

На правах рукописи



Марсов Василий Юрьевич

**ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА
ЭЛЕКТРООБОГРЕВА НА ОСНОВЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ
ЭЛЕКТРООБОГРЕВАТЕЛЕЙ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ**

Специальность 05.20.02 – Электротехнологии
и электрооборудование в сельском хозяйстве

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Барнаул–2006

Работа выполнена в Алтайском государственном техническом
университете им И.И. Ползунова

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Т.М. Халина

Официальные оппоненты – доктор технических наук, профессор А.А. Сошников;
кандидат технических наук, доцент Ю.А. Меновщиков

Ведущая организация – ФГОУ ВПО «Алтайский государственный
аграрный университет»

Защита состоится «21» декабря 2006 г. в 15⁰⁰ на заседании диссертационного совета Д 212.004.02 в Алтайском государственном техническом университете им. И.И. Ползунова по адресу: 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, E-mail: temf@yandex.ru, тел./факс (3852) 36-84-90

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова

Автореферат разослан «20» ноября 2006 г.

Ученый секретарь диссертационного
совета к.т.н., профессор  Порошенко А.Г.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В результате анализа тенденций развития агропромышленного комплекса России можно констатировать наметившийся спад производства в животноводстве, растениеводстве, перерабатывающей промышленности и отметить, что рост энергоматериальных затрат на производство продукции опережает темпы ее прироста. Увеличение выпуска сельскохозяйственной продукции, обеспечение ее конкурентоспособности на мировом рынке связано со снижением весового коэффициента тепловой и электрической энергии в себестоимости продукции, который в настоящее время достигает 40 – 60 % от общей себестоимости и при этом наблюдается устойчивая тенденция к росту данного показателя.

Перевод экономики на энергосберегающий путь развития в соответствии с федеральной программой Правительства РФ «Энергосбережение в России на 1998 – 2005 гг.», региональными и отраслевыми программами, в частности, «Энергосбережение в АПК на 2001 – 2006 гг.» предусматривает снижение энергоемкости внутреннего валового продукта, разработку энергоэффективных технологий и технических средств, обеспечивающих наибольший экономический, экологический и социальный эффект при минимальных затратах.

Системно-аналитическая оценка низкотемпературного поверхностно-распределенного электрообогрева для осуществления энергосбережения в агропромышленном производстве, направленного на увеличение продуктивности сельского хозяйства, раскрывает нерешенную проблемную ситуацию повышения валовой продуктивности при снижении энергоматериальных затрат в агропромышленном производстве и приводит к постановке народнохозяйственной проблемы – интенсификации сельского хозяйства при снижении энергоматериальных затрат.

Актуальность решения этой проблемы связана не только с обоснованием и разработкой энергоэкономичных, экологически безопасных технологий, технологических приемов и технических средств поверхностно-распределенного электрообогрева, но и с созданием систем обогрева на их основе для различных отраслей агропромышленного комплекса (АПК): полного обогрева молодняка животных и птицы, локального обогрева пола небольших вспомогательных помещений, обогрева водоводов и поилок для животных, шнекового подогрева зерна. Это предопределило постановку научных задач, решению которых посвящена диссертационная работа.

Работа выполнялась в соответствии с планами важнейших научно-исследовательских работ: федеральной целевой программой «Социальное развитие села до 2010 года» и краевой программой научных исследований и инновационных проектов на 2005 – 2008 гг. (раздел «Разработка и создание промышленного образца низкотемпературных композиционных обогревателей для АПК, промышленности и ЖКХ»).

Целью работы является снижение энергетических и материальных затрат в производственных процессах животноводческих комплексов за

счет применения энергоэффективных и экологически безопасных технологий и технических средств поверхностно-распределенного обогрева на основе композиционных электрообогревателей (КЭ).

Для достижения поставленной цели необходимо **решить следующие задачи:**

1. Провести анализ эффективности технологий и технических средств локального электрообогрева с учетом обеспечения требований температурно-влажностного режима и определить основные направления повышения энергоэффективности и экологической безопасности композиционных электрообогревателей.

2. Сформулировать основные требования к системам поверхностно-распределенного электрообогрева на основе пластинчатых обогревателей и обогревателей цилиндрической формы, учитывающих специфику сельскохозяйственного производства.

3. Разработать математическую модель функционирования композиционного электрообогревателя, учитывающую энергетические потоки животноводческого помещения, и установить зависимости между факторами энергоэффективности, режимами работы композиционного электрообогревателя и его конструктивными параметрами и ингредиентами композиции электропроводного слоя.

4. Разработать методы расчета электрофизических и конструктивных параметров композиционного электрообогревателя с учетом условий теплообмена, обеспечивающие работу КЭ в режимах самостабилизации температуры и ее саморегулирования.

5. Провести экспериментальные исследования по обоснованию рациональных энергетических режимов КЭ и определить электро-, теплофизические и конструктивные параметры технических средств, их обеспечивающих.

6. Провести оценку эффективности разработанных технологий и технических средств электрообогрева в сельскохозяйственном производстве.

Объект исследования. Энергоэффективные процессы поверхностно-распределенного электрообогрева на основе технических средств из композиционных материалов в технологических процессах животноводческих комплексов.

Предмет исследования. Обоснование и разработка технологий и технических средств электрообогрева на основе бутилкаучука со свойствами самостабилизации и саморегулирования температуры на поверхности, обеспечивающих снижение энергоматериальных затрат и повышающих сохранность и качество животноводческой продукции.

Методы исследования. Для решения поставленных задач использовались методы математического и физического моделирования, методы электрофизических измерений, неразрушающего контроля: томографические и тепловизионные; методы математической статистики при обработке результатов.

Научная новизна. Решение вышеизложенных задач определило научную новизну выполненной работы:

- обосновано направление повышения энергоэффективности технологических процессов в агропромышленном производстве путем использования экономически эффективных, экологически чистых способов поверхностно-распределенного электрообогрева на основе электрообогревателей из композиционных материалов заданного состава и необходимых типов размеров;
- разработана математическая модель функционирования композиционного электрообогревателя с учетом энергетических потоков животноводческого помещения и установлена взаимосвязь основных факторов, влияющих на энергоэффективность работы композиционного электрообогревателя;
- разработана технология формирования заданных свойств композиционного электрообогревателя, позволяющая обеспечить эффект самостабилизации и саморегулирования температуры на поверхности;
- экспериментально установлены электрофизические характеристики технических средств обогрева из композиционных материалов и обоснована их связь с теплофизическими параметрами;
- разработан алгоритм направленного регулирования параметров композиционного электрообогревателя с учетом конкретных условий сельскохозяйственного производства.

Практическая ценность. На основе учета фактических энергетических потоков животноводческих помещений обоснованы требования к их температурно-влажностному режиму. Разработанная методика определения энергетических потоков с использованием поверхностно-распределенного электрообогревателя позволяет установить аналитическую зависимость между электрофизическими и конструктивными параметрами композиционного электрообогревателя и рассчитать их.

Предложенные научно-методические и проектно-технологические рекомендации положены в основу проектирования и создания энергоэффективных установок электрообогрева заданных форм и размеров, удовлетворяющих требованиям агропромышленного производства.

Разработанная система напольного обогрева для молодняка животных обладает надежностью (наработка на отказ - не менее 30 тыс. часов), экологической безопасностью, позволяет снизить энергоматериальные затраты по сравнению с традиционными вариантами обогрева от 20 до 35%.

Реализация и внедрение результатов работы. Разработанные в диссертации методы, модели энергоэффективных технологий и технических средств на основе КЭ были использованы в Региональном центре ресурсосбережения Томского политехнического университета, научном центре электроэнергосбережения института топливно-энергетических ресурсов Алтайского государственного технического университета (АлтГТУ), в проблемной лаборатории Института электрофизики Уральского отделения

РАН, Алтайском межрегиональном управлении по технологическому и экологическому надзору РОСТЕХНАДЗОРА.

Результаты теоретических исследований и расчетов в совокупности с экспериментальными испытаниями использованы при разработке технических условий (ТУ) и изготовлении опытно – промышленной партии на ОАО «Восток-Латекс» (г. Барнаул), объемом 1,3 тыс. шт.

Результаты работы внедрены на предприятиях АПК Алтайского края, в том числе: в АКГУП «ПТФ Молодежная», ООО «Алтай-Известь», а также в ООО «Строительное управление Алтайский моторный завод». Научно-технические разработки и материалы расчетов приняты для практического использования Главным управлением сельского хозяйства и продовольствия администрации Алтайского края.

Основные положения и результаты диссертационной работы используются в учебном процессе при изучении дисциплин «Электротехнологические установки сельскохозяйственного производства», «Материаловедение и технология конструкционных материалов», а также в курсовом и дипломном проектировании в Алтайском государственном техническом и Томском политехническом университетах.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Метод энергоэффективного, экологически безопасного поверхностно-распределенного локального электрообогрева на основе самостабилизированных и саморегулируемых композиционных электрообогревателей из бутилкаучука, отвечающий требованиям сельскохозяйственного производства.

2. Теоретические положения по определению и обоснованию параметров и условий функционирования композиционных электрообогревателей различных типоразмеров и форм, учитывающие энергетические потоки животноводческого помещения.

3. Комплекс экспериментальных исследований по определению электро-, теплофизических характеристик и показателей однородности структуры в зависимости от ингредиентов композиции и технологических режимов изготовления для обеспечения заданных свойств технических средств из композиционных материалов.

Апробация работы. Материалы диссертации доложены и обсуждены на 4 международных, 3 всероссийских и других научных (научно-технических) симпозиумах, совещаниях и конференциях. Основными из них являются: 5-е, 6-е, 9-е всероссийские совещания «Энергосбережение и энергетическая безопасность регионов России» (г. Томск, 2001, 2002, 2006 гг.); международная научно-техническая конференция «Электроэнергетика, электротехнические системы и комплексы» (г. Томск, 2003 г.); 2-я и 3-я международные конференции «Technical & Physical Problems in Power Engineering» (Иран, г. Тебриз, 2004 г., Турция, г. Анкара, 2006г.); международная научно-техническая конференция «Энергетика и будущее цивилизации» (г. Томск, 2004 г.), а также на научно-технических семинарах НИХТИ, ЗАО ИЦ «Планета» (г. Москва 2001÷2006 г.), Института физики

НАН Азербайджана (г. Баку, 2002÷2006 гг.), кафедре «Теория электромагнитного поля и электроэнергосбережение» АлтГТУ (г. Барнаул, 2001÷2006 гг.).

Разработанные экспериментальные и промышленные образцы изделий экспонировались и были отмечены на следующих выставках и ярмарках: ВВЦ, павильон «Электрификация»; 3-я всероссийская выставка «Энергосбережение в регионах России», Москва, 2001 г. (диплом); 7-я специализированная выставка-ярмарка «Строительство. Благоустройство. Интерьер», Барнаул, 2001 г. (диплом); выставка-конгресс «Энергосбережение», Томск, 2002 г. (диплом).

Публикации. Результаты исследований опубликованы в 19 печатных работах, в том числе в 2-х патентах, и научно-методической и практической рекомендации.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и основных выводов по диссертации, списка литературы, включающего 131 наименование, и приложений. Диссертационная работа изложена на 137 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность решаемых в диссертационной работе научно-технических задач, дана общая характеристика работы, сформулированы цель и задачи исследования, показана научная новизна, практическая ценность полученных результатов, сформулированы основные положения диссертации, выносимые на защиту.

В первой главе выполнен критический анализ состояния и развития локального низкотемпературного электрообогрева в животноводческих хозяйствах АПК. Основоположниками современных теоретических, методических, экспериментальных и эксплуатационных направлений применения локального обогрева на предприятиях АПК являются: Л.С. Герасимович, В.Н. Расстригин, С.А. Растимешин, И.Ф. Кудрявцев и другие. Значительный вклад в изучение температурно-влажностных режимов, разработку теоретических основ и практических рекомендаций по выбору рациональных параметров микроклимата животноводческих помещений внесли ученые ВИЭСХа, БИМЭСХа, СибИМЭ Ю.Н. Пчелкин, А.В. Демин, В.Н. Делягин, Ю.А. Меновщиков и другие.

Для определения целесообразности использования напольного электрообогрева необходимо знать нормы расхода электроэнергии, а также нормы содержания животных. Известные нормативные показатели температуры, влажности и скорости движения воздуха, содержания газов в свинарниках разного назначения позволяют проводить теплорасчеты и определять параметры системы регулирования микроклимата заданных объектов и как части этой системы, технических средств напольного электрообогрева.

Поскольку электрическая энергия, особенно в современных рыночных условиях, является самым дорогим энергоносителем, использовать ее необходимо в комбинированных, смешанных схемах теплоснабжения с энергоэффективным сочетанием огневого и электрического, централизованного и локального обогрева. Применение комбинированного обогрева позволяет до 40% уменьшить расход тепловой энергии на поддержание требуемой температуры в помещениях, в том числе до 20-25% – за счет допустимого зоотехническими нормами снижения технологической температуры и до 15-20% – за счет дополнительного локального электрообогрева. Установлено, что наибольший эффект от местного электрообогрева молодняка животных достигается сочетанием обогрева сверху (электрические лампы, инфракрасные излучатели) и снизу – напольными электрообогревателями.

Несовершенство традиционных способов локального обогрева предопределило широкое использование различных конструкций на основе композиционных электропроводящих материалов.

Ведущими фирмами и организациями – патентообладателями в области электропроводящих материалов и электрообогревателей на их основе являются: TDK Electronics Co. Ltd (Германия), Sunbeam Corp (Франция), Raychem, Therman (США), HeatTrace (Великобритания), Isopad (Голландия), Alcatel (Норвегия, Франция), БИМЭСХ (Белоруссия), ВНИИЭТО, СибИМЭ, АлтГТУ (Россия). К основным недостаткам изделий вышеперечисленных фирм можно отнести: недостаточно высокое сопротивление изоляции (≤ 20 МОм), незначительные влаго- и химостойкость, достаточно большой ток утечки. Эти показатели имеют место у изделий либо в сочетании, либо в единичном случае, но так или иначе эти обстоятельства сужают области применения композиционных электрообогревателей.

Анализ исследований в области технологий и технических средств локального обогрева позволил сформулировать требования, предъявляемые к ним в условиях сельскохозяйственного производства:

- обеспечение равномерности распределения и необходимых параметров температурного поля на поверхности электрообогревателя;
- выполнение условий электро-, – пожаробезопасности, надежности, влаго- и химостойкости в агрессивной среде, экологической чистоты;
- обеспечение теплостойкости, высоких диэлектрических показателей, теплоаккумулирующих свойств, значительной наработки на отказ;
- обеспечение надежности системы управления мощностью электрообогрева и выполнение условий саморегулирования и самостабилизации температуры;
- энергоэффективность и экономическую целесообразность применяемых технических средств электрообогрева.

Проведенный в данной главе анализ позволил сформулировать алгоритм решения задачи в области энергосбережения в животноводческом помещении с использованием технических средств локального обогрева на основе КЭ.

Вторая глава посвящена методике энергетического расчета свинарника - маточника с использованием в качестве локального обогрева композиционного электрообогревателя на основе бутылкаучука.

Известно, что микроклимат помещений зависит от теплоизоляции здания, количества и возраста животных, кратности воздухообмена и температуры наружного воздуха. Теплоэлектрический расчет выполняется на основании уравнения теплового баланса помещения:

$$Q + Q_k + Q_{\text{ж}} - (Q_{\text{огр.}} + Q_v + Q_{\text{и}}) = 0, \quad (1)$$

где Q – тепло, передаваемое помещению обогреваемыми участками пола, здесь и далее тепловая мощность выражена в кВт; Q_k – тепло, передаваемое воздуху помещения от электрокалориферов; $Q_{\text{ж}}$ – тепло, выделяемое животными; $Q_{\text{огр.}}$ – потери тепла через ограждения помещения; Q_v – расход тепла на подогрев вентиляционного воздуха; $Q_{\text{и}}$ – расход тепла на испарение влаги в помещении, расход на инфильтрацию.

Общая теплоотдача обогреваемого пола Q равна сумме теплоотдач в воздух помещения $Q_{\text{п}}$ и в конструкцию основания пола, на котором расположен многоэлектродный композиционный электрообогреватель (МКЭ), $Q_{\text{осн.}}$:

$$Q = Q_{\text{п}} + Q_{\text{осн}} \quad (2)$$

Теплоотдача пола в воздух помещения определяется:

$$Q_{\text{п}} = \alpha_{\text{пв}} \cdot F_{\text{п}} (t_{\text{п}} - t_{\text{в}}) 10^{-3}, \quad (3)$$

где $\alpha_{\text{пв}}$ – коэффициент теплоотдачи поверхности обогреваемого пола в воздух, Вт/(м²·°C); $F_{\text{п}}$ – площадь обогреваемых участков пола, м²; $t_{\text{п}}$ – температура поверхности пола, °C; $t_{\text{в}}$ – температура воздуха помещения, °C;

$$t_{\text{п}} - t_{\text{в}} = \Delta t; \quad \alpha_{\text{пв}} = \alpha_k + \alpha_{\text{и}},$$

где α_k – коэффициент теплоотдачи пола конвекцией; $\alpha_{\text{и}}$ – коэффициент теплоотдачи излучением.

Для горизонтальной поверхности, обращенной вверх:

$$\alpha_k = 2,15 \sqrt{\Delta t}; \quad \alpha_{\text{и}} = B \cdot C,$$

$$\text{где } B \text{ – температурный фактор, } B = \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \frac{1}{\Delta T},$$

где T_1 – абсолютная температура нагретой поверхности, К; T_2 – абсолютная температура внутреннего воздуха помещения, К; C – коэффициент лучеиспускания, определяемый, как произведение коэффициента черноты ε и коэффициента лучеиспускания C_0 для абсолютно черного тела, равного 4,9; $C = \varepsilon \cdot C_0$.

Степень черноты ε зависит от материала, качества обработки его поверхности и температуры тела. В практических расчетах принимаем $\varepsilon = 0,92$, тогда: $C = 0,92 \cdot 4,9 = 4,5$.

В условиях установившегося теплообмена температура МКЭ с течением времени не изменяется. Вследствие этого, тепло, которое отдает электрообогреватель в сторону пола, остается постоянным:

$$q = \frac{t_3 - t_n}{R_n} \text{ и } q = \frac{t_n - t_B}{R_{пв}}, \quad (4)$$

где q – плотность теплового потока, Вт/м²; t_3 – температура композиционного электрообогревателя, °C; R_n – полное термическое сопротивление конструкции пола, $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$; $R_n = \frac{1}{\alpha_n}$; $R_{пв}$ – полное термическое сопротивление теплоотдачи поверхности пола в воздух, $R_{пв} = \frac{1}{\delta_{пв}}$.

Приравняв правые части уравнений (4), определим необходимую температуру композиционного электрообогревателя:

$$t_3 = t_n + \alpha_{пв} R_n (t_n - t_B).$$

Тепло, сообщаемое вентиляторному воздуху в электрокалорифере :

$$Q_k = (n \cdot \rho_v \cdot c \cdot V \cdot (t_k - t_n) \cdot 10^{-6}) / 3,6; \quad (5)$$

где n – кратность воздухообмена. Для свиноводческих помещений $n=5$, ч⁻¹; ρ_v – плотность воздуха, 1,29 кг/м³; V – объем помещения, м³; t_k – температура воздуха в калорифере, °C; t_n – температура наружного воздуха.

После ряда преобразований формулу (5) можно представить в следующем виде:

$$Q_k = 0,36n \cdot V(t_k - t_n) \cdot 10^{-3}. \quad (6)$$

Тепло, выделяемое животными в воздух помещения:

$$Q_{ж} = \alpha_t \cdot S_{ж} (t_{ж} - t_n) \cdot 10^{-3}, \quad (7)$$

где $\alpha_t = 3,15 \div 4,72$ – обобщенный коэффициент теплоотдачи конвекцией и излучением, Вт/(м²·°C); $S_{ж}$ – площадь поверхности тела животного, м²;

$$S_{ж} = K \sqrt[3]{m^2}, \text{ где } K = 9,02 \text{ – поправочный коэффициент;}$$

$t_{ж}$ – температура тела животного, °C, t_n – температура воздуха внутри помещения, °C; m – масса животного, кг.

Потери тепла через ограждения помещения:

$$Q_{огр} = V \cdot K_i \cdot S_i (t_n - t_n) \cdot 10^{-3}, \quad (8)$$

где K_i , S_i – коэффициенты теплопередачи и площади элементов конструкции помещения: стен, окон, дверей, потолка и пола соответственно.

Расход тепла на подогрев вентиляционного воздуха с учетом формулы (5):

$$Q_v = 0,36n \cdot V(t_n - t_n) \cdot 10^{-3}. \quad (9)$$

Расход тепла на испарение влаги в помещении принимаем:

$$Q_n \cong 0,15(Q_n + Q_{ж}) \cdot 10^{-3}. \quad (10)$$

Для дальнейшего определения полного количества тепла, выделяемого МКЭ, найдем теплоотдачу обогреваемого пола в основание конструкции.

Удельный тепловой поток в сторону слоев конструкции, лежащих ниже композиционных электрообогревателей, равен: $q_{\text{низ}} = \frac{t_{\text{э}} - t_{\text{осн}}}{R_{\text{низ}}}$, (11)

где $t_{\text{осн}}$ – температура основания пола; $R_{\text{низ}}$ – сопротивление теплоотдач слоев конструкции, лежащих ниже МКЭ: $R_{\text{низ}} = 1 / \sum \alpha_{\text{низ}}$, (12)

где $\sum \alpha_{\text{низ}}$ – сумма коэффициентов теплоотдачи слоев конструкции основания пола, Вт/(м²·°С).

Теплоотдача в основание пола: $Q_{\text{осн}} = q_{\text{низ}} \cdot F_{\text{п}} \cdot 10^{-3}$. (13)

Общую теплоотдачу обогреваемого пола Q с учетом формул (2), (3) и (12) находим следующим образом: $Q = \left[\bar{\alpha}_{\text{пв}} (t_{\text{п}} - t_{\text{в}}) + \frac{t_{\text{э}} - t_{\text{осн}}}{R_{\text{низ}}} \right] \cdot F_{\text{п}} \cdot 10^{-3}$. (14)

Определив количество тепла Q , передаваемое обогреваемым полом в помещение, и подставив это значение в формулу (1), можно из уравнения теплового баланса определить, какое количество тепла необходимо получить от других источников тепла, чтобы сбалансировать выделяемое и принимаемое тепло в помещении.

Многоэлектродные композиционные электрообогреватели представляют собой сложную систему, преобразующую в соответствии с электро-, теплофизическими параметрами МКЭ электрическую энергию в тепловую и обеспечивающую заданную температуру на поверхности электрообогревателя.

Уравнение теплового баланса композиционного электрообогревателя с учетом формулы (14) может быть представлено в следующем виде:

$$Q = \left[\bar{\alpha}_{\text{пв}} (t_{\text{п}} - t_{\text{в}}) + \frac{t_{\text{э}} - t_{\text{осн}}}{R_{\text{низ}}} \right] F_{\text{п}} = P = U^2 K_{\text{э}} \gamma, \quad (15)$$

где γ – удельная проводимость композиционного материала; P – активная мощность МКЭ; $K_{\text{э}}$ – коэффициент электропроводности МКЭ, имеющий размерность длины, при этом $K_{\text{э}} = G_{\text{э}} / \gamma$,

где $G_{\text{э}}$ – электрическая проводимость МКЭ, определяемая точными и приближенными методами.

Для того, чтобы выполнить расчет этих параметров применительно к системе электродов, расположенных в электропроводном композиционном материале, рассмотрим систему локального поверхностно-распределенного обогрева (рисунок 1).

Решение задачи выполнено методом непосредственного определения напряженности электрического поля в сочетании с методом конформных преобразований. Этот метод основан на введении вспомогательной функции $\gamma(x, y)$, выражающей величину угла, образуемого вектором напряженности плоскопараллельного поля в какой-либо точке рассматриваемой области с одной из осей декартовой системы координат. Функция является гармонической, удовлетворяющей двумерному уравнению Лапласа и граничным условиям первого рода.

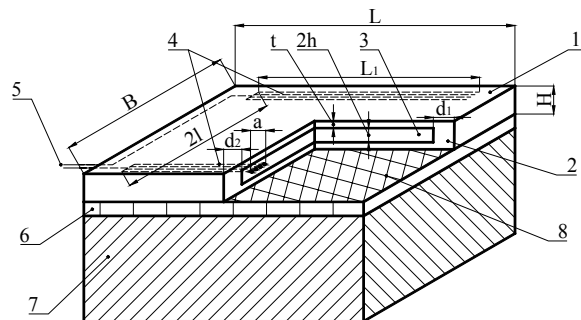


Рисунок 1 – Система локального поверхностно-распределенного электрообогрева, где 1 – электрообогреватель МКЭ; 2 – изоляционный слой; 3 – электропроводящий слой; 4 – электроды; 5 – токоподводы; 6 – деревянное покрытие; 7 – основание пола; 8 – заземляющая металлическая сетка; $B, L, H, h, \ell, d_1, d_2, t, a$ – геометрические размеры МКЭ

Известны решения общих задач, касающихся точного и приближенного расчета электрической проводимости композиционного электрообогревателя, но без учета реальных условий теплоотвода, максимально приближенных к сельскохозяйственному производству. Поэтому определение электрофизических характеристик МКЭ в соответствии с требованиями температурно-влажностного режима при локальном обогреве в свинарниках-маточниках должно быть непосредственно связано с расчетом конструктивных параметров электрообогревателя и условиями теплопередачи, при этом электрообогреватель должен обеспечивать саморегулирование мощности для наиболее энергоэффективного способа обогрева.

Для точного определения G_2 на основе анализа структуры электрического поля в проводящей квазигомогенной среде полимерного материала воспользуемся расчетной плоскопараллельной моделью (рисунок 2).

Следует отметить, что высокая точность расчета безразмерной электрической проводимости достигается при отношении длины к толщине электропроводного слоя $2l/2h = l/h \leq 5$, поэтому, в связи с небольшой толщиной электрообогревателя для расчета проводимости протяженных многоэлектродных электрообогревателей необходимо применять следующую формулу:

$$G_n/\gamma = (n-1)G_2/\gamma, \quad (16)$$

где G_2/γ - безразмерная проводимость, отнесенная на единицу длины электрода, между двумя трехэлектродными системами, выделенной секции А (рисунок 2), а G_n/γ - безразмерная проводимость многоэлектродной системы с количеством электродов n (n – принимается в соответствии с геометрическими размерами рассчитываемого электрообогревателя и выбирается из ряда 3, 5, 9, 17, 33 и т.д.).

С целью определения рациональных вариантов конструкции многоэлектродного гибкого электрообогревателя в соответствии с разработанной

математической моделью и с помощью программной реализации, описывающих ее систем уравнений, была рассчитана безразмерная электрическая проводимость секции МКЭ G_2/γ для различных отношений основных конструктивных параметров: l/h ; $2n/3a$; $(3a+2n)/h$.

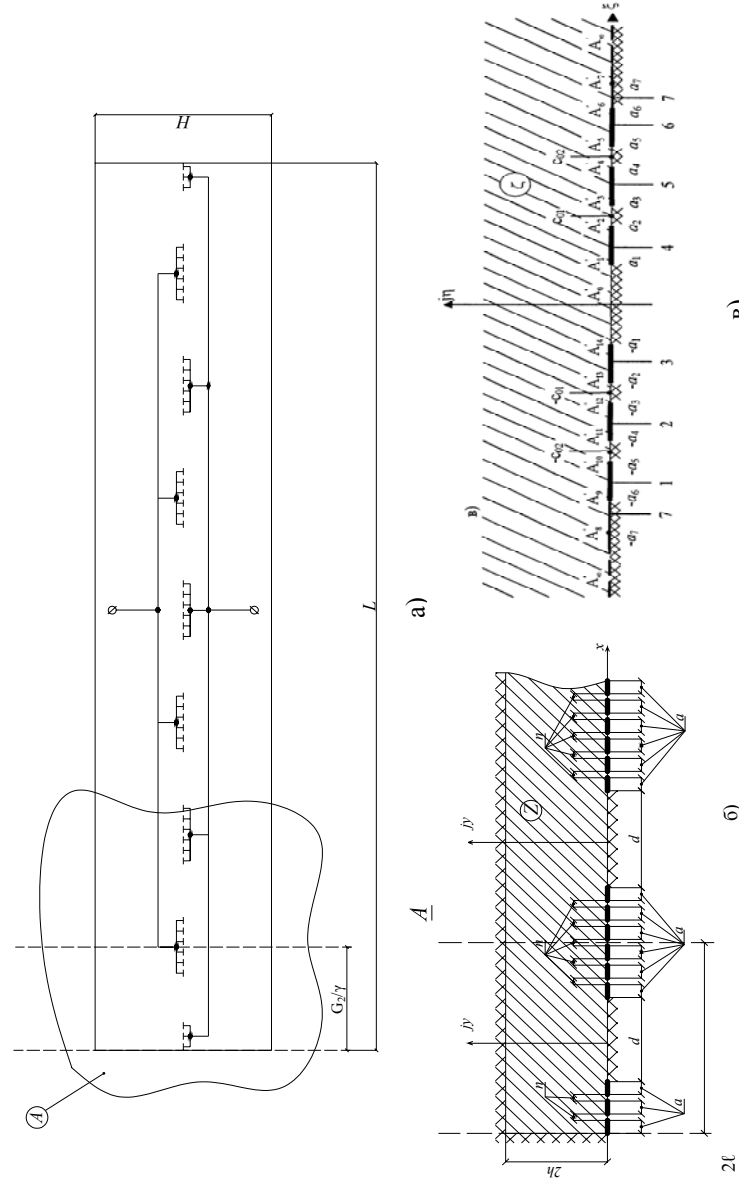


Рисунок 2 – Схема многоэлектродного обогревателя; а – принципиальная схема с организацией систем электродов, б) – расчетная модель в плоскости Z , в) – система в отображенной плоскости ζ , 1-6 – электроды, 7 – электропроводный композиционный материал; a – ширина электрода, n – расстояние между электродами

Результаты расчета электрической проводимости для наиболее часто используемых на практике геометрических размеров МКЭ приведены в таблице 1.

Таблица 1

2n/3a	l/h	Значения G_2/γ при $(3a+2n)/h$, равном		
		0,3	0,6	0,9
0	5	0.1832980147246403	0.2021790697903561	0.2183360006511335
	4	0.2244368422851616	0.2534140959743095	0.2793220627383119
0,005	5	0.1809448028337144	0.2041733225545527	0.2183981278558782
	4	0.2244296046986885	0.2534138517328823	0.2793218818955218
0,01	5	0.1809568089096592	0.2025604151321579	0.2184045891617882
	4	0.2244274633474604	0.2534135087415289	0.2793213283527571

С учетом параллельного соединения секций расчетной многоэлектродной системы и соблюдения требуемого значения мощности конструируемого электрообогревателя при распространении результатов расчета на систему со значительным расстоянием между электродами и отношением $l/h \leq 100$ следует снизить расчетное напряжение в (n-1) раз.

С помощью данной математической модели произведен расчет электрофизических характеристик электрообогревателя, который имеет следующие заданные конструктивные параметры: толщина электропроводного слоя $2h=9,5$ мм; расстояние между электродами в системе электродов стремится к нулю; количество систем электродов $n = 9$; $2\ell=0,38$ м; $L_1=0,45$ м; мощность одной секции электрообогревателя-5 Вт; напряжение питания-27,5 В.

В результате расчета получены следующие характеристики:

$G_2/\gamma = 0.2039210854737886$ при $l/h = 5$, $2n/3a = 0$ и $(3a+2n)/h = 0,631579$; $\rho_v = 1/\gamma = 13,87937$ Ом·м.

В результате произведенных расчетов по предложенной математической модели выявлена возможность создания и даны рекомендации по разработке конструкции электрообогревателей с многоэлектродными системами, работающими на безопасном для биологических организмов напряжении 36 В.

Приближенное решение удельной проводимости КМ находится из уравнения:

$$\left[\delta_{\text{ин}}(t_n - t_n) + \frac{t_s - t_{\text{очн}}}{R_{\text{инз}}} \right] F / U^2 \frac{hL_1}{\ell(1 + a/\ell - 0,88h/\ell)} = \gamma \cdot \quad (17)$$

В третьей главе приведены результаты экспериментальные исследований, которые включали: измерение электро-, теплофизических характеристик электрообогревателей различных типоразмеров из электропроводного КМ на основе бутилкаучука с техническим углеродом (ТУ) промышленных марок П-245, П-234, П-324, П-514 различных концентраций и анализ внутренней структуры КЭ методом рентгеновской компьютерной томографии.

По результатам электрофизических исследований установлены основные принципы реализации технологий поверхностно-распределенного электрообогрева как со самостабилизацией температуры на поверхности композиционного электрообогревателя, так и с эффектом саморегулирования, включающие определение интервала температур, конструктивных параметров, рецептуры композиции проводящей фазы полимерного материала, технологических параметров изготовления.

Электрофизические характеристики исследовались на электрообогревателях – образцах: пластинчатых, размерами 210х135х15 мм, 480х420х15 мм, 1000х600х15 мм и цилиндрических, размером 200хØ24х10 мм. Результаты исследований приведены на рисунках 3÷7. Первоначально исследовались вольтамперные характеристики МКЭ. Измерения сопротивлений проводились по условиям ГОСТ 20214-74. Для уменьшения разогрева исследуемых образцов при прохождении через них электрического тока измерения проводились в течение, не более 5с.

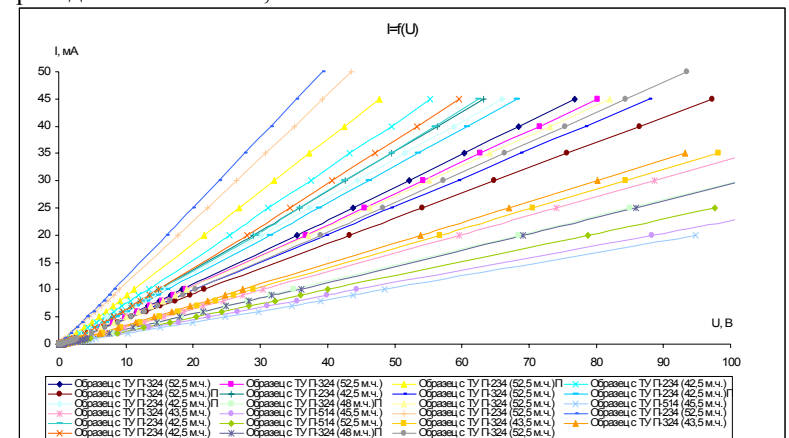


Рисунок 3 – Вольтамперные характеристики МКЭ с различными марками ТУ и его концентрацией в проводящей фазе

Для образцов из проводящих полимерных материалов вольтамперная зависимость носит сложный характер, который определяется маркой и концентрацией электропроводящего наполнителя, степенью его дисперсности и структурности, распределением в полимерной матрице, температурой и рядом других факторов технологического характера.

Исследование вольтамперных характеристик полимерных материалов на основе бутилкаучука, содержащих разные концентрации технического углерода и выход резинового листа из каландра, показало, что они имеют линейный характер, т.е. электрическое сопротивление выбранных композиций постоянно. Перенос заряда осуществляется по цепочкам, состоящим из частиц проводящего наполнителя между которыми имеется непосредственный контакт.

Наиболее стабильные характеристики имеют образцы с ТУ П-234,

концентрацией 42,5 м.ч., а также образцы с ТУ П-324, концентрацией 52,5 м.ч.

Измерения RU-характеристик МКЭ показали, что уменьшение удельного объемного сопротивления с увеличением напряжения приблизительно до 100 В наблюдается практически у всех образцов, исключение составляют образцы с ТУ П-234, концентрацией 52,5 м.ч.. Неомическое поведение композиций объясняется туннельным механизмом переноса заряда через прослойку полимера между контактирующими частицами ТУ.

Стабильность сопротивления и температуры электрообогревателя после выхода на рабочей режим позволяет установить рецептуру проводящей фазы (рисунки 4, 5).

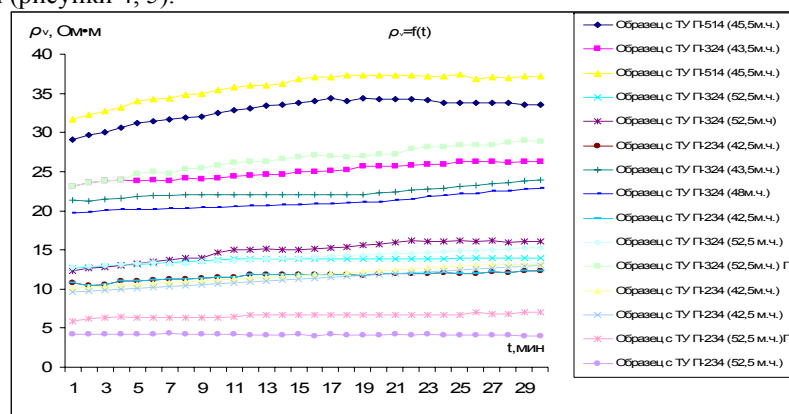


Рисунок 4 – Зависимость удельного объемного сопротивления МКЭ-1 от времени при выходе на рабочий режим

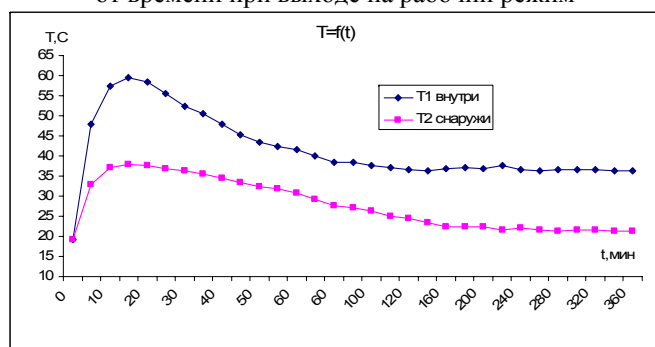


Рисунок 5 – Зависимость температуры на поверхности МКЭ-2 от времени при выходе на рабочий режим

Для исследования зависимости удельного объемного сопротивления электропроводного слоя от изменения температуры были выбраны две партии КЭ из высоконаполненных (41÷52,5 м.ч. ТУ) и слабонаполненных (30÷35 м.ч. ТУ) бутилкаучуков. Измерения проводились при температуре

окружающей среды $18 \div 20$ °С, образец располагали на деревянном основании, на электрообогреватель подавалось напряжение 220 В частотой 50 Гц, через каждые пять минут в течение первого часа и через каждые десять в течение второго измерялись напряжение, ток КЭ и температура на его поверхности. Измерения проводились в течение 2 часов. Результаты представлены на рисунке 6.

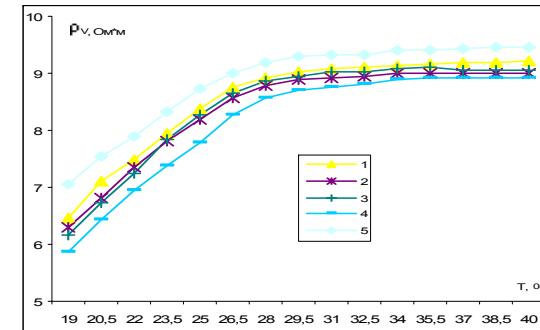


Рисунок 6 – Зависимости удельного объемного сопротивления первой партии образцов МКЭ от температуры

Для приведенных зависимостей характерно что, в первое время идет увеличение удельного сопротивления, затем оно стабилизируется или незначительно меняется для первой партии образцов, что характеризуется положительным температурным коэффициентом. Установлено, что характер зависимости $\rho_v = f(T)$ аналогичен для образцов всей партии, среднее отклонение составило $\pm 7\%$ от измеряемой величины. Полученные характеристики подтверждают возможность работы МКЭ в режиме самостабилизации температуры на поверхности.

У второй партии образцов после достижения определенной температуры наблюдается снижение удельных сопротивлений (рисунок 7), что характеризуется отрицательным температурным коэффициентом. Характер приведенных зависимостей свидетельствует о преобладании связей полимер - проводящий наполнитель в резистивной фазе КМ, что характерно для полупроводниковых материалов и делает возможным работу МКЭ в режиме саморегулирования. В данном случае рецептура композиции в отличие от высоконаполненных полимеров содержит: 30-35 м.ч. ТУ, уменьшенное количество жирных органических кислот, например, стеариновой кислоты (до 2,5 м.ч.); вследствие этого при технологии изготовления следует увеличить время смешения до 9 мин., температуру вулканизации снизить до 165°C при давлении 11 МПа, время вулканизации - 30 мин., температуру выгрузки смеси довести до 180°C . Таким образом, направленным изменением ингредиентов композиции и регулированием технологического регламента изготовления получим МКЭ, обеспечивающие работу в режиме саморегулирования. При работе в этом режиме в отдельных случаях необходимо устанавливать терморегулирующие устройства.

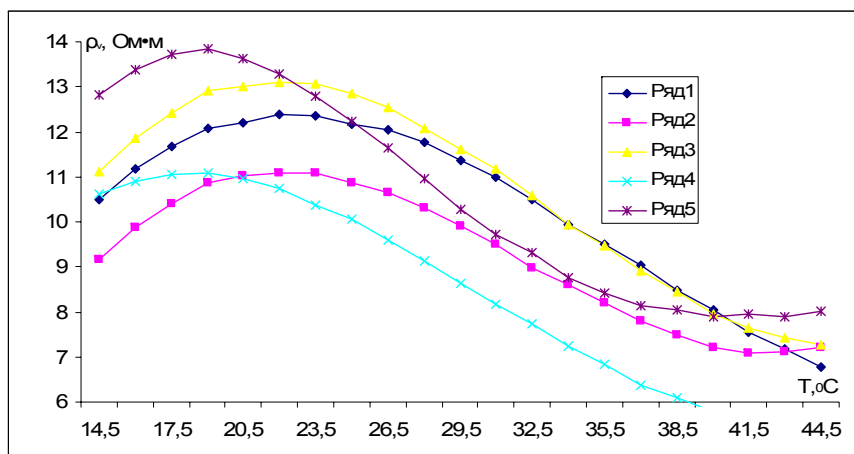


Рисунок 7- Зависимости удельного объемного сопротивления второй партии образцов МКЭ от температуры

Испытания на соответствие МКЭ на основе бутилкаучука основным требованиям ГОСТ Р МЭК 335-1-94 «Безопасность бытовых и аналогичных электрических приборов. Общие требования и методы испытания» показали, что ток утечки не превысил значения $0,0025\text{ мА}$., а напряжение пробоя изоляции композиционного электрообогревателя составило 9 кВ , что соответствует требованиям.

В настоящее время необходимость внедрения энергосберегающих технологий и технических средств электрообогрева в животноводческом комплексе потребовала определения и соблюдения необходимых показателей температурно-влажностных режимов конкретных объектов. Вследствие этого МКЭ различных типоразмеров и форм были испытаны на влагостойкость по ГОСТ 14254-96: «Степени защиты, обеспечиваемые оболочками, и к воздействию влажности окружающей среды». Непосредственно после соответствующей обработки электрообогреватель выдержал испытание на электрическую прочность изоляции. При испытании на влагостойкость проводилось кратковременное погружение МКЭ в воду на глубину 15 см . длительностью 30 мин . Непосредственно после такой обработки электрообогреватель выдерживал испытательное напряжение в течение 1 мин .

МКЭ при использовании в условиях животноводческих помещений должны быть устойчивы к влажности, которая может иметь место при нормальных условиях, для этого они были испытаны в камере влажности 48 часов при влажности $(93\pm 3)\%$ и температуре $(20-30)^\circ\text{C}$. Сразу после такой обработки ток утечки не превысил $0,001\text{ мА} \leq 0,25\text{ мА}$ (нормативно допустимое значение (н.д.); изоляция выдержала в течение 1 мин . испытательное напряжение 3750 В , приложенное между токоведущими и доступными частями, которые отделены от токоведущих частей усиленной изо-

ляцией, пробой отсутствовал.

Проверка электрической прочности изоляции в холодном состоянии при повышенной влажности показала: сопротивление изоляции МКЭ при напряжении постоянного тока 1000В составило 100МОм>2 МОм (н.д.); изоляция выдержала без пробоя или поверхностного разряда в течение 1 мин. испытательное напряжение 3750В, пробой отсутствовал.

Ток утечки на поверхности МКЭ в холодном состоянии и при рабочей температуре после испытания на влагонепроницаемость составил 0,032 мА≤0,25 мА (н.д.).

Второй раздел главы посвящен исследованию композиционных электрообогревателей пластинчатого типа методами неразрушающего контроля. В разделе решены задачи: анализа симметричности размещения резистивного слоя по толщине и по плоскости электрообогревателя; оценки степени взаимного проникновения электроизоляционного и резистивного слоев; сравнения плотностей материалов до и после нагрева; сопоставления результатов томографического и тепловизионного исследований.

Выбор компьютерной томографии в качестве метода исследования был сделан в виду того, что: метод позволяет быстро получить необходимое количество изображений любых срезов исследуемых образцов с необходимой разрешающей способностью и является состоятельным при исследовании структуры рассматриваемых композиционных электрообогревателей, так как высокая чувствительность компьютерных томографов позволяет отдифференцировать различные слои с разницей по плотности в 1%. Измерения плотности материалов слоев электрообогревателя, произведенные с помощью измерения массы образца и объема вытесненной воды с поправкой на температуру воды, показали, что разница между плотностями слоев находится в пределах 1,7%.

Исследования внутренней структуры проводились с помощью компьютерного томографа PHILIPS TOMOSCAN SR7000. В соответствии со шкалой Хаунсфилда более светлым участкам томограммы соответствует вещество с большим коэффициентом абсорбции, а более темным – с меньшим. Для удобства представления и обработки результатов исходные томограммы инвертированы. Таким образом, на приведенных ниже томограммах участкам с большей плотностью соответствуют темные тона, а участкам с меньшей-светлые. Томограмма характерного продольного среза электрообогревателя приведена на рисунке 8.

Как видно из рисунка 8 в процессе вулканизации происходит выдавливание электропроводящего слоя в направлении токоподводов, но при этом толщина электроизоляционного слоя в месте токоподвода остается достаточной для обеспечения требуемого сопротивления изоляции. Как следует из томограммы характерного поперечного среза электрообогревателя (рисунок 9), сечение электропроводящего слоя не имеет строгой формы прямоугольника, оно значительно скруглено по углам. Данное обстоятельство является следствием технологических зазоров при сборке электрообогревателя, а также стремлением расплава полимера электропрово-

дящего слоя в процессе вулканизации занять наиболее выгодную с энергетической точки зрения форму.

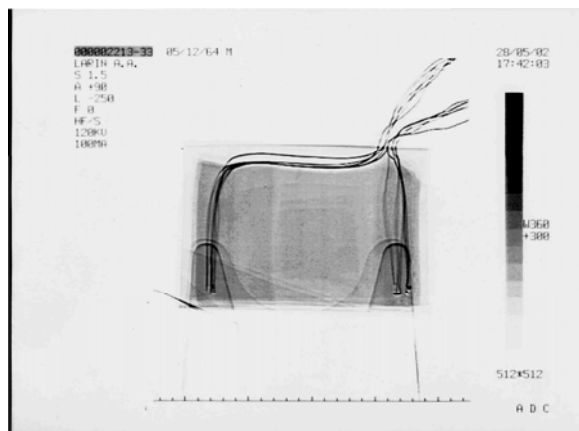


Рисунок 8 – Томограмма характерного продольного среза КЭ

Данное явление хотя и носит систематический характер и наблюдается на абсолютно всех образцах не может привести к какому либо значительному изменению электрофизических и теплофизических характеристик электрообогревателя, так как отношение геометрических размеров рассматриваемых деформаций к линейным размерам электропроводного слоя электрообогревателя мало.

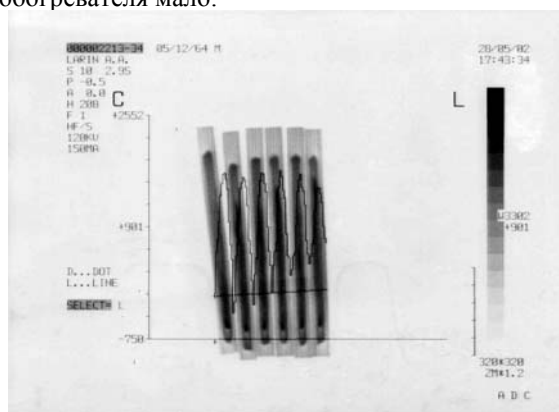


Рисунок 9 – Томограмма поперечного среза КЭ

В результате многократных измерений было установлено что электропроводный слой по толщине электрообогревателя располагается практически симметрично между двумя электроизоляционными слоями. средняя толщина электроизоляционного слоя составила 2,77 мм, а электропроводного - 3,18 мм.

Система расчета и программное обеспечение томографа позволяет в

произвольной точке выбранного сечения определить коэффициент абсорбции излучения материалом в соответствии со шкалой Хаундсфилда, который зависит от плотности и атомной массы.

На рисунке 10 приведен график распределения коэффициентов абсорбции для сечения, приведенного на рисунке 9, вдоль выбранной прямой линии. На увеличенном фрагменте томограммы (рисунок 11), видно наличие слоя взаимного проникновения полимеров, размером 0,64 мм. Таким образом, толщина зоны взаимного проникновения достигает 23% толщины электроизоляционного слоя, что необходимо учитывать при проектировании и эксплуатации изделий.

Основываясь на измерениях коэффициента абсорбции в различных сечениях до и после нагрева, удалось определить, что среднее изменение плотности материалов электроизоляционного и электропроводного слоев составило 0,084 % на 1 °С.

Сопоставление температурного поля и томограммы продольного среза электрообогревателя позволило сделать вывод, что температурное поле электрообогревателя с высокой степенью достоверности отражает фактическое размещение и форму электропроводного слоя. При этом возможно одновременно оценивать равномерность температурного поля и однородность структуры электрообогревателя, а также контролировать соблюдение технологии сборки изделия.

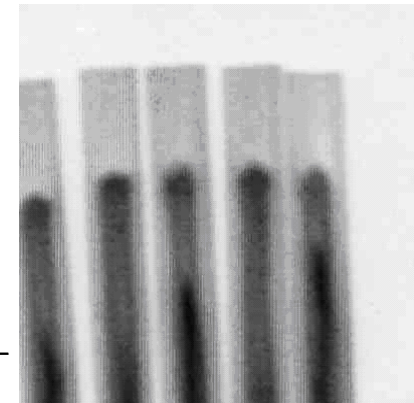
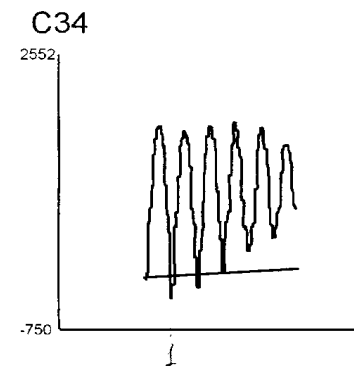


Рисунок 10—График распределения коэффициентов абсорбции Рисунок 11 – Фрагмент томограммы продольных срезов электрообогревателей

Четвертая глава посвящена инженерной методике расчета энергетических потоков животноводческого помещения и выбору технических средств, обеспечивающих условия его температурно-влажностного режима.

Приведен пример теплоэлектрического расчета свинарника-маточника на 56 голов и определена тепловая мощность локального обогрева на основе электрообогревателей МКЭ-1.

Для выбора состава электропроводящей композиции выполнен расчет удельного объемного электрического сопротивления электрообогревателя МКЭ заданных размеров по формуле:

$$\rho_v = \frac{U_n^2 \cdot \frac{h_0 \cdot L_0}{\ell_0(1 + a_0/\ell_0 - 0,88 \cdot h_0/\ell_0)}}{P_0}, \quad (17)$$

где U_n – номинальное напряжение МКЭ; P_0 – номинальная мощность МКЭ;

h_0, L_0, ℓ_0, a_0 – геометрические размеры МКЭ.

Для локального обогрева в свинарнике-маточнике используются электрообогреватели с саморегулированием, находим ρ_v по формуле (17) для этого типа МКЭ-1

$$\rho_v = \frac{220^2 \cdot \frac{0,00475 \cdot 0,45}{0,19(1 + 0,02/0,19 - 0,88 \cdot 0,00475/0,19)}}{40} = 12,56 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

Результаты расчета удельного объемного сопротивления по приближенной формуле совпадают с данными точного расчета (глава 2) и экспериментальными данными (глава 3), погрешность составляет не более 6%.

В главе также представлены расчеты экономической эффективности разработанных и внедренных устройств, с использованием электрообогревателей: пластинчатых МКЭ-1 и объемные МКЭ-2.

Экономический эффект получен за счет снижения энергозатрат по сравнению с известными устройствами в 1,5-2 раза.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

1. Энергоэффективные, безопасные, экологически чистые технологии локального поверхностно-распределенного электрообогрева могут быть реализованы на основе многоэлектродных композиционных электрообогревателях из бутилкаучука со самостабилизацией и саморегулированием температуры на поверхности, отвечающих требованиям сельскохозяйственного производства.
2. Для выбора конструктивных параметров и удельной проводимости композиционного материала необходимо использовать аналитические выражения функционирования МКЭ, полученные на основе разработанной математической модели, учитывающей энергетические потоки животноводческого помещения.
3. Теоретически обоснована на основе полученных аналитических выражений и экспериментально подтверждена реализация композиционного электрообогревателя с заданными теплофизическими характеристиками,

отвечающего условиям температурно-влажностного режима животноводческого помещения.

4. Конструктивные параметры МКЭ определены на основе разработанной методики электро-, теплофизического расчета с учетом самостабилизации и саморегулирования.

5. Установлено, что направленным изменением композиции электропроводного слоя МКЭ и технологического регламента их производства можно получить полимерные электрообогреватели с положительным или отрицательным температурным коэффициентом, что позволит обеспечить работу МКЭ по заранее заданным режимам в зависимости от условий теплоотдачи и снизить расход электроэнергии на местный обогрев молодняка животных.

6. Результаты диссертационной работы внедрены для эффективного обогрева свинарника-маточника на 56 голов, экономический эффект составил 187 тыс. руб. в год; принята к внедрению с передачей проектно-конструкторской документации технология электрообогрева поилок маралоферм на основе пластинчатых и объемных МКЭ, обеспечивающая сокращение потребления электроэнергии в 2 раза; саморегулируемые электрообогреватели внедрены в системах обогрева водостоков и карнизов помещений с экономическим эффектом более 150 тыс. руб. в год.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Марсов В.Ю. Результаты испытаний низкотемпературных многоэлектродных композиционных электрообогревателей на соответствие требованиям температурно-влажностного режима объектов АПК / В.Ю. Марсов // Вестник АлтГТУ им. И.И. Ползунова № 3-4, 2005. – С.188-189.

2. Халина Т.М., Система подогрева зерна на основе многоэлектродных композиционных электрообогревателей / Т.М. Халина, В.Ю. Марсов // Ползуновский вестник. – 2005. – №2. – С. 116-119.

3. Халин М.В., Методика экспериментального определения параметров технологического процесса изготовления композиционных электрообогревателей с заданными электрофизическими характеристиками / М.В. Халин, Р.Н. Белоусов, А.В. Жуйков, Т.М. Халина, М.Н. Строков, В.Ю. Марсов // Проблемы и перспективы развития литейного, сварочного и кузнечно-штамповочного производств: Сборник науч. трудов. Вып. 3 / АлтГТУ. – Барнаул: АлтГТУ, 2001. С.112-116.

4. Халина Т.М., Применение электрообогревателей из композиционного материала для удаления обледенения с крыш зданий / Т.М. Халина, В.Ю. Марсов, А.В. Жуйков, А.В. Шилов, А.Б. Дорош, И.В. Мерцалов // Юбилейная 60-я научно-техническая конференция студентов, аспирантов и профессорско-преподавательского состава, посвященная 60-летию АлтГ-

ТУ. Часть 12. Кафедра металловедения и термической обработки металлов. / АлтГТУ. – Барнаул: изд-во АлтГТУ. – 2002. – С. 56-58.

5. Халина Т.М., Объемный низкотемпературный многоэлектродный композиционный электрообогреватель / Т.М. Халина, В.Ю. Марсов // Энергосбережение и энергетическая безопасность регионов России: Тезисы докладов 2^{го} Всероссийского совещания. – Томск: ЦНТИ, 2001. – С. 130-132.

6. Халина Т.М., Разработка и внедрение системы обогрева сливов кровли зданий и сооружений на базе многоэлектродных электрообогревателей / Т.М. Халина, М.В. Халин, Г.А. Пугачев, Р.Н. Белоусов, В.Ю. Марсов, М.Н. Строков // Энергосбережение и энергетическая безопасность регионов России: Материалы докладов 3^{го} Всероссийского совещания. – Томск: ЦНТИ, 2002. – С. 97-99.

7. Патент РФ № 2209904, кл. Е 04 Д 13/00 Устройство для удаления льда с водостоков крыш зданий и сооружений / Т.М. Халина, М.В. Халин, Г.А. Пугачев, В.А. Тарабанов, В.Ю. Марсов, М.Н. Строков, Р.Н. Белоусов, А.В. Жуйков – № 2002102526/03. Заявл. 28.01.2002; Опубл. 10.08.2003, Бюл. №22.

8. Патент РФ №2209906, кл. Е 04 Д 13/076. Способ удаления льда с водостоков крыш зданий и сооружений / М.В. Халин, Т.М. Халина, Е.М. Рябикин, В.Ю. Марсов, М.Н. Строков, Р.Н. Белоусов, А.В. Жуйков – № 2002118385/03. Заявл. 08.07.2002; Опубл. 10.08.2003, Бюл. №22.

9. Халина Т.М., Определение теплофизических характеристик полимерных композиционных материалов / Т.М. Халина, В.Ю. Марсов, А.В. Жуйков, Г.А. Пугачев // Проблемы энергосбережения и энергобезопасности в Сибири: Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Барнаул: АлтГТУ, 2003. – С. 193-196.

10. Халина Т.М., Объемный многоэлектродный композиционный электрообогреватель / Т.М. Халина, В.Ю. Марсов // Электроэнергетика, электротехнические системы и комплексы: Материалы Международной научно-технической конференции. – Томск: ТПУ, 2003. – С. 202-204.

11. Халина Т.М., Основы технологии производства низкотемпературных композиционных электрообогревателей цилиндрического типа / Т.М. Халина, А.Б. Дорош, В.Ю. Марсов // Электроэнергия и будущее цивилизации: Материалы Международной научно-технической конференции. – Томск: ТГУ, 2004. – С. 457-458.

12. Khalina T.M., Structure Formation Analysis of Electro-Conductive Dispersional Filled Polymers by the Electron Microscopy Methods / T.M. Khalina, V.U. Marsov, A.V. Zhuykov // Technical and Physical Problems in Power Engineering (TPE - 2004): Second International Conference. – Tabriz, Iran, 2004. – P. 328-332.

13. Khalina T.M., Methods of Electrical Conductance Mechanism Analysis of Filled Polymers on the Basis of Butyl Rubber / T.M. Khalina, V.L. Tarabanov, M.V. Khalin, R.N. Belousov, M.N. Strokov, V.U. Marsov // Technical and

Physical Problems in Power Engineering (TPE - 2004): Second International Conference. – Tabriz, Iran, 2004. – P. 316-320.

14. Халин М.В., Способ удаления льда с водостоков крыш зданий и сооружений / М.В. Халин, Е.М. Рябикин, В.Ю. Марсов, Т.М. Халина, М.Н. Строков, Р.Н. Белоусов, А.В. Жуйков // Информационный листок № 02-127-03. Алтайский ЦНТИ.- Барнаул, 2003. ГРНТИ 67.13.47

15. Халина Т.М., Устройство для удаления льда с водостоков крыш зданий и сооружений / Т.М. Халина, М.В. Халин, Г.А. Пугачев, В.Л. Тарабанов, М.Н. Строков, Р.Н. Белоусов, А.В. Жуйков, В.Ю. Марсов // Информационный листок № 02-128-03. Алтайский ЦНТИ.- Барнаул, 2003. ГРНТИ 67.13.47

16. Халина Т.М., Тепловизионная диагностика электрообогревателей из композиционного материала / Т.М. Халина, В.Ю. Марсов, А.В. Жуйков // Энергетика: экология, надежность, безопасность: Материалы 11-ой Всероссийской научно-технической конференции. – Томск, ТПУ, 2005.-С.203-205.

17. Khalina T.M, Determination of electrophysical characteristics of multi-elektode composite electric heaters designed for agroindustrial complex. / T.M. Khalina, M.V. Khalin, V.U. Marsov, A.B. Dorosh, G.A. Litvinenko // Third International Conference Technical and Physical Problems in Power Engineering TPE-2006, Ankara, Turkey, 2006. – P. 1092-1096.

18. Халина Т.М., Применение многоэлектродных низкотемпературных электрообогревателей на предприятиях агропромышленного комплекса / Т.М. Халина, В.Ю. Марсов, А.В. Жуйков // Электроэнергия: от получения и распределения до эффективного использования: Материалы Всероссийской научно-технической конференции. Томск: ТПУ, 2006.-С. 57-58.

19. Халина Т.М., Низкотемпературные композиционные электрообогреватели для агропромышленного комплекса / Т.М. Халина, А.Б. Дорош, М.В. Халин, В.Ю. Марсов, Е.И. Востриков // Энергосбережение и энергетическая безопасность регионов России: Материалы докладов 7^{го} Всероссийского совещания. – Томск: ТНДЦ, 2006. – С. 83-86.

Подписано в печать 17.11.2006г. Формат 60x84 1/16

Печать – ризография. Усл.п.л. 1,39.

Тираж 100 экз. Заказ 2006-32

Издательство Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова 656038, г. Барнаул, пр-т. Ленина, 46

Лицензия на издательскую деятельность ЛР № 020822 от 21.09.98г.