

*На правах рукописи*



**Руцкой Андрей Сергеевич**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКОГО  
СРЕДСТВА ШИРОКОПОЛОСНОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ТЕРАПИИ  
ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ КОРОВ**

Специальность 05.20.02 – Электротехнологии  
и электрооборудование в сельском хозяйстве

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Мичуринск-научоград РФ  
2017

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ)

**Научный руководитель:** доктор технических наук, профессор, академик РАН  
**Стребков Дмитрий Семенович**

**Официальные оппоненты: Новикова Галина Владимировна,**  
доктор технических наук,  
профессор, профессор кафедры «Транспортные,  
технологические машины и наземные транспортно-  
технологические средства» Волжского филиала  
ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный  
государственный технический университет»

**Сторчевой Владимир Федорович,**  
доктор технических наук, профессор, проректор  
по учебной работе ФГБОУ ВО «Российский  
государственный аграрный университет- МСХА  
имени К.А. Тимирязева»

**Ведущая организация:** ФГБОУ ВО «Рязанский государственный  
агротехнологический университет  
имени П.А. Костычева»

Защита состоится 10 июля 2017 г. в 12:00 часов на заседании диссертационного совета ДМ 220.041.03 в ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет» по адресу: 393760, Тамбовская область, г. Мичуринск, ул. Интернациональная, д.101, корпус 1, зал заседаний диссертационных советов, e-mail: dissov@mgau.ru.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет» и на сайте [www.mgau.ru](http://www.mgau.ru), с авторефератом – на сайте Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки Российской Федерации [www.vak.ed.gov.ru](http://www.vak.ed.gov.ru).

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные и скрепленные гербовой печатью, просим направлять по адресу: 393760, Тамбовская область, г. Мичуринск, ул. Интернациональная, д.101, корпус 1, диссертационный совет.

Автореферат разослан «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
кандидат технических наук, доцент



Н.В. Михеев

## Общая характеристика работы

**Актуальность проблемы.** Рост и развитие животноводческой отрасли является одним из приоритетных направлений экономической политики РФ. Успешное решение основных задач животноводства по получению продуктов питания и качественного сельскохозяйственного сырья неразрывно связано с надежной охраной здоровья животных, увеличением срока их жизни и повышением продуктивности. В условиях концентрации большого числа животных на ограниченных площадях и высокой механизации производственных процессов значительно увеличились редко регистрируемые ранее заболевания животных. Известно, что наиболее часто встречающимся заболеванием у коров являются маститы. Еще одной проблемой современности является общий рост опухолевых заболеваний. Главной отличительной особенностью при лечении животных в сельскохозяйственной отрасли является то, что решение о проведении лечебных и профилактических процедур принимается исходя из экономической обоснованности, т.е. проведение процедур целесообразно в том случае, если денежные затраты на них окупятся доходом от продуктов данного животного в будущем. Таким образом, применение дорогостоящих методов в большинстве случаев является нецелесообразным с экономической точки зрения.

На сегодняшний день основным методом лечения опухолевых заболеваний у сельскохозяйственных животных является хирургическое удаление воспалительного очага. Помимо низкой эффективности вследствие высокой вероятности появления метастазов стоит указать на то, что данный метод не направлен на устранение причины заболевания. Также его применение невозможно в ряде случаев, когда опухоль находится в недоступных для оперативного вмешательства местах. Для инфекционных заболеваний основным средством продолжает оставаться медикаментозное лечение.

Исходя из вышесказанного становится понятным повышенный интерес в отрасли сельского хозяйства к физиотерапевтическим методам лечения. Во многих странах уже есть ветеринарные физиотерапевтические ассоциации, которые объединяют подготовленных и лицензированных физиотерапевтов. Например, в Великобритании первой ассоциацией такого типа стала Ассоциация физиотерапевтов, лицензированных для лечения животных (Association of Chartered Physiotherapists in Animal Therapy (АСРАТ)), образованная в 1984 году. После этого произошло формирование подобных организаций и в других странах — Нидерландах, Южной Африке, Финляндии, Швеции, Швейцарии, США, Канаде и Австралии.

В последние годы интенсивно развивается высокочастотная импульсная электротерапия и высоковольтная высокочастотная электротерапия. Растущий интерес к данной области во многом обусловлен бурным развитием силовой электроники, причиной которого стало появление в конце 1990-х годов мощных MOSFET и IGBT транзисторов, способных работать на частотах до нескольких сотен килогерц и позволяющих заменить разрядник в мощных импульсных устройствах. Одним из перспективных методов физиотерапии для лечения опухолевых заболеваний и инфекционных заболеваний является метод широкополосного облучения, предложенный Георгием Лаховским. Недостатком, является то, что при использовании оригинальной конструкции аппарата невозможно задать точные стабильные частотные пара-

метры, а применение разрядника вовсе делает невозможным использование в настоящее время указанного устройства в медицинских и ветеринарных учреждениях по причине возникающих помех при его использовании, которые превышают установленные в настоящее время нормы. Кроме того, отсутствует обоснование параметров излучения и технического средства. В связи с этим становится очевидна актуальность разработки широкополосного электромагнитного излучателя на полупроводниковой элементной базе. Кроме возможности обеспечить стабильные параметры выходного сигнала это также позволит значительно повысить эффективность устройств данного класса за счет использования манипуляции и модуляции сигнала.

**Термины, используемые в диссертационной работе:**

Широкополосный сигнал – сигнал, ширина спектра которого превышает 1/10 от частоты передачи сигнала.

Широкополосная электромагнитная терапия – метод физиотерапевтического воздействия на биологическое тела электромагнитным полем, содержащим широкий спектр частот.

Высокая напряженность электрического поля – напряженность электрического поля, превышающая установленную международной комиссией по защите от неионизирующего излучения норму, хотя бы для одной частоты из полного спектра излучения.

**Цель работы:** обоснование и разработка технологии и технического средства для лечения сельскохозяйственных животных с помощью широкополосного электромагнитного излучения.

**В соответствии с целью поставлены следующие задачи:**

- обосновать целесообразность проведения экспериментальных работ по исследованию широкополосного излучения для лечения сельскохозяйственных животных;
- обосновать методику исследования и параметры облучающей системы;
- разработать технологию и техническое средство для широкополосной электромагнитной терапии;
- провести исследование электромагнитного поля широкополосного излучателя и определить за счет каких параметров достигается лечебный эффект;
- провести экспериментальное исследования по лечению коров с помощью широкополосного электромагнитного излучателя;
- оценить экономические показатели широкополосного электромагнитного излучателя;

**Объект исследования:** широкополосные электромагнитные излучатели и возможность их применения для лечения сельскохозяйственных животных.

**Предмет исследования:** метод терапевтического воздействия на животных с помощью широкополосного излучателя; связь между конструкцией прибора, параметрами излучения и результатами лечения коров.

**Методология исследований.** Работа основана на применении методов из общей теории электротехники, радиотехники, радиобиологии, биофизики, принципах анализа электрических цепей с распределенными параметрами, а также разработках в области резонансных методов передачи электроэнергии. Вычисление и моделиро-

вания производились с применением программных продуктов Matlab, Comsol, Proteus, Java TC.

**Научная новизна** работы заключается в следующем:

– метод лечения коров с использованием широкополосного электромагнитного излучения с высокой напряженностью электрического поля, состоящий в том, что корова помещается между двумя антеннами, при этом напряженность электрического поля в зоне облучения для диапазона 0.065 – 400 МГц около 1100 В/м, для диапазона 400 – 1500 МГц около 400 В/м, напряженность магнитного поля не превышает нормируемых значений;

**Практическая значимость** заключается в следующем:

– разработана технология и техническое средство для лечения коров с помощью широкополосного электромагнитного излучения;

– техническое решение, позволяющее задавать различные режимы работы и осуществлять удаленное управление широкополосным электромагнитным излучателем;

– разработана методика расчета преобразователей частоты для резонансных трансформаторов мощностью до 6 кВт с частотой до 400 кГц;

**Внедрение результатов исследований.**

Результаты научных исследований и разработок диссертационной работы используются на молочной ферме ООО "Татмелиорация-Агро", в учебном процессе факультета энергетике и охраны водных ресурсов Российского государственного аграрного заочного университета, в качестве базового прибора для разработки серийного образца в ООО «Корпорация Токран».

**На защиту выносятся** следующие положения:

– усовершенствованный метод широкополосной электромагнитной терапии для лечения сельскохозяйственных животных;

– конструкция устройства для широкополосной электромагнитной терапии;

– результаты экспериментальной работы разработанного широкополосного электромагнитного излучателя для лечения сельскохозяйственных животных;

**Апробация результатов исследования** доложены и одобрены на международных конференциях: 9-я Международная научно-техническая конференция «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве», 21-22 мая 2014 г., г. Москва, ВИЭСХ; 5-я Международная научно-техническая конференция молодых ученых и специалистов «Инновации в сельском хозяйстве», 16-17 декабря 2014 г., г. Москва, ВИЭСХ; 6-я Международная научно-техническая конференция молодых ученых и специалистов «Инновации в сельском хозяйстве», 15-16 декабря 2015 г., г. Москва, ВИЭСХ; 10-я Международной научно-технической конференции «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве», 24-25 мая 2016 г., г. Москва, ВИЭСХ; 7-я Международная научно-техническая конференция молодых ученых и специалистов «Инновации в сельском хозяйстве», 13-14 декабря 2016 г., г. Москва, ВИЭСХ.

**Публикации результатов исследований.** Основное содержание диссертации опубликовано в 12 печатных работах, из них 5 работ в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы из 155 наименований, четырех приложений. Общий объем диссертации составляет 179 страниц, в том числе на 129 страницах изложен основной текст, который содержит 52 рисунка и 13 таблиц.

## **Содержание работы**

**Во введении** обоснована актуальность темы, научная новизна, приведены цели и задачи исследования.

**В первой главе** «Обзор методов лечения опухолевых и инфекционных заболеваний у КРС» рассматриваются современные методы диагностики, лечения и профилактики основных заболеваний КРС. Дается подробное описание такого направления физиотерапии как высокочастотная импульсная электротерапия, показана история ее развития, современное состояние, проблемы и тенденции развития.

Несмотря на многолетние исследования и разработку большого количества средств, направленных на борьбу с заболеванием, в России, по различным данным, маститом переболевает до 50% коров. Животные, переболевшие маститом, теряют в среднем 12% молокоотдачи, а во многих случаях заболевания приводит к полной потере продуктивности молока и выбраковке из стада. Основным методом лечения является медикаментозное лечение с применением антибиотиков, сульфаниламидных препаратов, противовоспалительных суспензий и мазей. Длительное повсеместное применение химиотерапевтических средств приводит к снижению эффективности лечения данного заболевания из-за образования лекарственно устойчивых штаммов микроорганизмов. Наличие в молоке остаточных количеств химиотерапевтических средств создает опасность для потребителей.

Главным методом лечения опухолевых заболеваний у сельскохозяйственных животных является хирургическое удаление воспалительного очага. Однако, необходимо отметить, что при данном подходе успех лечения больных животных зависит не только от радикального удаления опухоли, но и от одновременного (или предварительного) нехирургического воздействия на организм, направленного на улучшение защитных реакций организма. Помимо низкой эффективности хирургического лечения опухолевых заболеваний стоит указать на то, что данный метод не направлен на устранение причины заболевания. Также его применение невозможно в ряде случаев, когда опухоль находится в недоступных для оперативного вмешательства местах.

Физиотерапевтическое лечение является хорошей альтернативой медикаментозному лечению. Физиотерапевтические процедуры имеют минимум побочных эффектов. Организм животного, реагируя на внешнее воздействие, мобилизует защитные свойства организма. Достоинством физиотерапевтических методов лечения мастита у коров является также отсутствие необходимости выбраковки продукции. Помимо лечения, некоторые средства могут применяться в качестве профилактических мероприятий, уменьшающих общее количество заболеваний маститом в хозяйствах.

Одним из перспективных направлений физиотерапии является высоковольтная импульсная электротерапия и широкополосная терапия. Наибольший вклад в становление и развитие высоковольтных методов лечения принадлежит Арсену

д'Арсонвалю и Николе Тесла, лекция которого на Восьмом ежегодном собрании Американской электротерапевтической ассоциации в Буффало 13-15 сентября 1898 года «Высокочастотные генераторы для электротерапевтических и иных целей» послужила интенсивному развитию электротерапии, тогда в том числе был предложен метод лечения, в котором облучаемый биологический объект располагается между двумя электродами на которые подается высокое напряжение, частота при этом составляет от десятков до сотен килогерц. Следующим большим шагом в развитии электротерапии стали исследования Георгия Лаховского. Разработанный им аппарат относится к широкополосным излучателям. Документальные свидетельства являются доказательством высокой эффективности предложенного им метода в лечении различных заболеваний. В настоящее время высокочастотная электротерапия представлена преимущественно следующими направлениями:

1) Токовое воздействие: дарсонвализация, ультратонотерапия, электрохирургия.

2) Воздействие высокочастотным электромагнитным полем: высокочастотная индуктотермия, УВЧ-терапия, импульсная УВЧ терапия.

Стоит отметить, что в России ведутся работы по разработке и совершенствованию методов ВЧ, СВЧ и УВЧ терапии для лечения маститов у коров и коз. Результаты данных исследований отражены в работах Гришина И.И., Морозова А.С., Семиной Е.С. Одним из наиболее эффективных приборов является ЛПДА – 2УВЧ. Ее разработкой занимались Цой Ю.А., Любимов Е.И., Прищеп Л.Г., Гришин И.И., Судаков Н.Н., Кипарисов Н.Г. и др.

3) Волновая терапия: сантиметровая волновая терапия, дециметровая волновая терапия, крайне высокочастотная (КВЧ) терапия.

Кардинальное отличие импульсного воздействия от непрерывного показано в работах Р.Э.Тиграняна. Изучение импульсного электромагнитного воздействия на биологический объект позволило обнаружить ранее неизвестные эффекты, одним из которых является то, что субстанция, выступающая в качестве акцептора, зачастую откликается не на абсолютную величину действующего внешнего фактора, а на изменение этой величины.

Одной из основных задач современного этапа импульсной высокочастотной электротерапии является выявление точных численных значений параметров ЭМП, позволяющих оценить их вклад в формирование специфических эффектов. Это предъявляет повышенные требования к используемой аппаратуре, а именно возможность изменять параметры излучающей системы в широком диапазоне.

**Во второй главе** «Теоретическое исследование и обоснование параметров широкополосного электромагнитного излучателя» представлена гипотеза воздействия широкополосного электромагнитного поля на живые организмы, методика исследования широкополосной электромагнитной терапии, приводится обоснование выходных параметров трансформатора для широкополосного излучателя и рассчитываются ориентировочные значения параметров электромагнитного поля.

Широкополосная электромагнитная терапия базируется на предположении, что если на клетку воздействовать полем с широким спектром, то наибольший отклик на воздействие будет на собственной основной частоте колебания клетки или ее гармониках, что создаст условия для передачи энергии и увеличения амплитуды

ее колебания. Исходя из данной гипотезы наилучшим терапевтическим воздействием обладало бы такое излучение, в спектре которого энергия была бы равномерно распределена между частотами, соответствующими активным частотам здоровых клеток. Так же необходимо отметить эффекты, которые достигаются в медицине при использовании электрических полей высокой напряженности. Так при франклинизации изменение кровоснабжения головного мозга приводит к изменению функционального состояния ЦНС, усилению тормозных процессов, в результате процедур улучшается самочувствие, ускоряется обмен веществ, стимулируются процессы заживления и оказывается бактерицидное действие на открытую рану. Таким образом, можно предположить, что терапевтический эффект достигается за счет повышения собственного иммунитета животного.

Методика исследования:

1) На основании теоретических материалов и рекомендаций международной комиссии по защите от неионизирующего излучения (МКЗНИ, ICNIRP) определить значения напряженности электромагнитного поля, токов прикосновения, индукционных токов, которые не приводят к значимым изменениям в организме животного.

2) Определить выходные параметры излучателя, исходя из эмпирических данных и документальных свидетельств о результатах использования оригинального аппарата для широкополосной электромагнитной терапии в лечебной практике.

3) Провести исследование электромагнитного поля широкополосного излучателя с использованием анализатора спектра и детекторов напряженности электрического и магнитного полей.

4) На основе полученных данных рассчитать недостающие значения параметров согласно руководству международной комиссии по защите от неионизирующего излучения (МКЗНИ, ICNIRP).

5) Провести сравнения значений, полученных в пункте 4 со значениями, полученными в пункте 1, и выявить параметры электромагнитного поля, которые превышают нормированный уровень.

6) На основании пункта 5 сформулировать вывод о том, благодаря чему достигается терапевтический эффект.

Поглощенная энергия вычисляется по формуле:

$$P_{\text{пог}} = P_0(1 - \rho) * e^{-2kr} \quad (1)$$

где  $P_0$  – падающая на тело энергия;  $\rho$  – коэффициент отражения от границы воздух-кожа;

$k$  – коэффициент затухания;

Индукционный ток вычисляется как:

$$J = \pi R f \sigma B \quad (2)$$

$$J = \sigma E \quad (3)$$

где  $B$  – плотность магнитного потока (Тл);  $R$  – радиус контура, в котором индуцируется ток (м);  $\sigma$  – электропроводность (См/м);  $E$  – напряженность электрического поля (В/м);



Ток прикосновения рассчитывается как

$$I_{\text{прик.}} = \frac{P}{U_M} \quad , \quad A \quad (4)$$

где  $P$  – выходная мощность излучателя,  $U_M$  – максимальное напряжение на антенне.

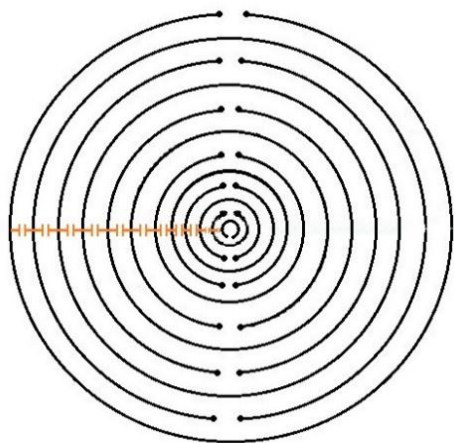


Рисунок 1. Схема антенны

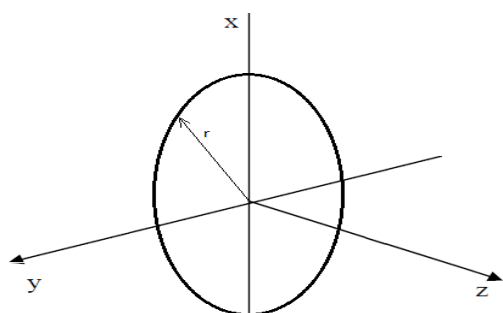


Рисунок 2. Модель уединенной емкости в форме кольца

Используемая в излучателе антенна состоит из 12 гальванически не связанных между собой, не замкнутых колец, представляющих собой кольцевые диполи (рисунок 1), каждый из которых имеет свою резонансную частоту, при этом внешнее кольцо гальванически связано с выходом высоковольтного трансформатора. Известно, что характеристики поля антенны качественно различаются в зависимости от расстояния и условно делятся на ближнюю, промежуточную и дальнюю зоны.

Так как при частоте колебаний меньше 1000 МГц длина волны больше расстояния до облучаемого объекта, необходимо определить поле в ближней зоне. Расчет напряженности электрического поля приводится для уединенной емкости в форме круговой пластины (рисунок 2).

Напряженность электрического поля в точке, расположенной на оси кольца на расстоянии  $z$  от его центра определяется по формуле:

$$E_{\text{пл}} = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} \left( 1 - \frac{z}{\sqrt{a^2 + z^2}} \right) \quad (5)$$

где  $a$  – радиус пластины;  $z$  – расстояние до расчетной точки по оси  $z$ ;  $\sigma$  – поверхностная плотность заряда;  $\varepsilon_0$  – электрическая постоянная;

Максимальный заряд равен

$$q_0 = C * U \quad (6)$$

Емкость для уединенной круговой пластины:

$$C_0 = 8 \varepsilon_0 a \quad (7)$$

Известно, что в случае двух гальванически связанных резонансных трансформаторов Тесла, каждый из которых представляет собой четвертьволновой спиральный резонатор, возбуждающихся от одного источника, токи и напряжения изменяются синфазно, это означает, что на облучаемое тело, расположенное посередине между двух антенн, с обеих сторон действует поле одинаковой полярности. Таким образом, компоненты поля, соответствующие основной резонансной частоте трансформатора и ее гармоникам, длина волны которых много больше расстояния от антенн до облучаемого объекта, будут частично вычитаться, а суммарная напряжен-

ность поля будет значительно меньше напряженности порождаемых одной антенной.

**В третьей главе** «Разработка основных узлов широкополосного излучателя» проведен расчет схемы преобразователя и драйвера управления силовыми ключами, приведено обоснование выбора компонентов. Блок-схема разработанного преобразователя представлена на рисунке 3.

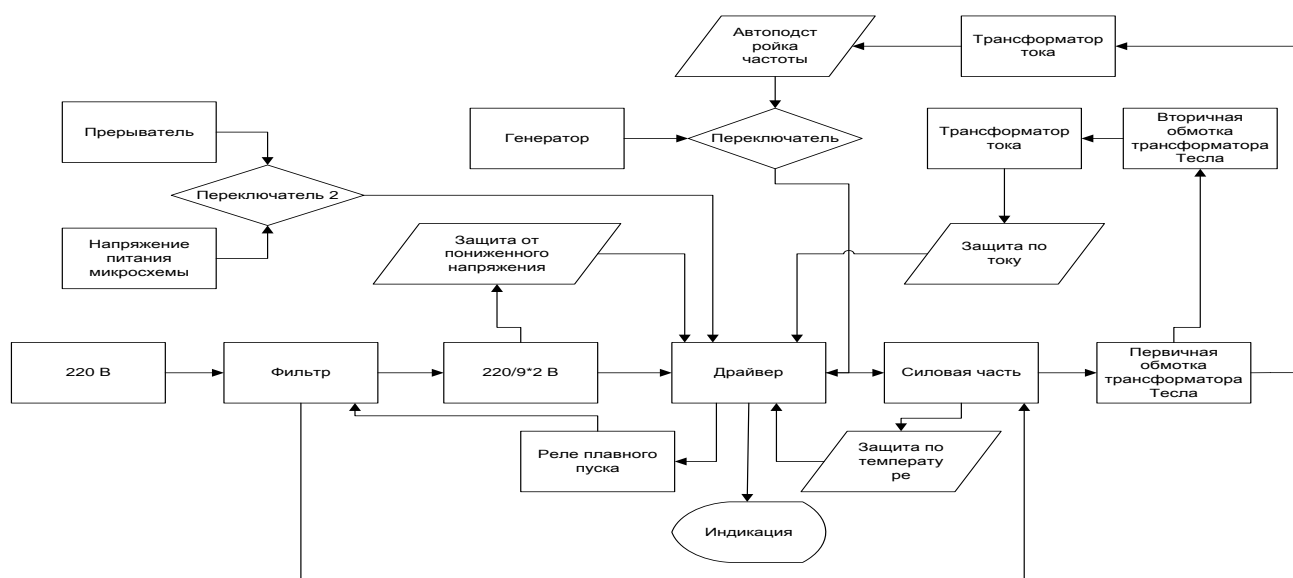


Рисунок 3. Блок-схема преобразователя

Питание всей системы осуществляется от электрической сети напряжением 220 вольт. На входе системы установлен фильтр, защищающий сеть от электромагнитных помех и реле плавного пуска, переключение которого происходит по сигналу с драйвера. Электрическая цепь от фильтра идет на силовую часть и понижающий трансформатор 220/9\*2, от которого питается драйвер. Силовая часть может питаться напрямую от сети 220 вольт, либо от лабораторного автотрансформатора, установленного на требуемое напряжение. От понижающего трансформатора сигнал о состоянии уровня напряжения передается на драйвер. Драйвер осуществляет управление силовой частью преобразователя, выполненной по схеме «Полумост» или «Мост» и через систему индикации указывает на состояние системы. Условно драйвер можно разделить на следующие части: модуль питания, модуль защиты по току, модуль защиты от пониженного напряжения и управления реле плавного пуска, модуль обратной связи, модуль приема сигнала прерывателя, модуль логики, модуль формирования управляющего сигнала. Задающая частота драйвера может задаваться либо непосредственно от генератора, либо посредством обработки информации, получаемой с трансформатора тока, расположенного на первичной или вторичной обмотке трансформатора Тесла. Выбор источника задающей частоты осуществляется посредством переключателя. Транзисторы в силовой части коммутируют значительные токи, поэтому данный блок имеет тепловой индикатор, информация от которого передается на драйвер. Для защиты силовой части от превышения допустимых токов используется информация, поступающая от трансформатора тока, расположенного на вторичной обмотке. Также на драйвер поступает сигнал от пре-

рывателя, в случае, если переключатель 2 установлен в режим прерывания либо постоянное напряжение питания, в случае если требуется режим работы без прерывания. В случае если первичный контур не имеет резонансных конденсаторов, то сигнал обратной связи берется со вторичной обмотки. Расчет трансформатора Тесла произведен в программе JAVA TC 3D (рисунок 4).

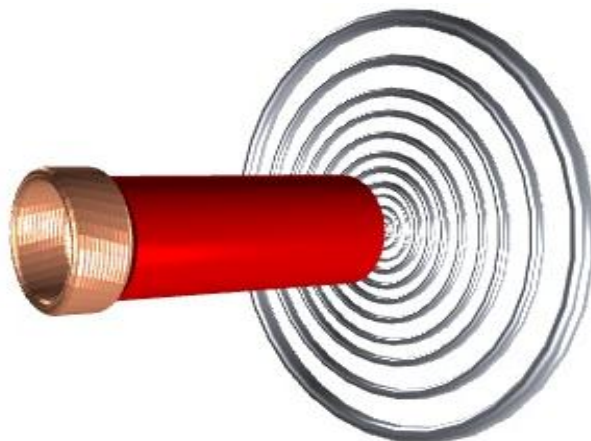


Рисунок 4. Модель трансформатора Тесла в программе JAVA TC 3D

Так как аппарат формирует поля высокой напряженности, а нахождение в поле на протяжении длительного времени не изучено и может быть опасно для оператора, то с целью увеличения безопасности и удобства изготовлен вариант пульта управления сигналом манипуляции и включением/выключением на основе bluetooth технологии.

**В четвертой главе** «Методика исследования, получения и обработки экспериментальной информации» приводятся методики измерения основных параметров преобразователя и антенн для широкополосного излучателя и порождаемого им электромагнитного поля.

Экспериментальная проверка расчетов нагрева транзисторов с помощью тепловизора показала, что выбранная система охлаждения обеспечивает поддержание температуры транзистора во время работы в установленной производителем норме. Экспериментальная проверка КПД преобразователя показала, что реальные данные соответствуют расчетным значениям, погрешность составляет не более 5%. Определение выходных параметров трансформатора Тесла подтверждают правильность выполненного расчета.

Определение собственных резонансных частот системы и напряженности поля в зоне облучения, проводились с помощью анализатора спектра, при этом напряжение на антенне составляло около 150 кВ. Результаты измерения напряженности электрического поля представлены на рисунках 5 и 6.

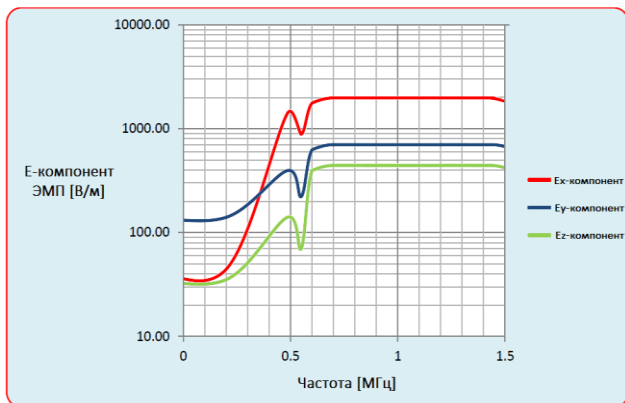


Рисунок 5. Напряженность электрического поля между антеннами в диапазоне 0 - 1.5 МГц

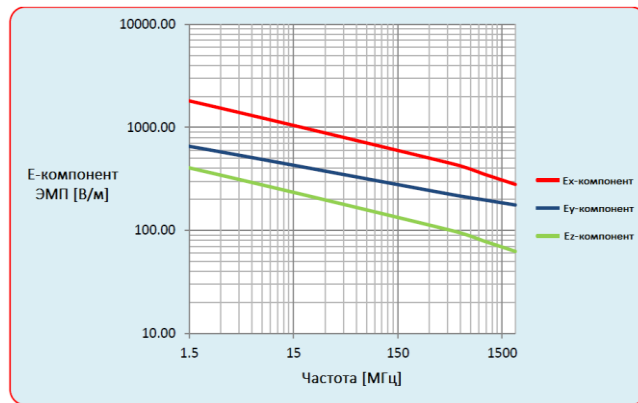


Рисунок 6. Напряженность электрического поля между антеннами в диапазоне 1.5 - 1500 МГц

Использование двух антенн, подключенных к трансформаторам Тесла, позволяет сделать равномерный спектр в зоне облучения и исключить резкие скачки напряженности на собственной резонансной частоте трансформатора, возникающие, в случае использования только одной излучающей антенны.

Проведенные исследования показали, что напряженность электрического поля превышает норму и составляет для диапазона 0.065 – 400 МГц около 1100 В/м, для диапазона 400 – 1500 МГц около 400 В/м, при этом токи прикосновения, максимальная плотность потока энергии, индукционные токи, поглощаемая мощность находятся в пределах нормы.

**В пятой главе** «Лабораторно-хозяйственные испытания и технико-экономическая оценка широкополосной электромагнитной терапии при лечении коров» приводится подробное описание эксперимента по лечению мастита у КРС с помощью широкополосного излучателя, проводится технико-экономическое сравнение разработанного в ВИЭСХ аппарата с оригинальной конструкцией и экономическое обоснование целесообразности применения широкополосной электромагнитной терапии для лечения коров.

В 2016 году на базе хозяйства «Татмелиорация Агро» был проведен эксперимент, целью которого было определение возможности использования широкополосного излучения с высокой напряженностью электрического поля для лечения заболевания у КРС, в частности мастита у коров. Перед началом эксперимента из загона, включающего 195 голов, было отобрано и помечено маркерами 2 группы по 16 коров, в молоке которых количество соматических клеток на 1 см<sup>3</sup> составляет 1.5\*10<sup>6</sup> и выше, восемь из которых по тест пробам имеют клиническую форму гнойного мастита, восемь субклиническую. Государственная норма ТР/ТС 003/2013 «О безопасности молока и молочной продукции», регламентирующая предельный уровень соматических клеток, составляет 1,0\*10<sup>6</sup> г/см<sup>3</sup>. Анализ на соматические клетки проводился в районной лаборатории республики Татарстан непосредственно перед и после эксперимента. Надой молока в сосуд производился равными долями из каждого соска. Диагностика и ранняя оценка эффективности используемой терапии проводилась методом визуального осмотра и выборочным применением тест проб сотрудниками ветеринарного отдела хозяйства. Контрольные тест пробы проводились главным ветеринарным врачом хозяйства. Для соблюдения чистоты эксперимента,

животные не изымались из стада и продолжали находиться в общем стойле на своих постоянных местах. По отношению к отобранным коровам в течении трех недель, до первого сеанса на аппарате, были исключены любые методы лечения, в том числе профилактические методы. Рацион питания также сохранялся постоянным. Курс лечения включал в себя 10 процедур, проведенных в течение 27 дней по следующей схеме: 3 сеанса с интервалом между сеансами один день – 4 сеанса с интервалом два дня – 3 сеанса с интервалом 3 дня. В течении срока проведения экспериментов исключалось применение каких-либо дополнительных медицинских средств и методов. Время одной процедуры составляло 20 мин. Схема эксперимента представлена на рисунке 7. Для фиксации коровы 6 использовался проходной загон 7 с двумя дверцами, изготовленный из диэлектрических материалов, в частности деревянных досок и пластиковых канализационных труб. Антенны 3 и 5 подключенные к выходам вторичных катушек трансформаторов 2 и 4 соответственно, питание входного резонансного контура 1 трансформатора Тесла производилось от преобразователя, подключенного к сети 220 В. Антенны 3 и 5 размещались в 20 – 30 см от коровы 6 в районе вымени.

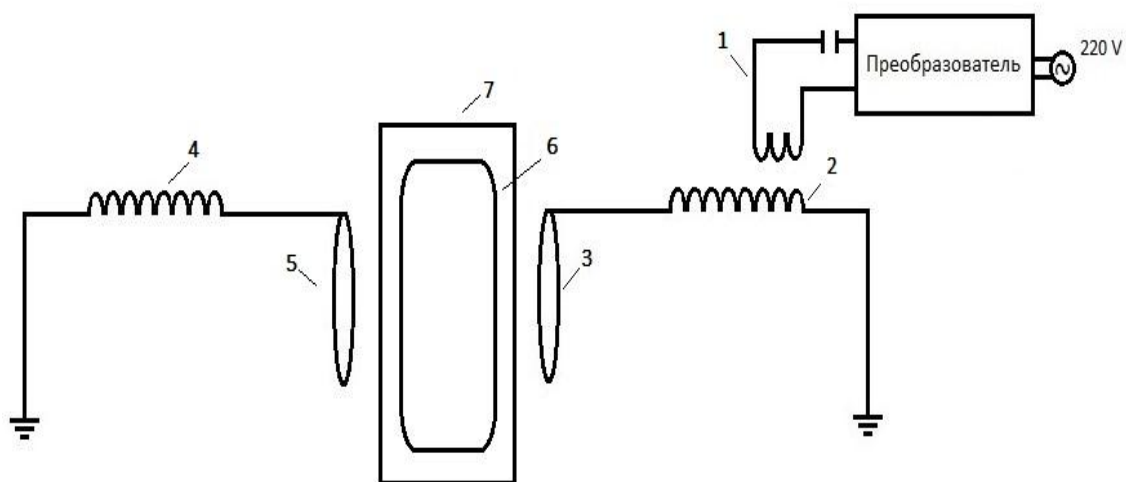


Рисунок 5. Схема эксперимента



Рисунок 6. Расположение коровы относительно антенн

Резонансная частота трансформатора тесла с учетом дополнительной емкости, в качестве которой в данном случае выступает корова составляет от 250 до 350 кГц. Напряжение на первом, гальванически связанном с трансформатором, кольце антенны около 150 кВ. Мощность излучения – около 150 Вт. Расположение коровы относительно антенн во время проведения процедуры представлено на рисунке 8.

Заключение главного ветеринара хозяйства содержит следующую формулировку: в ходе экспериментальных исследований выявлено, что после проведения курса лечения, состоящего из 10 процедур длительностью 20 мин на аппарате «Широкополосный излучатель», 11 коров из 16 полностью здоровы, 1 корова вылечена от мастита, при этом количество соматических клеток в молоке изменилось незначительно и составляет значение, превышающее норму, на 4 коров лечение не оказало существенного влияния. Тест пробы, взятые у контрольной группы, не показали положительных изменений, у некоторых коров наблюдалось ухудшение состояния.

Технология лечения мастита у коров с помощью широкополосного электромагнитного излучения:

1) Корова помещается в загон из диэлектрических материалов. Размер загона определяется исходя из среднего размера коровы в хозяйстве с тем учетом, что тело не должно быть прижато с какой-либо стороны к стенкам загона, при этом корова должна иметь постоянную ориентацию в пространстве и не иметь возможности развернуться.

2) Излучающие антенны располагаются противоположно друг другу, на расстоянии 20-30 см от боковой поверхности туловища коровы с обеих сторон, при этом центр антенн располагается напротив вымени.

3) Воздействовать на корову с помощью широкополосного электромагнитного излучателя в течение 20 минут с перерывами между процедурами не менее 1 дня и не более 3 дней, общая длительность курса не менее 6 процедур, при этом собственная резонансная частота питающих трансформаторов с учетом емкости коровы от 270 до 370 кГц, частота модуляции 100 Гц, скважность 10%, максимальное напряжение на антенне 150 кВ. Для успешного проведения процедуры на антеннах не должно быть короны.

4) Для более спокойного и расслабленного пребывания коровы процедуру можно совместить с кормлением.

5) Во время курса лечения исключить механические повреждения животного, для загона использовать современные средства, такие, как ультразвуковые отпугиватели для коров и др.

Помимо значительного расширения функционала, избавления от помех, увеличения срока службы, уменьшения уровня шума описанный в данной работе аппарат имеет существенное экономическое преимущество перед исходным образцом и электротерапевтическими аппаратами локального воздействия. Себестоимость основных блоков широкополосного излучателя, разработанного в ВИЭСХ, составила 17 050 рублей, себестоимость основных блоков оригинального аппарата – 83 520 рублей.

При стандартном времени проведения процедуры 20 мин. и потребляемой мощности 400 Вт затраты на электроэнергию при цене 4,54 руб. / кВт\*ч составят 0,6 рублей, что существенно ниже любых применяемых в настоящее время медикаментозных процедур.

При экономическом обосновании целесообразности использования представленного аппарата проведено сравнение с применяемым медикаментозным способом лечения, из которого установлено, что использование в хозяйстве на 200 голов широкополосного излучателя в первый месяц ведет к снижению прямых затрат на ле-



чение коров от маститов на 31,3%, для последующих месяцев на 34,6%. Срок окупаемости капиталовложений составляет 1 месяц.

В подразделе «РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ» приведен краткий список предложений и рекомендаций для хозяйств, работающих в сфере молочного животноводства, которые могут быть использованы при работе с широкополосным излучателем, в частности наиболее эффективные способы его использования и ряд технологических мероприятий для борьбы с заболеванием в целом.

В подразделе «РАЗВИТИЕ ТЕМЫ» приведено несколько актуальных направлений, работа над которыми позволит расширить область научного знания в сфере широкополосной электромагнитной терапии.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Главным результатом работы является создание технического средства и технологии для лечения крупного рогатого скота (КРС). Апробация технологии на больных маститом коровах показала возможность использования широкополосного излучения для лечения заболеваний КРС. Лечение сельскохозяйственных животных имеет отличительную особенность – экономическая обоснованность применения медикаментозных методов, а также методов, связанных с диспансеризацией, поскольку они, как правило, требуют значительных материальных затрат; физиотерапевтический метод, основанный на применении широкополосного излучения, является перспективным направлением в животноводстве, имеет широкий спектр действия и характеризуются крайне низкой себестоимостью процесса лечения и профилактики заболеваний. Приведенные в настоящей работе теоретические и экспериментальные исследования позволяют сделать следующие выводы:

Метод широкополосной электромагнитной терапии имеет ряд преимуществ в сравнении с медикаментозным лечением, основными из которых являются низкая себестоимость и отсутствие выбраковки молочной продукции после лечения. Кроме того, по сравнению с другими видами физиотерапевтических методов отмечены следующие преимущества: при проведении процедур не требуется точной фиксации рабочей части излучателя на животном, отсутствует тепловое воздействие, широкий спектр применения; разработанный прибор обладает высокой устойчивостью к механическим воздействиям, безопасностью по прикосновению к рабочей части, практически отсутствует износ рабочей части. Применение современных компонентов позволяет значительно улучшить параметры оригинального широкополосного излучателя, в частности, появилась возможность стабильной многоступенчатой манипуляции выходного сигнала, что позволяет расширить спектр в области низких частот и избавиться от таких отрицательных эффектов, как высокий уровень шума, патогенное излучение разрядника, помехи в сети.

Представлена методика исследования широкополосного электромагнитного излучателя, суть которой состоит в проведении сравнения реальных значений параметров электромагнитного поля от излучателя с нормируемыми международной комиссией по неионизирующему излучению безопасными значениями, которое позволяет определить, за счет каких параметров достигается терапевтический эффект, при этом исходные данные для разработки прибора были выбраны, исходя из документальных свидетельств о результатах использования оригинального аппарата для широкополосной электромагнитной терапии в лечебной практике.

1. Разработан широкополосный излучатель, включающий в себя антенны, трансформатор Тесла и преобразователь на полупроводниковой элементной базе; разработан драйвер управления силовыми ключами для трансформатора Тесла, который имеет рабочую частоту от 30 до 450 кГц, защиту по току, защиту по температуре, защиту от пониженного напряжения, имеет два режима задания частоты – автоподстройку на резонансную частоту системы и директивное задание частоты с внешнего генератора, поддерживает режим манипуляции выходного сигнала; изготовлен пульт управления на микроконтроллере на основе технологии Bluetooth, что дает возможность оператору задавать режимы, включать и выключать аппарат на расстоянии.

2. Получены экспериментальные данные, характеризующие электромагнитное поле, производимое широкополосным излучателем, которые показали, что напряженность электрического поля превышает норму и составляет для диапазона 0,065 – 400 МГц около 1100 В/м, для диапазона 400 – 1500 МГц около 400 В/м. При этом токи прикосновения, максимальная плотность потока энергии, индукционные токи, поглощаемая мощность находятся в пределах нормы, из чего сделан вывод, что условием возникновения терапевтического эффекта является наличие электромагнитного поля с высокой напряженностью электрического поля, превышающей установленную норму в 2-4 раза в рабочем диапазоне спектра 0,065 - 1500 МГц, при этом напряженность магнитного поля в рабочей зоне не должна превышать установленные нормы.

3. Разработана технология лечения маститов у коров с применением широкополосного излучения с высокой напряженностью электрического поля, эффективность которой была подтверждена в результате хозяйственных экспериментов. При этом корова располагалась в загоне, изготовленном из диэлектрических материалов, антенны были установлены противоположно друг другу на расстоянии 30 см от боковой поверхности тела коровы с обеих сторон напротив вымени, питание широкополосного излучателя осуществлялось затухающими колебаниями, собственная резонансная частота трансформаторов варьировалась от 270 до 370 кГц, частота модуляции 100 Гц со скважностью 10%, максимальное напряжение на антенне около 150кВ, мощность 150 Вт, процедуры проводились с интервалом от 1 до 3 дней.

4. Установлено, что эффект от использования широкополосного излучателя в молочном хозяйстве размером 200 голов ведет к снижению затрат на лечение коров от мастита на 31,3% для первого месяца и 34,6% для последующих месяцев использования в сравнении с медикаментозным способом, при этом срок окупаемости составляет 1 месяц.



### **Перспективы дальнейшей разработки темы**

Разработка методики диагностики и определения частотно-резонансных характеристик облучаемого объекта, на основе которых будет корректироваться спектральный состав излучения и задаваться режим работы аппарата. Так как в настоящий момент отсутствует полная теория механизма воздействия ВЧ электромагнитного поля с широким спектром на биологические объекты, а используемые параметры излучения основаны на эмпирических данных, необходимо провести глубокий анализ характеристик поля и его взаимодействия с живыми организмами с использованием компьютерных программ математического и физического моделирования, а также провести комплекс лабораторных испытаний в виварии на объектах с относительно малой продолжительностью жизни. Представленный способ терапии может быть альтернативой или дополнением к существующим методам профилактики и лечения болезней сельскохозяйственных животных.

### **Основное содержание диссертации изложено в следующих публикациях**

#### **Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК:**

1. «Проектирование модуля обратной связи лабораторного инвертора для резонансных систем». Журнал ЭЛЕКТРО №1/2016. – С. 23 - 26.
2. «Исследование способа однопроводной передачи электроэнергии с резонансными трансформаторами Тесла». Журнал Известия вузов. Электромеханика. №4/2016. – С. 106 – 108.
3. «Исследование однопроводной резонансной системы передачи электрической энергии». Журнал ЭЛЕКТРО №4/2016. – С. 14 – 16.
4. «К вопросу расчета трансформатора Тесла». Журнал ЭЛЕКТРО №5/2016. – С. 100 – 103
5. «Использование широкополосного ВЧ излучения для лечения мастита у коров». Журнал Достижения науки и техники АПК №4/2017. – С. 32 - 35.

#### **Публикации в других изданиях:**

6. «Электромагнитное воздействие на биологические объекты». Сборник междисциплинарного семинара «Воздействие электромагнитного поля на живые организмы и клетки» Том №2/2016.
7. «Однопроводная резонансная система передачи электрической энергии узлом напряжения на передающем проводе». Инновации в сельском хозяйстве №4 (9)/2014.
8. «Исследование однопроводной системы передачи электроэнергии с резонансными трансформаторами Тесла». Инновации в сельском хозяйстве №4 (9)/2014.
9. «Лабораторный стенд резонансной электрической системы». Инновации в сельском хозяйстве №4 (9)/2014.

10. «Стендовые исследования полуволновой системы передачи электрической энергии». Журнал ВЕСТНИК ВИЭСХ №4 (21)/2015.

11. «Исследование беспроводной резонансной системы передачи электроэнергии». Журнал Инновации в сельском хозяйстве №2(17)/2016.

12. «Сравнение резонансных однопроводных систем передачи электрической энергии». Журнал Инновации в сельском хозяйстве №2(17)/2016.

#### **Патенты:**

1. Способ и устройство для передачи электрической энергии / Трубников В.З., Стребков Д.С., Некрасов А.И., Рущкой А.С., Моисеев М.В. №2014119840; заявл. 19.05.2014; опубл. 27.11.2015, Бюл. № 33. 2 с.

#### **Заявки на изобретение:**

1. Заявка на изобретение №2015146670 «Устройство и способ генерации и передачи электромагнитных высоковольтных мультимодальных колебаний» от 29.10.2015.

2. Заявка на изобретение №2015144114 «Способ и устройство для передачи электрической энергии» от 14.10.2015.

3. Заявка на изобретение №2016146332 «Устройство и способ генерации и передачи электромагнитных высоковольтных мультимодальных колебаний» от 25.11.2016.

Отпечатано в издательско-полиграфическом центре  
ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ  
Подписано в печать 03.05.2017 г. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>,  
Бумага офсетная № 1. Усл.печ.л. 1,1 Тираж 100 экз. Ризограф  
Заказ № 18432

---

Издательско-полиграфический центр  
Мичуринского государственного аграрного университета  
393760, Тамбовская обл., г. Мичуринск, ул. Интернациональная, 101,  
тел. +7 (47545) 9-44-45

