное обслуживание промышленного скотоводства / А. Я. Батраков. – М.: Агропроиздат, 1987. – 195 с.
9. Боль К. Г. Основы патологической анатомии сельскохозяйственных животных / Б. Г. Боль. – М.: Сельхозгиз; 1961. – 572 с.
10. Гормональная регуляция размножения у млекопитающих: Пер. с англ. / Под ред. К. Остина и Р. Шорта. – М.: Мир, 1987. – 305 с.
11. Konermann H. Die Weichen truhaufr erneutes Tragenwerdenstellen / H. Konermann // Landwirtschaft. Wochen. – Blatt. – 1979. – №139 (48) – P. 24 – 26.
12. Гончаров В. П. Акушерство, гинекология и биотехника размножения животных / В. П. Гончаров, Д. А. Черепашин. – М.: Колос, 2004. – 328 с.
13. Гончаров В. П. Профилактика и лечение гинекологических заболеваний коров / В. П. Гончаров, В. А. Карпов. – М.: Россельхозиздат, 1981 – 190 с.
14. Медведев Г. Ф. Послеродовые изменения в половых органах коров / Г. Ф. Медведев // Ветеринария. – 1981. – №1. – С. 58 – 61.
15. Михайлов Н. Н. К профилактике бесплодия заразной этилогене у сельскохозяйственных животных / Н. Н. Михайлов // Тр. ВИЭВ. М. – 1979. – Т. 49. – С. 53 – 58.
16. Панасенко Ф. Т. К этиологии симптоматического бесплодия / Ф. Т. Панасенко // Ветеринария. – 1964. – №6. – С. 89 – 91.
17. Порфирьев И. А. Комплексная гинекология диспансеризация высокопродуктивных коров / И. А. Порфирьев // Ветеринария. – 2002. – №12. – С. 33 – 37.
18. Яблонський В. А. Практичне акушерство, гінекологія та біотехнологія відтворення тварин з основами андрології / В. А. Яблонський. – Київ: Мета, 2002. – 319 с.

19. Кошовий В. П. Акушерсько–гінекологічна патологія у корів / В. П. Кошовий. – Харків: Золоті сторінки, 2004. – 156 с.
20. Валюшин К.Д. Акушерство, гинекология и биотехника размножения животных / К.Д. Валюшин, Г.Ф. Медведев. – Мн.: Урожай, 2001. – 689 с.
21. Полянцев Н. И. Воспроизводство стада в скотоводстве и свиноводстве / Н. И. Полянцев, Б. А. Калашник. – Москва: Агропромиздат, 1991. – 144 с.
22. Довідник з ветеринарного акушерства / В. Я. Вечтомов, В. О. Ушкалов, Б. Т. Стегній [та ін.]; Інститут експериментальної та клінічної ветеринарної медицини. – Харків, 2004. – 155 с.
23. Кузнецов А. Ф. Справочник ветеринарного врача / А. Ф. Кузнецов, Г. М. Андреев. – Санкт-Петербург: Лань, 2004. – 896 с.
24. Диагностика, лечение и профилактика патологии яичников и яйцеводов у коров: учебно-методическое пособие / [Р. Г. Кузьмич, Л. Н. Рубанец, А. А. Гарбузов и др.; Витебская государственная академия ветеринарной медицины]. – Витебск: ВГАВМ, 2010. – 60 с.
25. Середин В.А. Биотехнология воспроизводства в скотоводстве / В.А. Середин. – Нальчик: КБГСХА, 2003. – 472 с.
26. Семёнов В.А. Диагностика, профилактика и лечение гинекологических болезней коров / В.А. Середин, А.Г. Ботяновский, О.П. Ивашкевич, А.Н. Ловор. – Минск: БелНИИЭВ АПК, 2005. – 45 с.
27. Ветеринарне акушерство, гінекологія та біотехнологія відтворення тварин з основами андрології: підручник / за ред. В. А. Яблонського, С. П. Хомина. – Вінниця: Нова книга, 2006 – 592 с.
28. Никитин В. Я. Практикум по акушерству, гинекологии и биотехнике размножения животных / В. Я. Никитин, М. Г. Миролубов, В. П. Гончаров. – М.: Колос, 2003. – 208 с.
29. Падучева А. П. Гормональные препараты в животноводстве / А. Л. Падучева. – М.: Россельхозиздат, 1979. – 230 с.
30. 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.
31. Применение электромагнитных излучений крайневисоких частот в ветеринарной практике / Иноземцев В. П., Балковой Н. И., Лукьяновский [и др.] // Ветеринария. – 1993. – № 10. – С. 38 – 42.
32. Попрядухин В.С. Информационно-волновая терапия в ветеринарии и медицине в лечебных целях / В.С. Попрядухин, Ю. М. Федюшко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України, – 2016. Вип. 175. – С.158 – 160.
33. 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.
34. 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.

35. Watters F. L. Microwave radiation for the struggle with small flour cockchager / F. L. Watters // S. Sored. Prom. Rec. – 1976. – Vol. 12, №4. – P. 19 – 25.
36. Webb S.I. Absorption of microwaves by microorganisms / S. I. Webb // Nature. – 1969. – Vol. 222, №5199. – P. 1199 – 1200.
37. 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.
38. 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.
39. 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.
40. Суббота А. Г. Нетепловое действие микрорадиоволн на организм животных (обзор литературы) / Суббота А. Г. // ВМЖ. – 1970. – Вып. 40. – С. 39 – 45.
41. Барсуков Н.А. Ветеринарная физиотерапия / Барсуков Н.А. – Иркутск: Издательство Иркутского университета, 1985. – 52 с.
42. Михайлова Л.Н. Обоснование биофизического действия электромагнитного поля для лечения мастита свиней / Л. Н. Михайлова, А.Н. Мороз // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. – 2011. – Вип. 117. – С. 161 – 163.
43. Попрядухин В.С. Биофизические предпосылки лечения акушерко-гинекологических заболеваний животных: тезисы по материалам международной научно-технической конференции молодых учёных [«Відновлювальна енергетика, новітні автоматизовані електротехнології в біотехнічних системах АПК»] (Київ, 6 – 7 листопада 2016 р.) / М-во аграр. політики та продовольства України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. – К.: НУБіП, 2016. –С.60-62.
44. Запорожан В. Н. Медико-биологические аспекты в медицине и биологии Хаит [и др.] // Медико-биологические аспекты миллиметрового излучения. Сборник. – М.: ИРЭ АН СССР. – 1987. – С. 21 – 34.
45. Применение низкоинтенсивных электромагнитных миллиметровых волн в медицине и биологии / Н. Д. Девятков, Ю. Л. Арзуманов., О. В. Бецкий, Н. Н. Лебедев. – М.: ИРЭ РАН, 1995. – 8 с.
46. Миллиметровые волны в системе реабилитации онкологических больных: Российский симпозиум с международным участием «Миллиметровые волны в медицине и биологии» / Р. К. Кабисов. – М.: ИРЭ РАН, 1997. – 14 с.
47. Орел А. Н. Лечение патологии животных низкоэнергетическим электромагнитным излучением СВЧ диапазона / А. Н. Орел, В. Ф. Яковлев. – Вісник ХДТУСГ. – Харків: ХДТУСГ. – 2003. – Вип. 19. – С. 197 – 201.

48. Калиниченко А. В. Обоснование немедикаментозного восстановления поврежденных тканей кожного покрова животных / А. В. Калиниченко, И. Й. Гордийчук: ПДАТУ. – 2006. – Вып. 14. – С. 510 – 512.
49. 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.
50. Gordan E. N. The influence of electromagnetic ultrahighfrequency radiation on absorption of iodine by the organic culture of thyroid gland / E. N. Gordan, N. D. Tronko, I. P. // Physics of the Alive. – 1996. – Vol. 4, №1. – P. 133 – 136.
51. Моисеев В.Н. Результаты лечения больных ишемической болезнью сердца электромагнитным излучением миллиметрового диапазона / В.Н. Моисеев, И. В. Константинов, И. Г. Левыкина // Миллиметровые волны в медицине. – 1991. – Том 1. – С. 48 – 51.
52. Локшина О.Д. Влияние КВЧ терапии на геодинамику и физическую работоспособность больных стенокардией/ О.Д. Локшина, Н. Д. Грекова, Б. В. Брай // Миллиметровые волны в медицине. –1991. Том 1. – С.52 – 58.
53. Grundler W. Nonthermal resonant effects of microwaves on the growth of yeast cultures / W. Grundler // Cohernt excitation in biological systems. – 1983. – P. 21 – 37.
54. Grundler W. Mechanisms of electromagnetic interaction with cellural systems. / W. Grundler., F. Kaiser., J. Walleczek // Nturwissenschaften. – 1992. – P. 551 – 597.
55. Furia L. Effect of millimeter-wave irradiation on growth of Saccharamyc-ес cerevisae / L.Furia, D.W. Hill, O. P. Gandhi // IEEE Trans. Biomed. Eng, BME-33 . – 1986. – Vol. 11. – P. 993 – 999.
56. Gandhi O. P. Somme basic properties of biological tissues for potential biomedical applications of millimeter waves / O.P. Gandhi // Microwave power. – 1983. – Vol. 18. – P. 95 – 304.
57. 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.
58. Макаренко Б. И. Низкоинтенсивная импульсная модуляция ЭММИ СВЧ диапазона в лечении больных начальной цереброваскулярной патологией / Б. И. Макаренко, В. А. Малахов // Труды 2-й научно-практической конференции. – К.: Вища освіта. – 1997. – С. 68 – 70.
59. Плетнев С. Д. Электромагнитные волны миллиметрового диапазона в онкологии / С. Д. Плетнев // Всесоюзный семинар «Применение КВЧ излучения низкой интенсивности в биологии и медицине». – М.: Наука. – 1989. – С. 104 – 106.

60. Наумчева Н. Н. Применение электромагнитных волн миллиметрового диапазона в медицине / Н. Н. Наумчева // ММ-волны в биологии и медицине. – 1995. – № 6. – С. 26 – 30.
61. Бецкий О. В. Применение низкочастотных электромагнитных миллиметровых волн в медицине / О. В. Бецкий // ММ-волны в биологии и медицине. – 1992. – № 1. – С. 5 – 12.
62. 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.
63. Исмаилов Э. Ш. Биофизическое действие СВЧ – излучений / Исмаилов Э. Ш. – М.: Энергоиздат. 1987. – 144 с.
64. Бессонов А. Е. Информационная медицина / А. Е. Бессонов, Е. А. Колмыкова. – М.: 2003. – 658 с.
65. Бинги В. Н. Магнитология: эксперименты и модели / В. Н. Бинги. – М.: «МИЛТА», 2002. – 592 с.
66. 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.
67. 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.
68. 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.
69. 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.
70. Петракович Г.Н. Биополе без тайн: Критический разбор теории клеточной биоэнергетики и гипотеза автора / Петракович Г.Н. // Русская мысль. – 1992. – № 2. – С. 66 – 71.
71. Чиркова Э.Н. Волновая природа регуляции генной активности: Живая клетка как фотонная вычислительная машина / Чиркова Э.Н. // Русская мысль. – 1992. – № 2. – С. 29 – 41.
72. Албертс. Б. Молекулярная биология клетки: Пер. с англ. В 2 т. / Б. Албертс, Д. Брей, Д. Льюис [и др.]. – М.: Мир, 1987. – Т. 2. – 312 с. 85.
73. Plonsey R. Bioelectricity a Quantitative Approach / Plonsey R. – New York: Plenum Press, 1988 – 366 p.
74. 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.
75. Антонов В. Ф. Липиды и ионная проницаемость мембран / В. Ф. Антонов. – М.: Уфа, 1982. – 168 с.
76. Черенков А. Д. Изменение мембранного потенциала клеток биологических объектов, находящихся во внешних электромагнитных полях. /

А. Д. Черенков, Е. Л. Пиротти // Вестник ХГПУ. – 2000. – Вып. 92. – С. 96 – 100

77. Голант М. Б. О проблеме резонансного действия когерентных электромагнитных излучений миллиметрового диапазона длин волн на живые организмы / М. Б. Голант // Биофизика. – 1989. – Т. 34, №2. – С. 339 – 348.

78. Бессонов А. Е. Миллиметровые волны в информационной медицине / А. Е. Бессонов, М. В. Балакирев. – М.: НЦИОМ «ЛИДО», 1996. – 62 с.

79. 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.

80. Казначеев В.П. Биоинформационная функция естественных электромагнитных полей / Казначеев В.П., Михайлова Л.П. – Новосибирск: Наука, 1985. – 182 с.

81. Ашоковский В. А. Общая эфиродинамика: Моделирование структур вещества и полей на основе представлений о газоподобном эфире / Ашоковский В. А. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 280 с.

82. Вракин В. Ф. Морфология сельскохозяйственных животных. Анатомия с основами цитологии, эмбриологии и гистологии / В. Ф. Вракин, М. В. Сидорова. – Москва: Агропромиздат, 1991. – 528 с.

83. Осипов И. П. Атлас анатомии домашних животных / И. П. Осипов. – Москва: Колос, 1972. – 44 с.

84. Анатомія свійських тварин / С. К. Рудик, Ю. О. Павловський, Б. В. Криштофорова [та ін.]. – Київ : Аграрна освіта, 2001. – 576 с.

85. Еремин С. П. Морфофункциональные изменения яичников в период становления половой функции телок / С. П. Еремин // Профилактика и лечение заболеваний крупного рогатого скота в условиях Нечерноземья: сборник научных трудов / Горьковский сельскохозяйственный институт. – Горький: ГСХИ, 1990. – С. 44 – 46.

86. Современные представления об интраорганный регуляции фолликулогенеза в яичнике / В. Г. Зенкина, О. А. Солодкова, О. Н. Погукай, В. С. Каредина // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 2. – С. 41 – 52.

87. Бирих В. К. Возрастная морфология крупного рогатого скота: учебное пособие / В. К. Бирих, Г. М. Удовин. – Пермь, 1972. – 250 с.

88. Обухова Ю. Д. Морфология яичников в различные периоды онтогенеза / Ю. Д. Обухова // Вестник новых медицинских технологий: обзор литературы. – 2010. – Т. 17, № 2. – С. 301 – 305.

89. Волкова О. В. Морфогенетические основы развития и функции яичников / О. В. Волкова, Т. Г. Боровая. – Москва: Колос, 1999. – 253 с.

90. Павлов В. А. Физиология воспроизводства крупного рогатого скота / В. А. Павлов. – Москва: Россельхозиздат, 1984. – 208 с.

91. Шириева Р. Б. О регуляторных механизмах развития фолликулов и овуляции у крупного рогатого скота / Р. Б. Шириева, С. Н. Хилькевич // Сельскохозяйственная биология. – 2001. – № 2. – С. 56 – 59.

92. Farr E. G. Impulse radiating antennas / Farr E. G., Baum C. E. // Ultra-Wideband, Short-Pulse Electromagnetics / Ed. by H.L. Bertoni, L. Karin, and L.B. Felsen. – New York: Plenum Press, 1993. – P. 139 – 147.
93. Giri D. V. Desigh, Fabrication, and Testing of a Paraboloidal Reflector Antenna and Pulser System for Impulse-Like Waveforms / Giri D.V., Lackner H., Smith I. D., Morton D. W., Baum C. E., Marek J. R. // IEEE Trans. Plasma Sci. – 1997. – V. 25, № 2. – P. 318 – 326.
94. Хала А. В. Алгоритм расчета сверхширокополосной антенны / Хала А. В., Корольков А. В. // Математическая морфология. Электрон. Математический и медико-биологический журнал. – Т. 9. – Вып. 1. – 2010. – URL: <http://www.smolensk.ru/user/sgma/MMORPH/TITL.HTM>.
95. Попрядухин В.С. Обоснование требований к электронным системам для лечения гинекологических болезней: тези за матеріалами 3 Всеукраїнської науково-технічної конференції [«Актуальні проблеми автоматики та приладобудування»] (8 – 9 грудня 2016 г.), Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТІ (ХПІ), 2016. – С.60 – 63.
96. Фрадкин А. З. Антенны сверхвысоких частот / А. З. Фрадин. – М.: Советское радио, 1957. – 648 с.
97. Воскресенский Д. И. Устройства СВЧ и антенны / Воскресенский Д. И., Гостюхин В. Л., Максимов В. М., Пономарев Л. И. Под ред. Д. И. Воскресенского. – М.: Радиотехника, 2006. – 376 с.
98. Быков В. Л. Геометрическая оптика открытых резонаторов / В. Л. Быков, Л. А. Вайнштейн // ЖЭТФ. – 1964. – Т.47. – №2. – С.205 – 217.
99. Нефедов Е. И. Анализ и распространение быстрых электромагнитных волн в круглой трубе со спиральными канавками / Е. И. Нефедов, М. В. Персиков, А. Н. Сивов // Радиотехника и электроника. – 1967. – Т.14. – №2. – С. 19 – 25.
100. Казанцев Ю. Н. Полый диэлектрический световод с газовым наполнением / Ю. Н. Казанцев // Радиотехника и электроника. – 1967. – Т.12. – №6. – С.1107 – 1109.
101. Попрядухин В. С. Анализ распределения электрического поля в больных яичниках коров / В. С. Попрядухин // Научно-технический журнал «Science Rise». – 2017. – № ½ (30). – С. 26 – 31.
102. Никольский В.В.. Электродинамика и распространения радиоволн / В.В. Никольский. – М.: Наука, 1978. – 544 с.
103. Вайнштейн Л.А. Электромагнитные волны / Л.А. Вайнштейн. – М.: Радио и связь, 1988. – 345 с.
104. Вычислительные методы в электродинамике. / Под редакцией Митры Р.М. – М.: Мир, 1977. – 485 с.
105. Колтон Д. Методы интегральных уравнений в теории рассеяния / Д. Колтон, Р. Кросс. – М.: Мир, 1987. – 311 с.
106. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. – М.: Наука, 1981. – 718 с.
107. Самохин А.Б. Интегральные уравнения и интегральные методы в электромагнитном рассеянии / А.Б. Самохин. – М.: Радио и связь, 1998. – 160 с.

108. Анго А. Математика для электро- и радиоинженеров / А. Анго. – М.: Наука, 1965. – 778 с.
109. Иванов Е.А. Дифракция электромагнитных волн на двух телах / Е.А. Иванов. – Минск: Наука и техника, 1968. – 326 с.
110. Канторович Л.В., Акилов Г.П. Функциональный анализ/Л.В. Канторович, Г.П. Акилов. – М.: Наука, 1977. – 741 с.
111. Прудников А.П., Брычков Ю.А., Маричев О.И. Интегралы и ряды / А.П. Прудников, Ю.А. Брычков, О.И. Маричев. – М.: Наука, 1981. – 797 с.
112. Черенков А. Д. Воздействие низкоэнергетических электромагнитных измерений на мембранный потенциал и объем клеток биологических объектов / А. Д. Черенков // Микроволновые технологии в народном хозяйстве. Внедрение . Проблемы. Перспективы. – К.: ТЕС, 2000. – С. 152 –155.
113. Взаимодействие физических полей с живым существом / Е. Н. Нефедов, А. А. Протопопов, А. Н. Семенцов, А. А. Яшин. – Тула: Изд-во Тул ГУ, 1995. – 231 с.
114. Рубин А. Б. Биофизика: В 2-х кн.: Учебник для биол. спец. вузов. Кн. 2. Биофизика клеточных процессов / А. Б. Рубин. – М.: высшая школа, 1987. – 303 с.
115. Албертс. Б. Молекулярная биология клетки: Пер. с англ. В 2 т. / Б. Албертс, Д. Брей, Д. Льюис [и др.]. – М.: Мир, 1987. – Т. 2. – 312 с.85.
116. Plonsey R. Bioelectricity a Quantitative Approach / Plonsey R. – New York: Plenum Press, 1988 – 366 p.
118. Антонов В. Ф. Липиды и ионная проницаемость мембран / В. Ф. Антонов. – М.: Уфа, 1982. – 168 с.
119. Сазонов Д.М. Антенны и устройства СВЧ / Д.М. Сазонов. – М.: Высшая школа, 1988. – 432 с.
120. Лебедев И.В. Техника и приборы СВЧ: В 2-х т. / И.В. Лебедев. – М.: Высшая школа, 1970. – Т. 1. – 440 с.
121. 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.
122. Попрядухин В.С. Теоретический анализ излучающей системы для лечения заболеваний яичников у коров / В. С. Попрядухин //Научно-технический журнал « Scince Rise». – 2017. – № 2/2(31). – С.17 – 29.
123. Попрядухин В.С. Требования к излучающей системе для лечения яичников животных: тезисы по материалам научно-практической студенческой конференции [«Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України»] (Харків,26 березня 2014р)/ М-во аграр. політики та продовольства України, Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. П. Василенка. – Х.: ХНТУСГ ім. П. Василенка, 2014. – Вип. 6. – С. 12.
124. 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.

125. Каплун В.А. Обтекатели антенн СВЧ (Радиотехнический расчет и проектирование) / В.А. Каплун. – М.: Сов. радио, 1974. – 240 с.
126. Ардабьевский А.И. Пособие по расчету антенн сверхвысоких частот / А.И. Ардабьевский, В.Г. Воропаева, К.И. Гринева. – М.: Оборонгиз, 1957. – 72 с.
127. 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.
128. Тишер Ф. Техника измерений на сверхвысоких частотах / Ф. Тишер; пер. с нем. И.В. Иванова. под ред. В.Н. Сретенского. – М.: Госуд. изд-во физ.-мат. лит-ры, 1963. – 368 с.
129. Андросов В.П. Влияние внутренних неоднородностей открытого резонатора на связь его колебаний с волноводными линиями / В.П. Андросов, И.К. Кузьмичев. – Харьков: Ин-т радиофизики и электроники АН УССР, 1987. – 14 с. – (Препринт / АН УССР, Ин-т радиофизики и электроники; № 355).
130. Frait Z. Simple analytic method for microwave cavity Q determination / Z. Frait, C.E. Patton // Review of Scientific Instruments. – 1980. – Vol. 51, No. 8. – P. 1092-1094.
131. Лабораторная диагностика гнойно-восполительных заболеваний, обусловленных аспорогенными, анаэробными микроорганизмами. – Харьков: Ин-т микробиологии и иммунологии им. Мечникова, 1988. – 20 с.
132. Черкес Ф. К. Микробиология / Черкес Ф.К., Богоявленская Л.Б., Бельская Н.А. – М.: Медицина, 1986. – 512 с.
133. Винарский М. С. Планирование эксперимента в технологических исследованиях / М.С. Винарский, М.В. Лурье. – К.: Техника, 1975. – 168 с.
134. Попрядухин В.С. Определение оптимальных параметров электромагнитного излучения для угнетения патогенных микроорганизмов, вызывающих воспаления яичников КРС / В. С. Попрядухин // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України – 2016. – Вип. 176 – С. 91 – 93.
135. Попрядухин В.С. Использование электромагнитного излучения в лечении гинекологических болезней животных / В.С. Попрядухин // Енергетика та комп'ютерно-інтегровані технології в АПК. – 2015. – № 2(5). – С.49 – 52.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

А.1. Результаты статистической обработки экспериментов

Таблица А.1

Матрица планирования эксперимента

Уровни опытных точек	Номер опыта	факторы		
Ядро плана	1	–	–	–
	2	+	–	–
	3	–	+	–
	4	+	+	–
	5	–	–	+
	6	+	–	+
	7	–	+	+
	8	+	+	+
Звёздные точки	9	$-\alpha$	0	0
	10	$+\alpha$	0	0
	11	0	$-\alpha$	0
	12	0	$+\alpha$	0
	13	0	0	$-\alpha$
	14	0	0	$+\alpha$
Центр плана	15	0	0	0
	16	0	0	0
	17	0	0	0
	18	0	0	0
	19	0	0	0
	20	0	0	0

Расчетная матрица для $K=3$ приведена в таблице А2. В таблице А3 приведены данные, характеризующие процесс эксперимента.

Расчет коэффициентов регрессии и расчетная матрица для определения остаточной суммы квадратов и дисперсии адекватности приведены в таблице А4 и А5.

Таблица А.2

Матрица планирования эксперимента

Номер опыта												
1.	–	–	–	+	+	+	+	+	+	770	780	775
2.	+	–	–	–	–	+	+	+	+	465	455	460
3.	–	+	–	–	+	–	+	+	+	2250	2240	234 5
4.	+	+	–	+	–	–	+	+	+	4058	4058	405 3
5.	–	–	+	+	–	–	+	+	+	5451	5443	544 7
6.	+	–	+	–	+	–	+	+	+	1145	1165	115 5
7.	–	+	+	–	–	+	+	+	+	9032	9048	904 0
8.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	6722	6728	672 5
9.	-1, 682	0	0	0	0	0	2,829	0	0	3996	4008	400 2
10.	1,682	0	0	0	0	0	2,829	0	0	1828	1824	182 6
11.	0	-1, 682	0	0	0	0	0	2,829	0	1277	1283	128 0
12.	0	1,682	0	0	0	0	0	2,829	0	7381	7375	737 8
13.	0	0	-1, 682	0	0	0	0	0	2,829	490	494	492
14.	0	0	1,682	0	0	0	0	0	2,829	6748	6756	675 2
15.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1498	1488	149 3
16.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1502	1514	150 8
17.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1468	1478	147 3
18.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1507	1513	151 0
19.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1504	1514	150 9
20.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1519	1535	152 7

Таблиця А.3

№ дослі- ду											
1.	-775	-775	-775	755	155	755	755	755	755	775	50
2.	460	-460	-460	-460	-460	460	460	460	460	460	50
3.	-2345	2345	-2345	-2345	-2345	-2345	2345	2345	2345	2345	50
4.	4053	4053	-4053	4053	-4053	-4053	4053	4053	4053	4053	50
5.	-5447	-5447	5447	5447	-5447	-5447	5447	5447	5447	5447	32
6.	1155	-1155	1155	-1155	1155	-1155	1155	1155	1155	1155	200
7.	-9040	9040	9040	-9040	-9040	9040	9040	9040	9040	9040	128
8.	6725	6725	6725	6725	6725	6725	6725	6725	6725	6725	18
9.	-6731	0	0	0	0	0	1132 1	0	0	4002	72
10.	3071	0	0	0	0	0	5166	0	0	1826	8
11.	0	-2153	0	0	0	0	0	3621	0	1280	18
12.	0	1241 0	0	0	0	0	0	2087 3	0	7378	18
13.	0	0	-827	0	0	0	0	0	1391	492	8
14.	0	0	1135 7	0	0	0	0	0	1910 1	6752	32
15.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1493	50
16.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1508	72
17.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1473	50
18.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1510	18
19.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1509	50
20.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1527	128
	-8874	2458 3	2526 5	4000	-8000	4000	4648 7	5449 4	5049 2	6075 0	1102

Матриця для расчёта коэффициентов регрессии

Таблица А.4

Расчёт коэффициентов регрессии и проверка их значимости

Наименование величины	Расчётная формула	Расчётное значение
1	2	3
1. Сумма квадратов построчных дисперсий		см. табл. А.3.
2. Сумма квадратов ошибок		1102
3. Повторность опытов		2
4. Количество опытов		20
5. Уровень значимости		0,05
6. Расчётное значение критерия Кохрена		0,18
7. Табличное значение критерия Кохрена		0,47
8. Проверка воспроизводимости опытов		$0,18 < 0,47$
9. Коэффициенты		$b_0=1500$
		$b_{11}=500$ $b_{22}=1000$ $b_{33}=750$
		$b_1=-650$; $b_2=1800$ $b_3=1850$
		$b_{12}=500$ $b_{13}=-1000$ $b_{23}=500$
10. Дисперсия воспроизводимости		55,1
11. Дисперсия коэффициентов []		8,83
		3,44
		6,89
		4,03

12. Табличное значение критерия Стьюдента		2,7
---	--	-----

Продолжение таблицы А.4

1	2	3
13. Условия значимости коэффициентов уравнения регрессии		8,02
		5,42
		5,0
		7,09
14. Остаточная сумма квадратов		4936
15. Частота		5
16. Остаточная сумма квадратов в центре плана		1752
17. Ошибка опыта при рототабельном планировании		438
18. Разность дисперсий		3184
19. Дисперсия адекватности		636,8
20. Расчётное значение критерия Фишера		1,45
21. Табличное значение критерия Фишера		2,77

22. Условие проверки адекватности модели		$1,45 < 2,77$
---	--	---------------

«Затверджую»

Головний лікар ветеринарної
лікарні Кегичівського району

« » _____ 2016__ р.

Акт

Ми нижче підписані, проф. Федюшко Ю. М., інж. Попрядухін В. С., гол. лікар Маланін Р. В., гол. бухгалтер Котенко Е. М., склали цей акт в тому, що в тваринницьких господарствах Мелітопольського району в 2015...2016 рр. було застосовано для лікування гінекологічної патології тварин низькоенергетичне електромагнітне випромінювання з параметрами: частота; густиною потоку потужності 200 мкВт/см²; експозицією 1 хв. У досліді було використано 188 корів чорнорябої породи у віці 3,5...6 років. Після 4 днів лікування 184 тварини видужали і принесли здоровий приплід.

Економічна ефективність від впровадження немедикаментозного методу лікування гінекологічної патології тварин склала 220 тис. грн. Від вибраковування було врятовано 52 високопродуктивних корови.

Гол. зоотехнік

Маланін Р. В.

Гол. економіст

Котенко Е. М.

Д.т.н., проф.

Федюшко Ю.М.

Інженер

Попрядухін В. С.