

На правах рукописи



Строков Михаил Николаевич

**ТЕХНОЛОГИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА
ПОДОГРЕВА ЗЕРНА НА ОСНОВЕ
КОМПОЗИЦИОННЫХ ЭЛЕКТРОБОГРЕВАТЕЛЕЙ**

Специальность 05.20.02 – Электротехнологии
и электрооборудование в сельском хозяйстве

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Барнаул – 2009

Работа выполнена в ГОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И.Ползунова» (АлтГТУ)

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
М.В. Халин (ГОУ «Алтайский государственный технический университет им. И. И.Ползунова»)

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
А.А.Сошников (ГОУ «Алтайский государственный технический университет им. И. И.Ползунова»)

кандидат технических наук, доцент
Ю.А. Меновщиков (ФГОУ ВПО
«Новосибирский государственный аграрный университет»)

Ведущее предприятие: ФГОУ ВПО «Алтайский государственный аграрный университет»

Защита состоится «26» июня 2009 года в 13 – 00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.004.02 в ГОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова» по адресу: 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46,
<http://www.altstu.ru>; ntsc@desert.secna.ru

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

Автореферат разослан «25» мая 2009 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета д.т.н., профессор



Куликова Л.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Переход сельского хозяйства на работу в рыночных условиях с учетом вхождения России во всемирную торговую организацию (ВТО) и острой конкуренции в условиях мирового кризиса предусматривает снижение энергоемкости внутреннего валового продукта (ВВП), разработку нормативов на энергетическую эффективность основных видов энергопотребляющего оборудования, введение гибкой политики на энергоносители, государственную поддержку организационных и технических мероприятий, обеспечивающих наибольший эффект при наименьших затратах.

В связи с увеличением спроса на экологически чистые продукты питания и одновременным ростом энергоматериальных затрат на производство сельскохозяйственной продукции особую значимость приобретают разработка и применение энергоэффективных технологий и технических средств глубокой переработки продукции агропромышленного комплекса (АПК). Для переработки зерна в муку необходим его подогрев до $+15^{\circ}\text{C}$, чтобы выполнить условия технологического регламента переработки и сохранения биологических свойств зерна. Температура зерна, поступающего со склада на переработку в холодное время года, обычно составляет от -5°C до $+5^{\circ}\text{C}$.

Актуальность использования низкотемпературного поверхностно-распределенного электрообогрева в технологических процессах подогрева зернового материала с целью повышения их энергоэффективности предопределило постановку научных задач, решению которых посвящена диссертационная работа.

Работа выполнялась в соответствии с планом важнейших научно-исследовательских работ: федеральной целевой программой «Социальное развитие села до 2010 года», Алтайской краевой программой научных исследований и инновационных проектов на 2005–2008 гг (раздел «Разработка и создание промышленного образца низкотемпературного композиционного обогревателя для АПК, промышленности и ЖКХ), инновационного проекта «Разработка и применение энергоэффективных технологий обогрева на основе многоэлектродных композиционных электрообогревателей» по государственному контракту с Фондом содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере на 2006–2010 гг. (№ 4414р/6815 от 21.06.2006 и № 5922р/6815 от 31.03.2008г.)

Целью диссертационной работы является снижение энергетических и материальных затрат в зерноперерабатывающей промышленности за счет применения энергоэффективных технологий и технических средств поверхностно-распределенного обогрева на основе многоэлектродных композиционных электрообогревателей (МКЭ).

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

1. Провести анализ эффективности технологий и технических средств подогрева зерна с учетом обеспечения температурного режима и определить основные направления повышения энергоэффективности и электропожаробезопасности композиционных электрообогревателей.

2. Сформулировать основные требования к системам и устройствам поверхностно-распределенного электрообогрева на основе пластинчатых и объемных электрообогревателей, учитывающих специфику производства в зерноперерабатывающей промышленности.

3. Теоретически обосновать и разработать новые технические решения конструкций, систем и устройств подогрева зернового материала, обеспечивающих эффективный технологический режим подогрева.

4. Разработать проектно-конструкторско-технологические рекомендации по созданию устройств подогрева зерна на основе низкотемпературных МКЭ (НТМКЭ) с предложением новых технологических режимов изготовления НТМКЭ.

5. Провести производственные испытания разработанных устройств подогрева зернового материала на зерноперерабатывающих предприятиях.

6. Разработать рекомендации по использованию устройств подогрева зернового материала, реализующих предлагаемую систему и способы в производственных условиях.

Объект исследования. Технология и системы подогрева зерна на основе технических средств поверхностно-распределенного электрообогрева из композиционных материалов в технологических процессах зерноперерабатывающего производства.

Предмет исследования. Установление закономерностей выбора параметров поверхностно-распределенного обогрева на основе электрообогревателей из бутилкаучука для обеспечения требуемых характеристик аппаратного и шнекового подогрева зерна.

Методы исследования. Для решения поставленных задач использовались методы математического и физического моделирования, методы электро-

физических измерений, неразрушающего тепловизионного контроля, методы математической статистики при обработке результатов измерений.

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

- обосновано направление повышения энергоэффективности технологических процессов в зерноперерабатывающей промышленности путем использования экономически целесообразных способов поверхностно-распределенного электрообогрева на основе композиционных электрообогревателей заданных теплофизических характеристик и типоразмеров;

- разработаны математические модели U – образного и пластинчатого композиционных электрообогревателей, позволяющие на стадии проектирования выполнить тепло- и электрофизические расчеты, определить конструктивные и энергетические параметры средств обогрева;

- экспериментально установлены электрофизические характеристики технических средств обогрева зерна на основе композиционных электрообогревателей и обоснована их связь с теплофизическими параметрами;

- разработана технология формирования заданных свойств МКЭ различных форм, позволяющая обеспечить однородность температурного поля на их поверхности.

Практическая ценность. Разработана инженерная методика определения энергетических и конструктивных параметров устройств подогрева зерна, учитывающая их энергетический баланс и условия теплопереноса.

Предложенные научно-методические и проектно-конструкторские рекомендации положены в основу проектирования энергоэффективных установок шнекового и аппаратного подогрева зерна, удовлетворяющих требованиям агропромышленного производства.

Разработанные система и устройства подогрева зерна позволяют осуществлять автоматическое управление технологическим процессом, обладают надежностью и позволяют снизить энергоматериальные затраты по сравнению с традиционными до 30%.

Обоснованность и достоверность полученных научных положений, выводов и рекомендаций обеспечивается строгостью постановки решаемых задач, введением в расчетные модели основных физических свойств исследуемых объектов, установлением границ корректности решений и подтверждается сопоставлением результатов аналитического и численного исследований, а также сравнением результатов, полученных в лабораторных и производственных условиях.

Реализация и внедрение результатов работы. Разработанные в диссертации методы, модели энергоэффективных технологий и технических средств на основе МКЭ были использованы в Региональном центре ресурсосбережения Томского политехнического университета, научном центре электроэнергосбережения института топливно-энергетических ресурсов Алтайского государственного технического университета (АлтГТУ), в проблемной лаборатории физики диэлектриков 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 и изготовлении опытно – промышленной партии на ООО «ЭнергоЭффекТехнология» (г. Барнаул), объемом 2 тыс. шт.

Результаты работы внедрены в «ЭнергоЭффекТехнология». Научно-технические разработки и материалы расчетов приняты для практического использования Главным управлением сельского хозяйства администрации Алтайского края, а также использованы при выполнении государственного контракта № 6815 ООО «ЭнергоЭффекТехнология» с Фондом содействия развитию малых предприятий в научно-технической сфере.

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, Алтайском государственном аграрном и Томском политехническом университетах.

Основные положения, выносимые на защиту:

1 Способ и методы энергоэффективного, экологически безопасного поверхностно-распределенного электроподогрева зерна на основе многоэлектродных композиционных электрообогревателей из бутилкаучука, отвечающих требованиям сельскохозяйственного производства.

2 Теоретические положения по определению и обоснованию параметров и условий функционирования многоэлектродных композиционных электрообогревателей различных форм и типоразмеров, учитывающих энергетические потоки шнекового и аппаратного подогрева зерна.

3 Комплекс экспериментальных исследований по определению электро-, теплофизических характеристик для обеспечения заданных параметров технических средств подогрева зерна.

Апробация работы: Материалы диссертации доложены и обсуждены на 4 международных, 2 всероссийских и других научных (научно-технических) симпозиумах, совещаниях и конференциях. Основными из них являются: 5-е, всероссийское совещание «Энергосбережение и энергетическая безопасность регионов России» (г. Томск, 2001 г.); международная научно-техническая конференция «Электроэнергетика, электротехнические системы и комплексы» (г. Томск, 2003 г.); 1-я и 2-я международные конференции «Technical & Physical Problems in Power Engineering» (г. Баку, 2002 г.; Иран, г. Тебриз, 2004 г.); международная научно-техническая конференция «Энергетика и будущее цивилизации» (г. Томск, 2006 г.); 2-я всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Энергетические, экологические и технологические проблемы экономики» (г. Барнаул, 2008 г.), а также на научно-технических семинарах НИХТИ, ЗАО ИЦ «Планета» (г. Москва, 2001÷2008 г.), Института физики НАН Азербайджана (г. Баку, 2002÷2008 гг.), кафедре «Теория электромагнитного поля и электроэнергосбережение» АлтГТУ (г. Барнаул, 2001÷2008 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); выставка-конгресс «Высокие технологии. Инновации. Инвестиции», Санкт-Петербург, 2003 г. (диплом I степени, с вручением медали); выставка-конгресс «Энергосбережение», Томск, 2007 г. (диплом).

Публикации. Результаты исследований опубликованы в 13 печатных работах, в том числе в 3-х научно-технических отчетах и патенте.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, основных выводов, списка литературы из 116 наименований и приложений, содержит 116 страниц машинописного текста, включая 18 таблиц и 25 рисунков.

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 дан критический анализ состояния и развития технологий и технических средств подогрева зерна в зерноперерабатывающей промышленности АПК. Основоположниками современных теоретических, методических, экспериментальных и эксплуатационных направлений по изучению технологических процессов сушки и подогрева зерна являются А.В. Лыков, А.Я. Соколов, А.С. Гинзбург, Л.А. Глебов, А.Б. Демский, В.М. Жидко и др.

Системы и устройства подогрева зерна в зерноперерабатывающей промышленности имеют ряд общих принципов с технологией сушки зерна, однако, существуют значительные отличительные особенности, по которым эти устройства образуют свою категорию технических средств. В таблице 1 приведены характеристики зерносушилок и устройств подогрева зерна, имеющие общие и отличительные характеристики.

Из приведенных данных в при разработке способов и устройств подогрева зерна можно воспользоваться только принципиальными моментами, характерными для организации технологического процесса.

Таблица 1 – Возможные сравнительные характеристики зерносушилок и устройств подогрева зерна

№ п/п	Характеристики, параметры	Зерносушилки	Подогреватели зерна
1	Диапазон рабочих температур, °С	10÷60	–5÷15
2	Агент сушки, подогрева	Нагретый воздух, токи высокой частоты	Перегретый пар, нагретый воздух
3	Способ сушки, подогрева	Конвективный, кондуктивный, вакуумный, радиационный, инфракрасный	контактный, конвективный, радиационный
4	Конструкция	Шахтные, барабанные, пневмотрубные, специальные	Шахтные, шнековые

Технологические процессы предварительного подогрева зерна менее сложны, чем процессы сушки, так как они менее энергозатратны, не предусматривают определения состояния зерна по влажности и не предъявляют особых требований по температурному режиму выхода зерна.

С учетом выполненного анализа можно сформулировать основные требования к системам и техническим средствам подогрева зерна:

- обеспечение высокотехнологического подогрева зерна, позволяющего снизить материалоемкость и эксплуатационные затраты, а также повысить к.п.д. устройств и установок;
- обеспечение надежности системы управления, позволяющей в автоматическом режиме контролировать параметры технологического процесса подогрева зерна;
- выполнение условий электро-, пожаробезопасности, надежности функционирования устройств;
- обеспечение энергоэффективности и экономической целесообразности применения новых устройств, позволяющих снизить приведенные энергетические затраты;
- разработка устройств и установок, позволяющих обеспечить надежный и эффективный электрический подогрев зерна для фермерских хозяйств, удаленных от центрального теплоснабжения.

Вторая глава посвящена анализу условий теплопередачи при контактом способе подогрева зерна на основе многоэлектродных композиционных электрообогревателей МКЭ. Изучение сложного процесса теплопереноса при аппаратном и шнековом подогреве зерна с определенной долей допущений позволит рассчитать эффективность способов, производительность установок, определить электро-, - теплофизические характеристики многоэлектродных композиционных электрообогревателей и выработать рекомендации по организации конструкции и составам электропроводящих слоев пластинчатой и U-образной форм МКЭ.

Процесс теплообмена в электрическом аппарате подогрева зерна (ЭАПЗ) формируется двумя видами теплопереноса – теплопроводностью и излучением, конвективный теплообмен в этом случае отсутствует, так как скорость прохождения зерна намного меньше 0,2 м/с.

Для упрощения расчетов принимаем следующие допущения: масса зерна, находящегося в аппарате, является однородной и изотропной, т.е. её физические свойства не зависят от места и направления, а удельная теплоем-

кость зерна при изменении температуры от -5 до $+15^{\circ}\text{C}$ увеличивается не более чем на 3 – 4%;

– коэффициент теплопроводности зерна λ – величина постоянная и равная эквивалентному значению $\lambda_{\text{э}} = 0,16 \text{ Вт/(м·К)}$;

– температура во всех точках электрообогревателя одинаковая и его поверхность – изотермическая.

Многоэлектродные композиционные электрообогреватели для контактного подогрева в аппаратах шахтного типа с учетом рекомендаций, основанных на теоретических положениях и проектно-конструкторских разработках систем процессов сушки, располагается следующим образом (рисунок 1).

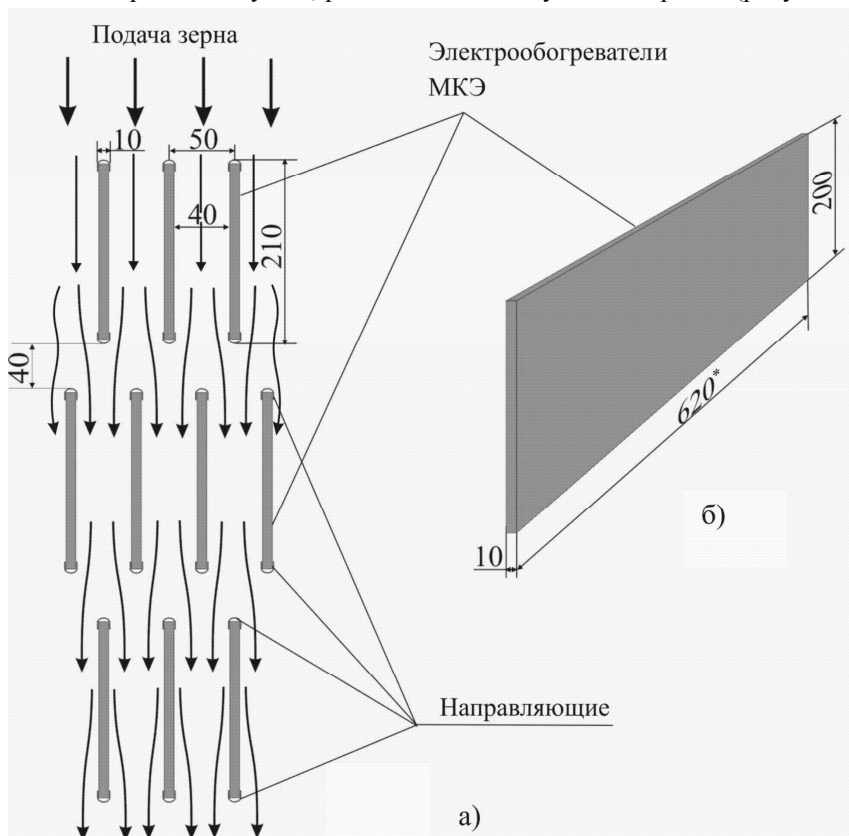


Рисунок 1 – Схема расположения электрообогревателей МКЭ в аппарате подогрева зерна (а); электрообогреватель МКЭ (б)

* размеры указаны в мм

Тепловая мощность электрообогревателей МКЭ Q_A распределяется на два тепловых потока, создаваемых теплопроводностью Q_T и излучением Q_H :

$$Q_A = Q_T + Q_H \quad (1)$$

Тепловой поток Q_T определяется:

$$Q_T = \frac{\lambda_{\vartheta}}{\delta} (T_1 - T_2) F, \quad (2)$$

где F – площадь электрообогревателей ЭАПЗ с двух сторон; m^2 ;

λ_{ϑ} – эквивалентный коэффициент теплопроводности зерна, $Вт/(м \cdot К)$;

δ – $1/2$ расстояния между электрообогревателями МКЭ, $м$;

T_1 – начальная температура зерна на входе в аппарат ЭАПЗ, $К$;

T_2 – конечная температура зерна на выходе из аппарата ЭАПЗ, $К$.

Отметим, если аппарат ЭАПЗ состоит из “ n ” параллельно размещенных рядов электрообогревателей МКЭ, то формула 2 примет следующий вид:

$$Q_T = \frac{\lambda_{\vartheta}}{\delta} \sum_{i=1}^n F_i (T_{1,i} - T_{2,i+1}), \quad (3)$$

где F_i – площадь электрообогревателей МКЭ с двух сторон одного ряда;

$T_{1,i}$ – начальная температура зерна на входе i – того ряда МКЭ аппарата;

$T_{2,i+1}$ – конечная температура зерна на выходе из i – того ряда МКЭ.

Тепловой поток Q_H определяется согласно:

$$Q_H = C_O \varepsilon_{np} \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] H, \quad (4)$$

где $C_O = 5,67 \text{ Вт}/(м^2 \cdot К^4)$ – коэффициент излучения черного тела;

ε_{np} – приведенная степень черноты системы;

H – взаимная поверхность,

равная $H = \varphi_{nm} F_R$,

где φ_{nm} – угловой коэффициент облученности, учитывающий как прямое n , так и отраженное излучение m ;

F_R – поверхность теплообмена излучением.

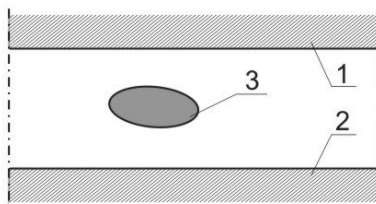


Рисунок 2 – Расчетная модель системы: две параллельные стенки и выпуклое тело

В случае воздействия двух параллельных греющих стенок 1,2 (электрообогревателей МКЭ) на выпуклое тело 3 (зерно) принята расчетная модель системы (рисунок 2) и рассчитана ε_{np} , равная 0,64. Для расчета F_R определяется количество зерен, находящихся в зоне обогрева аппарата одновременно, по формуле

$$k = \frac{m(hS - V_{МКЭ})\rho}{G}, \quad (5)$$

где h – высота ЭАПЗ, равная 2,0 м; S – площадь основания ЭАПЗ, равная $0,6 \text{ м}^2$; $V_{МКЭ}$ – объем электрообогревателей МКЭ, составляющий $0,19 \text{ м}^3$; ρ – насыпная плотность зерна, равная 800 кг/м^3 ; m – количество зерен, равное 1000, весом $G = 0,035 \text{ кг}$.

В результате расчетов получим: $k = 1,08 \cdot 10^8$, $F_R = k \cdot F = 1340 \text{ м}^2$, где $F = 4,52 \cdot 10^{-2} \text{ мм}^2$ – площадь поверхности одного зерна.

Угловой коэффициент облученности φ_{nm} в практических расчетах определяют, как правило, таблично, что трудоемко и недостаточно доступно при использовании вычислительных устройств; либо эмпирическим путем.

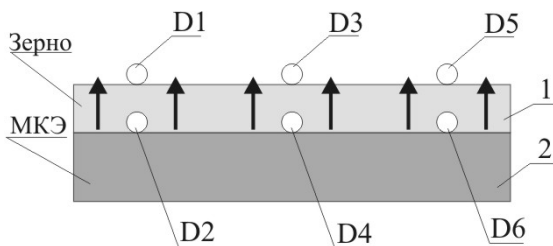


Рисунок 3 – Схема экспериментальной установки

С целью определения зависимости коэффициента φ_{nm} от геометрических параметров зерна и от его удаленности от объекта обогрева были выполнены экспериментальные исследования (рисунок 3).

На электрообогревателе МКЭ 2 был размещен слой зерна пшеницы 1, по его длине и по центру размещены три датчика температуры D_1, D_3, D_5 , другая группа датчиков D_2, D_4, D_6 установлена на поверхности слоя зерна пшеницы. Температура окружающей среды $T = +22^\circ\text{C}$. Эксперимент проведен для двух вариантов слоя зерна пшеницы $h = 3 \text{ мм}$ и $h = 6 \text{ мм}$. Результаты эксперимента приведены на рисунках 4 и 5.

Анализ полученных данных показывает, что температура подогрева зерна пшеницы изменяется по экспоненциальному закону. Угловой коэффициент облученности с достаточной степенью точности (погрешность не пре-

вышает 5%) можно рассчитать по полученному экспериментальному выражению $\varphi_{nm}=1-e^{-0,5l/h}$,

где l – линейный усредненный размер зерна пшеницы; h – толщина слоя пшеницы.

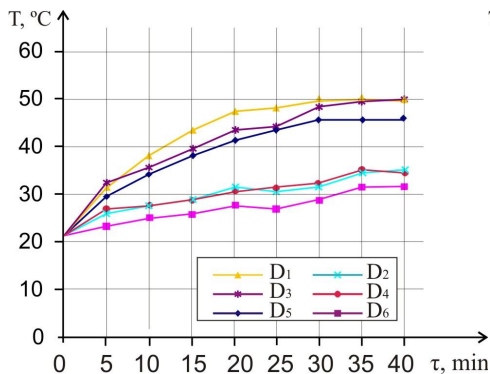


Рисунок 4 – График экспериментальных значений статического подогрева зерна, слоем 3 мм

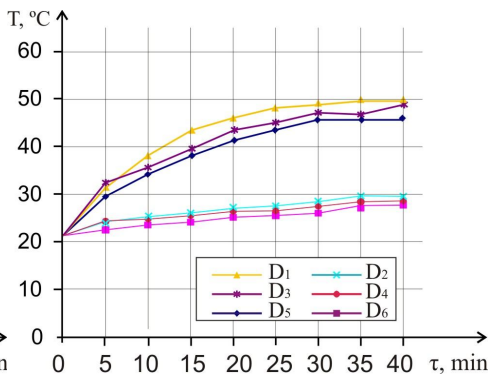


Рисунок 5 – График экспериментальных значений статического подогрева зерна, слоем 6 мм

Процесс теплообмена при шнековом подогреве зерна формируется двумя видами теплопереноса: теплопроводностью и конвекцией, теплообменом излучением можно пренебречь, так как с учетом того, что даже при минимальной производительности шнекового транспортера скорость прохождения зерна значительная, более 0,5м/с. Нижняя часть шнекового транспортера, оборудованная U-образными электрообогревателями МКЭ, обеспечивает подогрев зерна в основном теплопроводностью, а верхняя, оборудованная пластинчатыми и частью U-образных МКЭ, формирует конвективный теплообмен воздуха с верхними слоями зерна (рисунок 6).

Тепловая мощность электрообогревателей $Q_{ш}$ распределяется на два тепловых потока, создаваемых теплопроводностью $Q_{шт}$ и конвекцией $Q_{шк}$:

$$Q_{ш} = Q_{шт} + Q_{шк} . \quad (6)$$

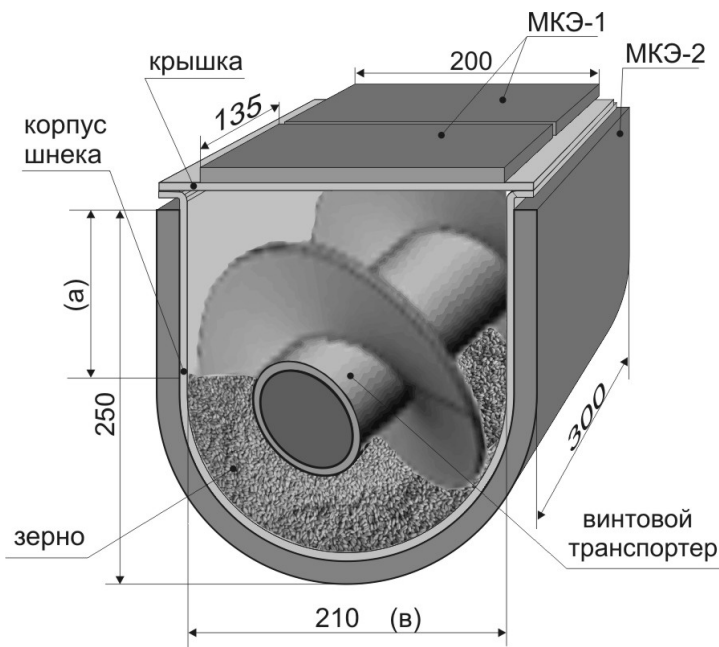


Рисунок 6 – Схема расположения электрообогревателей МКЭ на шнеке, размеры приведены в мм

Тепловая мощность $Q_{шт}$ за любой промежуток времени через площадь $S'_{шт}$ поверхности обогрева нижней части шнеков U – образными МКЭ определится уравнением теплопроводности:

$$Q_{шт} = 2S'_{шт} \sqrt{\frac{\lambda_{\text{э}} \rho c \tau}{\pi}} \Delta T', \quad (7)$$

где $\lambda_{\text{э}}$ – эквивалентная теплопроводность зерна, 0,16 Вт/м·К;

ρ – насыпная плотность, 800 кг/м³;

c – удельная теплоемкость зерна, Дж/(кг·К);

τ – время взаимодействия зерна с обогревающей поверхностью, с;

$\Delta T'$ – прирост температуры зерна за счет теплопередачи теплопроводностью, К.

Тепловую мощность $Q_{шк}$ определим согласно:

$$Q_{шк} = \alpha_K S''_{шт} \Delta T'', \quad (8)$$

где α_K – коэффициент теплопередачи нагретой поверхности шнека конвекцией, Вт/м²·К;

$S''_{ш}$ – площадь поверхности обогрева средней и верхней частей шнеков, м²;

$\Delta T''$ – приrost температуры зерна за счет теплопередачи конвекцией, К.

Расчет конвективного теплообмена представляет сложную задачу по определению коэффициента α_K , который в общем случае можно найти по формуле:

$$\alpha_K = \lambda Nu / l, \quad (9)$$

где λ – коэффициент теплопроводности на границе: подогретый воздух – зерно;

Nu – число Нуссельта (безразмерный коэффициент теплопередачи), характеризующее интенсивность теплоотдачи;

l – характерный линейный размер поверхности теплообмена.

Число Nu пропорционально плотности теплового потока q , которая является функцией многих переменных и зависит от линейных размеров поверхности теплообмена, скорости перемещения зерна, коэффициентов теплопроводности и температуропроводности и др. В связи с этим, коэффициент α_K для конкретных процессов теплообмена и определенной геометрии поверхностей теплообмена находят экспериментально или теоретически. Для горизонтальной поверхности, обращенной в сторону объекта обогрева, принимаем $\alpha_K = 2,15^4 \sqrt{\Delta T''}$. Таким образом, тепловую мощность $Q_{ш}$ определяем по формуле:

$$Q_{ш} = 2S'_{ш} \sqrt{\frac{\lambda_{э} \rho c \tau}{\pi} \Delta T'} + 2,15^4 \sqrt{\Delta T''} S''_{ш} \Delta T''. \quad (10)$$

Приrost температуры при шнековом подогреве составляет несколько градусов, поэтому принимаем равенство $\Delta T' = \Delta T'' = \Delta T_{ш}$. Тогда, для определения $Q_{ш}$ по формуле (10) необходимо найти поверхностные площади обогрева $S'_{ш}$ и $S''_{ш}$, а также время τ при заданном значении $\Delta T_{ш}$. Значение времени τ определим по формуле :

$$\tau = \frac{L}{tn}, \quad (11)$$

где L – длина шнеков, м;
 n – угловая скорость шнеков, мин^{-1} ;
 t – шаг шнека, м.

Значения $S'_{ш}$ и $S''_{ш}$ с учетом рисунка 6 и коэффициента $K_{зан}=0,3$ определим по формуле, полученной расчетным путём:

$$S'_{ш} \approx \frac{1}{3} 2\pi r_{ш} L; S''_{ш} = (2a + b)L. \quad (12)$$

Величины L , n , t , $r_{ш}$ определяются техническим заданием, исходя из условий технологического процесса.

В третьей главе приведена методика расчета и проектирования многоэлектродных композиционных электрообогревателей для системы подогрева зерна. На рисунке 7 приведены фотографии используемых электрообогревателей МКЭ: пластинчатые, размерами 620x200x10 мм и 200x135x10 мм и U – образный, диаметром 220 мм, размерами 300x250x12 мм.

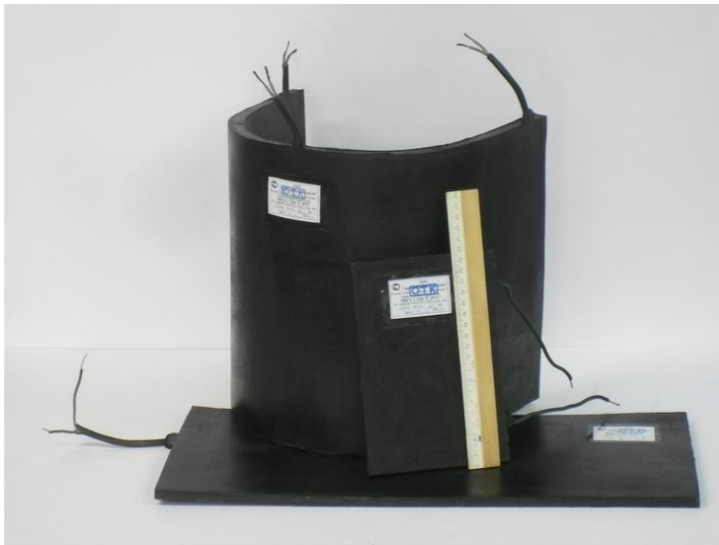


Рисунок 7 – Фотография пластинчатых и U – образного МКЭ для системы подогрева зерна

В общем виде температура на поверхности электрообогревателя связана с многочисленными электрическими и тепловыми параметрами, важнейшими из которых, как показано в работе, являются электрическая проводимость G_9 между электродами резистивного материала и тепловая проводимость G_T между резистивным материалом и телами, окружающими изоляционное покрытие. Для определения указанных проводимостей необходим выбор расчетной модели композиционного электрообогревателя; для пластинчатых электрообогревателей выбрана обобщенная схема, приведенная на рисунке 8, а на рисунке 9 расчетная схема U – образного МКЭ.

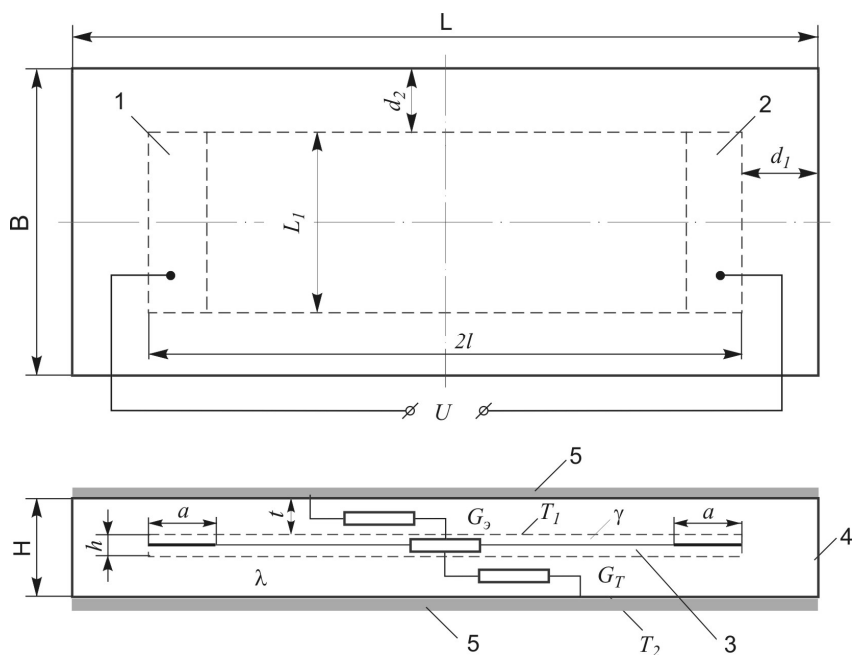


Рисунок 8 – Обобщенная схема пластинчатого электрообогревателя МКЭ с электродами, размещенными в резистивном материале:

1, 2 – электроды; 3 – резистивный материал;

4 – изоляционное покрытие; 5 – объект теплоотвода (зерно)

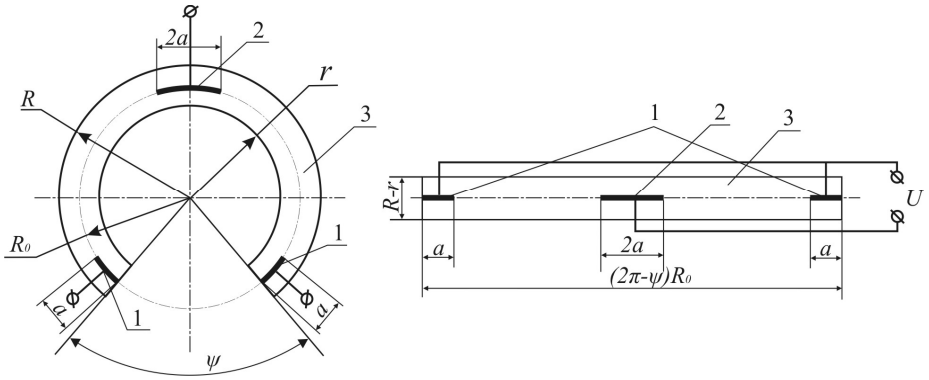


Рисунок 9 – Расчетная схема U – образного МКЭ – 2:

1 – низкопотенциальный электрод (ноль); 2 – высокопотенциальный электрод (фаза);
3 – резистивный материал

Получены выражения для определения удельной электропроводности для пластинчатого γ и γ' для U – образного электрообогревателя:

$$\gamma = \frac{\Delta T \cdot \lambda' \cdot \frac{4l}{H-h} \cdot (L_1 + 2l)}{\frac{h}{2l} \cdot \left[1 + \frac{a}{l} \left(1 - 0,44 \frac{h}{a} \right) \right] \cdot U^2 \cdot L_1} \quad (13)$$

$$\gamma' = \frac{\Delta T \cdot \lambda_3 \left[\frac{4(2\pi - \psi)r}{R-r} + \frac{8}{\left(\pi - \psi/2 \right)} \ln 2 - 4e^{\frac{\left(\pi - \psi/2 \right)(2\pi - \psi)(R-r)}{2(R-r)}} \right] \cdot [L_1 + (2\pi - \psi)r]}{\left\{ \frac{4(R_0 - r)}{\left(\pi - \psi/2 \right)r \left[1 - \frac{4(R_0 - r)}{\left(\pi - \psi/2 \right)^2 r} \ln sh \left(\frac{\left(\pi - \psi/2 \right) ar}{2R_0(R_0 - r)} \right) \right]} \right\} L_1} \quad (14)$$

Таким образом, в соответствии с техническим заданием тепловых и электрических параметров ΔT , λ' , $\Delta T''$, λ_{Σ} , U и геометрических размеров H , h , l , a , R_0 , R , r по формулам (13) и (14) можно рассчитать γ , γ' , а следовательно определить состав резистивного композиционного материала для пластинчатого и U – образного электрообогревателя.

Четвертая глава посвящена разработке системы подогрева зерна на основе многоэлектродных композиционных электрообогревателей. Выполненные исследования позволяют определить основные принципы построения энергоэффективной системы, включающей аппаратный и шнековый подогрев зерна (рисунок 10).

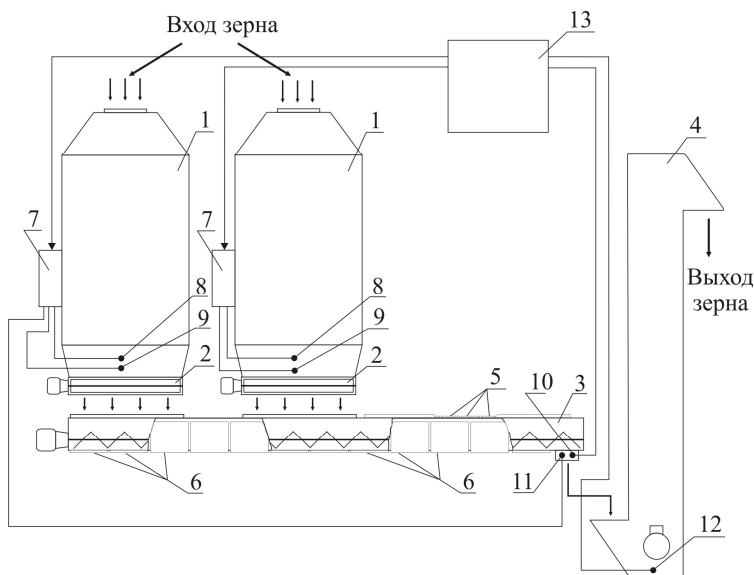
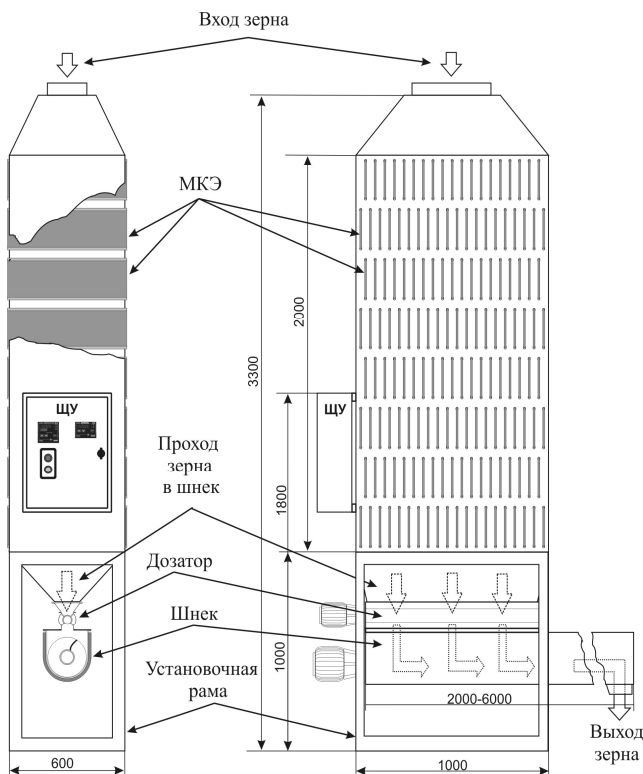


Рисунок 10 – Технологическая схема системы подогрева зерна

Согласно технологической схемы зерно из бункеров накопителей поступает на аппараты ЭАПЗ 1, затем, проходя через дозатор-распределитель 2, регулирующий производительность установки и выравнивающий поток движения зерна, подается на шнековый подогреваемый транспортер 3 и далее выгружается норией 4. Температура зерна контролируется датчиками 8 в ЭАПЗ и 10 на выходе шнека и регулируется терморегулятором, находящимся в щите управления 7, имеющим выход информации на головной компьютер 13. В нижней части ЭАПЗ на выходе шнека и на входе в норию

размещены датчики уровня 9, 11 и 12, контролирующие наличие зерна и отключающие систему обогрева при его отсутствии. На шнековом транспортере размещены пластинчатые 5 и U – образные МКЭ 6.

Общий вид разработанного ЭАПЗ приведен на рисунке 11.



В главе приведены инженерные расчеты пластинчатых и U – образного электрообогревателей согласно разработанных методик в главах 2 и 3, определены составы электроизоляционной и электропроводящих резиновых смесей для разных форм МКЭ. Теоретические исследования и практические расчеты показали сходимость результатов и подтверждаются тепловизионными экспериментами.

Рисунок 11 – Общий вид электрического аппарата подогрева зерна ЭАПЗ

Кроме того, разработана принципиальная электрическая схема системы подогрева зерна, которая обеспечивает автоматическое управление технологическим процессом и надежную защиту от токов короткого замыкания и токов утечки.

В Приложениях приведены экономические расчеты себестоимости разработанных МКЭ, эффективности системы подогрева зерна, а также дипломы полученные в результате выполнения работы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

Выполненные в диссертационной работе теоретические и экспериментальные исследования посвящены решению актуальной научно-технической задачи: разработке и внедрению энергоэффективных технологий и технических средств подогрева зерна на основе многоэлектродных композиционных электрообогревателей из бутылкаучука, позволяющих снизить энергоматериальные затраты и обеспечить качественные показатели для зернопереработки.

Решение комплексной задачи позволило теоретически обосновать и оформить в виде методик и рекомендаций по расчету способов и устройств контактного поверхностно-распределенного обогрева с учетом энергетических потоков аппаратного и шнекового подогрева зерна, а также сформулировать следующие научно-технические и практические результаты:

1 Выполненный анализ существующих технологий и технических средств подогрева зерна показал, что современные разработки в основном относятся к процессам сушки зерна, проблема же предварительного подогрева зерна продолжает оставаться актуальной и недостаточно изученной.

2 Определены основные требования к системам и техническим средствам подогрева зерна, включающие организацию высокотехнологичного подогрева зерна при снижении материалоемкости и эксплуатационных затрат; обеспечение надежности системы управления, позволяющей контролировать параметры технологического процесса.

3 Разработаны аппаратный и шнековый способы предварительного подогрева зерна, включающие методику расчета энергетических потоков при контактном способе обогрева на основе пластинчатых и U – образных многоэлектродных композиционных электрообогревателей.

4 Определены условия теплопередачи системы обогрева зерна, включающей теплообмен теплопроводностью, излучением и конвекцией, необходимые для инженерных расчетов электро-, теплофизических параметров пластинчатых и U – образных электрообогревателей МКЭ.

5 Выполненный тепло-, электротехнический расчет электрообогревателей МКЭ для аппаратного и шнекового подогрева зерна показал достаточную совместимость с теоретическими исследованиями (погрешность в расчетах составила не более 7%) и соблюдение условий энергетического баланса при различных способах теплопередачи.

6 Выбраны составы композиций изоляционной и токопроводящих резиновых смесей для пластинчатых и U – образных МКЭ и переданы для промышленного производства на ООО «ЭнергоЭффектТехнология».

7 Проведены тепловизионные исследования партии электрообогревателей, изготовленных для аппаратного и шнекового подогрева. Полученные результаты подтвердили теоретические и практические расчеты тепловой и электрической мощностей разработанных электрообогревателей и показали однородность их температурных полей.

8 Разработана принципиальная электрическая схема управления системой подогрева зерна, включающая автоматическое и компьютерное управление технологическим процессом, обеспечивающая надежность и электро-, пожаробезопасность за счет использования устройств защитного отключения.

9 Разработанная система подогрева зерна внедрена на предприятии ООО «ЭнергоЭффектТехнология» с экономическим эффектом 589 тыс. рублей на одну установку в год. Выданы рекомендации по использованию аппаратного и шнекового подогрева зерна на малых мельницах и в фермерских хозяйствах, удаленных от централизованного теплоснабжения.

Список основных публикаций по теме диссертационной работы:

В изданиях по перечню ВАК

1 Строков, М.Н. Расчет и проектирование систем подогрева зерна на основе композиционных электрообогревателей [Текст]/ М.Н. Строков // Вестник КрасГАУ. – Красноярск: КрасГАУ, 2008. – № 6. – С. 276–282.

2 Халина, Т.М., Разработка и применение систем обогрева счетчиков электроэнергии на основе многоэлектродных композиционных электрообогревателей для щитов учета на предприятиях АПК [Текст]/ Т.М. Халина, Г.А. Пугачев, М.Н. Строков // Ползуновский вестник. – 2005. – №2. – С. 89–94.

В других изданиях

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

4 Строков, М.Н. Особенности технологического процесса изготовления композиционных электрообогревателей пластинчатого типа [Текст]/ М.Н. Строков, Халин М.В., Халина Т.М. // Технические и физические проблемы энергетики (ТРЕ – 2002 -): сб. научн. статей 1-ой международной конференции памяти Ч.М. Джуварлы / Институт физики НАН Азербайджана. – Баку: NIRA, 2002. – С. 480–486.

5 Строков, М.Н. Измерение электрофизических характеристик электрообогревателей из композиционного материала [Текст]/ М.Н. Строков, М.В. Халин, Р.Н. Белоусов, А.В. Шилов, В.В. Каширин // Юбилейная 60-я научно-техническая конференция студентов, аспирантов и профессорско-преподавательского состава, посвященная 60-летию АлтГТУ: сб. научн. тр. – Барнаул: изд-во АлтГТУ, 2002. – С. 58–60.

6 Строков, М.Н. Особенности производства композиционных электрообогревателей цилиндрического типа [Текст]/ М.Н. Строков, Т.М. Халина, А.Б. Дорош // Электроэнергетика, электротехнические системы и комплексы: материалы международной научно-технической конференции / ТПУ – Томск: ТПУ, 2003. – С. 208–210.

7 Stkov, M.N. Methods of Electrical Conductance Mechanism Analysis of Filled Polymers on the Basis of Butyl Rubber [Текст]/ M.N. Stkov V.L. Tarabanov, M.V. Khalin, T.M. Khalina R.N. Belousov // Technical and Physical Problems in Power Engineering (TPE-2004): call of transactions of Second International Conference. – Tabriz, Iran, 2004. – P. 316–320.

8 Строков, М.Н. Система подогрева зерна на основе многоэлектродных композиционных электрообогревателей [Текст]/ М.Н. Строков, Халин М.В., Дорош А.Б., Литвиненко Г.А. // Энергетика: экология, надежность, безопасность: материалы 11-ой всерос. науч. –технич. конф./ ТПУ – Томск: ТПУ, 2005. – С. 162–166.

9 Теоретические и проектно-конструкторские разработки методов и средств локального обогрева на основе многоэлектродных композиционных электрообогревателей для АПК: отчет о НИОКР [Текст]/ М.Н. Строков, М.В. Халин, Т.М. Халина, А.Б. Дорош; ЭнергоЭффектТехнология – № ГР 01.20.0610998, инв. № 02.20.0705907, – ГК № 4414р/6815. – Барнаул, 2007. – 137с.

10 Разработка проектно-конструкторской документации для создания устройств и установок на основе многоэлектродных композиционных электрообогревателей для АПК: отчет о НИОКР [Текст]/ М.Н. Строков, М.В. Халин,

Т.М. Халина, А.Б. Дорош; ЭнергоЭффектТехнология – № ГР 01.20.0850719, инв. № 2, – ГК № 5922р/6815. – Барнаул, 2008. – 15с.

11 Энергоэффективная система подогрева зерна на основе многоэлектродных композиционных электрообогревателей [Текст]/ М.В. Халин, М.Н. Строков // Энергетические, экологические и технологические проблемы экономики (ЭЭТПЭ-2007) : материалы II всерос. науч. – практ. конф. с международным участием; под ред. Д.Д. Матиевского, П.К. Сеначина / АлтГТУ. – Барнаул: ОАО «Алтайский дом печати», 2008. – С. 138–142

12 Пат. 2351861 РФ, МПК F 26 В 17/12, F 26 В 23/04. Устройство для подогрева зерна [Текст]/ М.Н. Строков, Е.И. Востриков, Т.М. Халина, М.В. Халин – № 2007115960/06; заявл. 26.04.2007; опубл. 10.04.2009, Бюл. № 10.

13 Изготовление испытание аппарата подогрева зерна АПЗЭ – 01: отчет о НИОКР [Текст]/ М.В. Халин, Т.М. Халина, А.Б. Дорош, М.Н. Строков; ЭнергоЭффектТехнология – № ГР 01.20.0850719, инв. № 7, – ГК № 5922р/6815. – Барнаул, 2009. – 35 с.

Подписано в печать 19.05.2009. Формат 60х84 1/16.

Печать – цифровая. Усл.п.л. 1,39.

Тираж 100 экз. Заказ 2009 – 305.

Отпечатано в типографии АлтГТУ,
656038, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46
тел.: (8–3852) 36–84–61

Лицензия на полиграфическую деятельность

ПЛД №28–35 от 15.07.97 г.