

Машков Алексей Николаевич

**ОБОСНОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ И РЕЖИМНЫХ
ПАРАМЕТРОВ САМОРЕГУЛИРУЕМОЙ СИСТЕМЫ
ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ АППАРАТОВ ДЛЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ
ОБРАБОТКИ СЕЛЬХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ**

Специальность 05.20.02 – Электротехнологии и электрооборудование
в сельском хозяйстве

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства механизации
сельского хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена в государственном научном учреждении Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов Российской академии сельскохозяйственных наук (ГНУ ВНИИТиН Россельхозакадемии)

Научные руководители доктор технических наук, профессор
Шувалов Анатолий Михайлович

доктор технических наук, профессор
Зазуля Александр Николаевич

Официальные оппоненты: **Муромцев Дмитрий Юрьевич,**
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный
технический университет»/ заведующий кафедрой
«Конструирование радиоэлектронных и
микропроцессорных систем»

Михеев Николай Владимирович,
кандидат технических наук, доцент,
ФГБОУ ВПО «Мичуринский государственный
аграрный университет»/ декан инженерного
факультета

Ведущая организация: Государственное научное учреждение
Всероссийский научно-исследовательский
институт электрификации сельского хозяйства
(ГНУ ВИЭСХ)

Защита диссертации состоится «22» ноября 2013 г. в 10:00 часов на заседании диссертационного совета ДМ 220.041.03 при ФГБОУ ВПО «Мичуринский государственный аграрный университет» по адресу: 393760, Тамбовская область, г. Мичуринск, ул. Интернациональная, д. 101, корпус 1, зал заседаний диссертационных советов.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Мичуринский государственный аграрный университет»

Автореферат разослан «20» октября 2013 г. и размещен на сайтах www.vak.ed.gov.ru,
www.mgau.ru

Отзыв в 2-х экземплярах, заверенный и скрепленный гербовой печатью, просим направлять по адресу: 393760, Тамбовская область, г. Мичуринск, ул. Интернациональная, 101, диссертационный совет

Ученый секретарь диссертационного
совета ДМ 220.041.03,
кандидат технических наук, доцент



В.Ю. Ланцев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. За последние годы в сельском хозяйстве страны происходили серьезные изменения: формировались рыночные отношения между потребителями, производителями сельхозпродукции и посредническими организациями, появились фермерские хозяйства, основанные на частной собственности, резко снизилось производство сельхозпродукции в бывших колхозах, совхозах, упал жизненный уровень сельского населения.

В создавшихся экономических условиях с целью самовыживания сельское население увеличило выращивание скота у себя на подворье. Производство этой животноводческой продукции, сегодня достигает до 50% от ее общего производства.

Содержание скота связано с потреблением энергии, необходимой для приготовления кормов и переработки сельхозпродукции.

Наиболее доступными энергоносителями для крестьян является электроэнергия, что подтверждают проведенные обследования. Природным газом сельское население обеспечено не более чем на 28%.

Фермерские и личные подсобные хозяйства многоукладны. Для содержания скота, переработки животноводческой продукции и приготовления пищи требуется большой и разнообразный перечень техники, что создает большие трудности в энергообеспечении, так как требуется значительное количество различных по конструкции и мощности энергоисточников, оборудованных дорогостоящими и сложными средствами автоматики. В сельских больницах, школах, столовых сельхозпредприятий и других учреждениях применяют в основном энергозатратные промышленные электроплиты. Поэтому обеспечение крестьянских хозяйств агрегатами многоцелевого назначения с саморегулируемой системой энергообеспечения позволяющей значительно снизить расход энергии на термическую обработку сельскохозяйственной продукции, сократить затраты на приобретение и эксплуатацию энергоисточников и средств автоматизации является актуальной задачей.

Работа выполнена в рамках планов научно-исследовательских работ ГНУ ВНИИТиН по проблеме 09.: «Разработать высокоэффективные машинные технологии и технические средства нового поколения для производства конкурентоспособной сельскохозяйственной продукции, энергетического обеспечения и технического сервиса сельского хозяйства».

Цель работы – повышение эффективности термической обработки сельхозпродукции путем применения саморегулируемой системы энергообеспечения.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**:

1. Разработать конструктивно-технологическую схему аппаратов с саморегулируемой системой энергообеспечения.
2. Обосновать принцип саморегулирования мощности системы энергообеспечения аппаратов.

3. Провести теоретические исследования динамики энергетических и режимных параметров саморегулируемой системы энергообеспечения, минимизации мощности электропарогенератора.

4. Провести экспериментальные исследования энергетических и режимных параметров саморегулируемой системы энергообеспечения.

5. Провести опытно-производственную проверку аппаратов с саморегулируемой системой их энергообеспечения и определить энергетическую и экономическую эффективность их применения.

Объект исследований – процесс энергообеспечения варочных аппаратов.

Предмет исследования – закономерности изменения энергетических и режимных параметров саморегулируемой системы энергообеспечения варочных аппаратов.

Научная новизна работы:

- обоснованный принцип саморегулирования тепловых потоков и мощности в варочных аппаратах и электропарогенератора;
- математическое описание динамики энергетических и режимных параметров саморегулируемой системы энергообеспечения варочных аппаратов и мощности электропарогенератора;
- метод минимизации мощности саморегулируемой системы энергообеспечения в случае дефицита мощности в электросети;
- закономерности изменения энергетических и режимных параметров саморегулируемой системы энергообеспечения аппаратов и электропарогенератора.

Практическая значимость.

- конструктивно-технологическая схема аппаратов с саморегулированием мощности (патент № 2454911 РФ);
- обоснованные энергетические и режимные параметры саморегулируемой системы энергообеспечения аппаратов для термической обработки сельхозпродукций;
- алгоритм и методика выбора режимов работы различных аппаратов по критерию минимизации мощности электропарогенератора;
- методика расчета параметров пароконденсатопровода при противоточном движении пара и конденсата.

Апробация работы. Основные положения и результаты работы доложены и получили положительные отзывы на VIII международной научно-технической конференции «Энергосберегающие технологии в животноводстве и стационарной энергетике» (Москва, 2012); на международной научно-практической конференции (Тамбов, 2011) и годовых отчетах Всероссийского научно-исследовательского института использования техники и нефтепродуктов Россельхозакадемии (Тамбов, 2011-2013)

На защиту выносятся:

- обоснование принципа саморегулирования мощности электропарогенератора;

- конструктивно-технологическая схема аппаратов с саморегулируемой системой энергообеспечения без применения терморегулирующей и пусковой аппаратуры (патент № 2454911 РФ);
- математическая модель динамики энергетических и режимных параметров системы энергообеспечения аппаратов;
- результаты экспериментальных исследований энергетических и режимных параметров саморегулируемой системы энергоподвода;
- основные положения методики выбора режимов работы различных аппаратов по критерию минимизации мощности электропарогенератора;
- аналитические зависимости для определения конструктивных и режимных параметров пароконденсатопровода при противоточном движении пара и конденсата;
- оценка эффективности использования аппаратов для термической обработки сельхозпродукции с саморегулируемой системой энергообеспечения.

Научно-методической основой для обоснования параметров, создания аппаратов и его теоретических и экспериментальных исследований явились научные труды по теории и практике решения задач в области механизации и электрификации сельскохозяйственного производства ведущих ученых: Стребкова Д.С., Расстригина В.Н., Растимешина С.А., Тихомирова Д.А., Судаченко В.Н., Казимир А.П., Морозова Н.М., Сыроватки В.И., Бородин И.Ф., Рудобашты С.П., Гордеева А.С., Завражнова А.И., Дворецкого С.И., Калинина В.Ф., Шувалова А.М., Муромцева Д.Ю. и многих других научных деятелей.

Публикации. По результатам выполненных исследований опубликовано 15 научных работ, в том числе 5 в изданиях, рекомендованных ВАК РФ и одна – в описании патента на изобретение.

Структура и объем диссертации. Диссертация включает введение, 5 глав, общие выводы и список использованных источников из 160 наименований. Работа изложена на 150 страницах машинописного текста и содержит 27 таблиц, 37 рисунков и 10 приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показана актуальность темы диссертационной работы и дана общая характеристика работы.

В первой главе представлены результаты анализа технических средств энергообеспечения технологических процессов в крестьянских хозяйствах.

Проведенный анализ технических средств показывает, что для нужд крестьянского хозяйства отечественная и зарубежная промышленность выпускает разнообразное по устройству и принципу действия оборудование. Тем не менее, в литературе практически отсутствуют сведения об эффективных аппаратах многоцелевого назначения для энергообеспечения технологических процессов в многоукладных крестьянских хозяйствах.

На основании результатов аналитического обзора сформулированы цель и задачи исследований.

Во второй главе обоснована конструктивно-технологическая схема аппаратов с саморегулируемой системой энергообеспечения. Разработана математическая модель динамики энергетических и режимных параметров саморегулируемой системы энергообеспечения аппаратов и способ минимизации мощности электропарогенератора. Обоснованы параметры системы энергоподвода при противоточном движении пара и конденсата.

Определить мощность электропарогенератора и математически описать характер ее изменения можно решением уравнений теплового баланса, составленных на основе физической модели (рисунок 1)

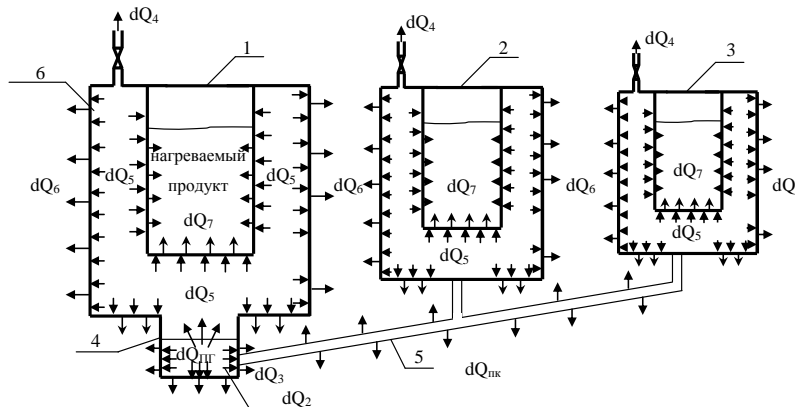


Рисунок 1 – Схема к расчету теплового баланса аппаратов многоцелевого назначения.

Весь процесс нагрева продукта в аппаратах проходит несколько этапов (рисунок 2).

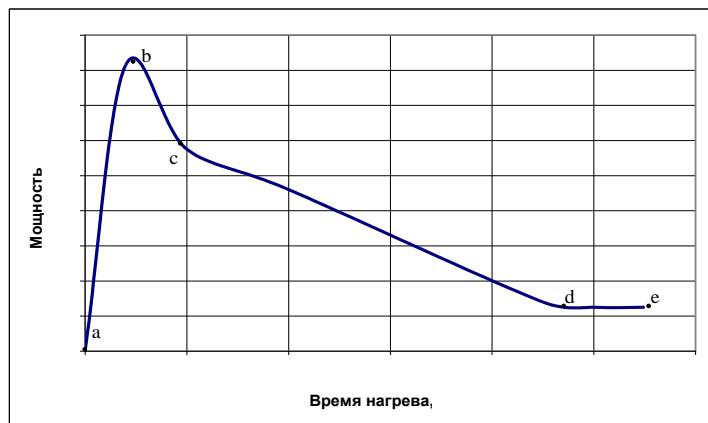


Рисунок 2 – Динамика мощности аппаратов многоцелевого назначения при разогреве продукта.

На этапе а-в происходит разогрев воды в электропарогенераторе, на этапе в-с рабочая вода закипает и образует пар, на этапе с-д от пара через стенки паровых рубашек разогревается продукт до кипения, а на этапе д-е обеспечивается компенсация различных теплопотерь от аппаратов.

На этапе а-в уравнение теплового баланса имеет вид:

$$dQ_{\text{ПГ(а-в)}} = dQ_1 + dQ_2 + dQ_3', \quad (1)$$

где $dQ_{\text{ПГ(a-b)}}$ – энергия, выделяемая в электропарогенераторе при подаче напряжения на электроды, Дж; dQ_1 – теплота на разогрев рабочей воды, Дж; dQ_2 – теплота, затрачиваемая на разогрев металлических частей электропарогенератора, Дж; dQ_3 – теплотери от кожуха электропарогенератора, Дж.

На этапе b-c тепловой процесс описывается уравнением:

$$dQ_{\text{ПГ(b-c)}} = dQ_3'' + \sum_{i=1}^n dQ_4 + \sum_{i=1}^n dQ_5 + \sum_{i=1}^n dQ_6' + dQ_{\text{ПК}}', \quad (2)$$

где $dQ_{\text{ПГ(b-c)}}$ – количество энергии, вырабатываемой в электропарогенераторе, Дж; dQ_3'' – потери энергии от кожуха электропарогенератора, Дж; dQ_4 – потери теплоты на продувку парового пространства в начальный период работы электропарогенератора, Дж; dQ_5 – энергия, идущая на нагрев от сконденсировавшегося пара паровой рубашки и ограждающих элементов конструкции аппаратов, Дж; dQ_6' – потери теплоты, Дж; $dQ_{\text{ПК}}'$ – потери теплоты через элементы конструкции пароконденсаторпровода в период его разогрева, Дж;

Тепловой баланс на этапе c-d:

$$dQ_{\text{ПГ(c-d)}} = dQ_3'' + \sum_{i=1}^n dQ_6'' + \sum_{i=1}^n dQ_7 + \sum_{i=1}^n dQ_{\text{ПК}}'', \quad (3)$$

где $dQ_{\text{ПГ(c-d)}}$ – тепловой поток электропарогенератора, Дж; dQ_7 – количество тепловой энергии, необходимой для нагрева продукта, Дж.

Тепловой баланс на этапе d-e отличается от этапа c-d лишь отсутствием затрат тепла на разогрев продукта.

Используя составляющие уравнений теплового баланса в развернутом виде, была разработана математическая модель динамики мощности и температуры продукта для различных этапов работы аппаратов.

На этапе a-b

$$P_{\text{ПГ}} = \frac{3 \cdot U_{\phi}^2}{R_{\text{B}}}, \quad R_{\text{B}} = \frac{40 \cdot \rho_{20} \cdot k_{\text{ЭГ}}}{h_{\text{Э}} \cdot (t_{\text{B}} + 20)}$$

$$dt_{\text{B}} = \left(\frac{\frac{3 \cdot U_{\phi}^2 \cdot h_{\text{Э}} \cdot (t_{\text{B}} + 20)}{40 \cdot \rho_{20} \cdot k_{\text{ЭГ}}} - \sum_{i=1}^n \alpha_{\text{Эi}} \cdot F_{\text{Эi}} \cdot (t_{\text{Эиср}} - t_{\text{O}})}{C_{\text{B}} \cdot m_{\text{B}} + \sum_{i=1}^n C_{\text{Эi}} \cdot m_{\text{Эi}}} \right) d\tau \quad (4)$$

На этапе b-c

$$P_{\text{ПГ}} = \frac{3 \cdot U_{\phi}^2}{R_{\text{B}}}, \quad R_{\text{B}} = \frac{40 \cdot \rho_{20} \cdot k_{\text{ЭГ}}}{h_{\text{Э}} \cdot (t_{\text{B}} + 20)} \quad (5)$$

На этапе c-d

$$\begin{aligned}
P_{\text{IIГ}} &= \frac{3 \cdot U_{\Phi}^2}{R_{\text{В}}}, R_{\text{В}} = \frac{\rho_{\text{кВ}} \cdot k_{\text{ЭГ}}}{\Delta h_{\text{Э}}}, \Delta h_{\text{Э}} = h_{\text{Э}} - h, dh = \frac{dv_{\text{ТР}}}{F_{\text{IIГ}}}, \\
dv_{\text{ТР}} &= F_{\text{ТР}} \cdot dh_{\text{ТР}}, dh_{\text{ТР}} = \frac{dP_{\text{И}}}{\rho_{\text{В}} \cdot g}, dP_{\text{И}} = \frac{R \cdot T_{\text{П}}}{dv_{\text{И}}} + \frac{R \cdot T_{\text{П}} \cdot S}{(dv_{\text{И}})^2} - \frac{D}{(dv_{\text{И}})^2}, \\
dv_{\text{И}} &= dv_{\text{П}} - v_{\text{Р}}, dv_{\text{П}} = \rho_{\text{П}}^{-1} \cdot dml \\
dml &= \left(\frac{3 \cdot U_{\Phi}^2 \cdot \Delta h_{\text{Э}}}{\rho_{\text{кип}} \cdot k_{\text{ЭГ}} \cdot r} - \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_{1i} \cdot F_{1i} \cdot (t_{1ik} - t_0) + \sum_{i=1}^n \alpha_{\text{э}i} \cdot F_{\text{э}i} \cdot (t_{\text{э}i} - t_0) + \sum_{j=1}^n k \cdot F_{\text{ап}} \cdot (t_{\text{П}} - t_{\text{пр}})}{r} \right) d\tau \\
dt_{\text{В}} &= \left(\frac{\frac{3 \cdot U_{\Phi}^2 \cdot \Delta h_{\text{Э}}}{\rho_{\text{кип}} \cdot k_{\text{ЭГ}} \cdot r} - \left(\sum_{i=1}^n \alpha_{1i} \cdot F_{1i} \cdot (t_{1ik} - t_0) + \sum_{i=1}^n \alpha_{\text{э}i} \cdot F_{\text{э}i} \cdot (t_{\text{э}i} - t_0) \right)}{C_{\text{в}} \cdot m_{\text{в}}} + \right. \\
&\quad \left. + \frac{C_{\text{к}} \cdot m_{\text{к}} \cdot (t_{\text{к}} - t_{\text{н}}) + \sum_{i=1}^n C_{\text{пк}} \cdot m_{\text{пк}} \cdot \frac{dt_{\text{пк}}}{d\tau} + \sum_{i=1}^n \alpha_{\text{пк}} \cdot F_{\text{пк}} \cdot (t_{\text{пксп}} - t_0)}{C_{\text{В}} \cdot m_{\text{В}}} \right) d\tau
\end{aligned} \tag{6}$$

Этап d-е

$$dml = \left(\frac{3 \cdot U_{\Phi}^2 \cdot \Delta h_{\text{Э}}}{\rho_{\text{кип}} \cdot k_{\text{ЭГ}} \cdot r} - \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_{1i} \cdot F_{1i} \cdot (t_{1ik} - t_0) + \sum_{i=1}^n \alpha_{\text{э}i} \cdot F_{\text{э}i} \cdot (t_{\text{э}i} - t_0) + \sum_{j=1}^n k \cdot F_{\text{ап}} \cdot (t_{\text{П}} - t_{\text{пр}})}{r} \right) d\tau \tag{7}$$

где $P_{\text{IIГ}}$ – потребляемая мощность электропарогенератора, Вт; U_{Φ} – фазное напряжение питающей сети, В; $R_{\text{В}}$ – сопротивление воды, Ом; ρ_{20} – удельное электрическое сопротивление воды при 20 °С, Ом·м; $t_{\text{В}}$ – температура рабочей воды в электропарогенераторе; $h_{\text{Э}}$ – высота электродов, погруженная в воду, м; $\alpha_{\text{э}i}$ – коэффициент теплоотдачи от i -го элемента электропарогенератора, Вт/(м²·°С); $F_{\text{э}i}$ – поверхность i -го кожуха электропарогенератора, м²; $t_{\text{э}i\text{ср}}$ – средняя температура i -го элемента конструкции установки, °С; t_0 – температура окружающей среды, °С; $C_{\text{В}}$ – удельная теплоёмкость воды, Дж/(кг·°С); $m_{\text{В}}$ – масса воды, кг; $m_{\text{э}i}$ – масса металлических частей электропарогенератора, кг; β – коэффициент учитывающий влияние парообразования на удельное электрическое сопротивление; $\Delta h_{\text{Э}}$ – изменение уровня заполнения электродов, м; $\rho_{\text{П}}$ – плотность пара, кг/м³; R – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К); A , B и C – постоянные коэффициенты; $\rho_{\text{В}}$ – плотность воды, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с²; $dh_{\text{ТР}}$ – высота трубопровода до расширительного бачка, м; $T_{\text{П}}$ – температура пара, К; $F_{\text{ТР}}$ – сечение трубы к расширительному бачку, м²; α_{1i} – коэффициент теплоотдачи элемента конструкции аппарата

окружающему воздуху, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$; $F_{\text{л1}}$ – поверхность ограждающего элемента конструкции аппарата, м^2 ; $t_{\text{л1ср}}$ – средняя температура конструкции аппарата, $^\circ\text{C}$, k – коэффициент теплопередачи через стенки аппарата, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$; $F_{\text{ап}}$ – площадь поверхности стенок аппаратов, м^2 ; $t_{\text{п}}$ – температура насыщения пара, $^\circ\text{C}$; $t_{\text{пр}}$ – средняя температура продукта, $^\circ\text{C}$; $j=1..n$ – количество аппаратов одновременно потребляющих пар; $\alpha_{\text{пк}}$ – коэффициент теплоотдачи от элемента конструкции пароконденсатопровода окружающему воздуху, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$; $F_{\text{пк}}$ – поверхность ограждающего элемента конструкции пароконденсатопровода, м^2 ; $m_{\text{в}}$ – масса воды заливаемой в варочную емкость; $C_{\text{в}}$ – удельная теплоёмкость воды, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$; $m_{\text{к}}$ – масса загружаемого продукта с начальной температурой $t_{\text{н}}$ и конечной $t_{\text{к}}$, кг ; $C_{\text{к}}$ – удельная теплоемкость сухого продукта, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$.

Решение систем уравнения с использованием специально разработанной программой Mathcad 13.0 дает возможность получить динамику потребляемой мощности и температуры продукта аппаратов (рисунок 3).

Из рисунка 3 следует, что после включения электропарогенератора мощность его возрастает до максимума за счет уменьшения удельного сопротивления воды при ее нагреве.

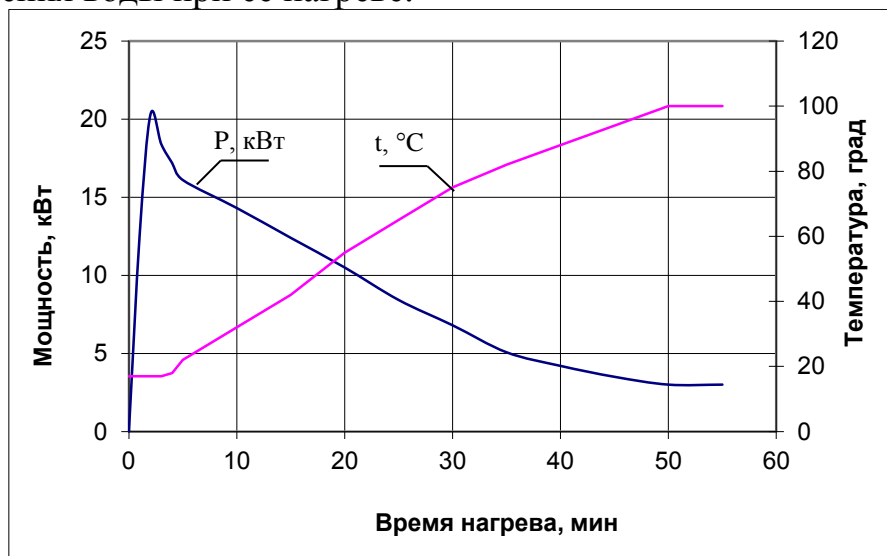


Рисунок 3 – Динамика мощности и температуры при разогреве продукта в аппарате 60л.

При наступлении дисбаланса между потребляемым тепловым потоком и мощностью электропарогенератора за счет начинающего снижения температурного напора на теплообменной поверхности аппарата, мощность электропарогенератора снижается. После нагрева продукта в аппаратах до кипения мощность электропарогенератора минимальная, почти не изменяется и расходуется на поддержание процесса кипения воды в аппарате и компенсацию теплотерь от разогретых металлических конструкций в окружающую среду.

Уменьшить пиковую мощность электропарогенератора можно двумя способами: 1) произвести сдвиг по времени момента включения аппаратов; 2) ограничить (срезать) пики потребляемых тепловых потоков, то есть заведомо выбрать мощность электропарогенератора меньше пиковой величины.

Для реализации первого способа мощность электропарогенератора не может быть меньше потребляемой пиковой мощности аппарата с

максимальной производительностью, то есть необходимо знать интервал времени между включениями.

При одной и той же поверхности теплообмена F аппарата «пик» теплового потока P_{\max} при каждом запуске его в работу будет одинаковым по амплитуде и по времени.

Если $F_1 < F_2 < F_3 < \dots < F_n$, то и $P_{\max 1} < P_{\max 2} < P_{\max 3} < \dots < P_{\max n}$

Для определения численных расчетов потребляемой мощности каждого аппарата используем формулы (4-7).

Следует отметить, что для аппарата одной и той же емкости, поверхность теплообмена, а, следовательно, масса и радиус его будут различными в зависимости от принятой высоты (глубины) варочной емкости. Ограничивающим фактором в данном случае является высота аппарата, которая должна быть принята из условий удобства выполнения работ по загрузке продукта на варку и выгрузке сваренного.

Исходя из практики использования различных варочных емкостей в существующих столовых, кафе были заданы расчетные величины высоты аппаратов. С учетом их для каждой варочной емкости определены рациональные поверхности теплообмена (рисунок 4).

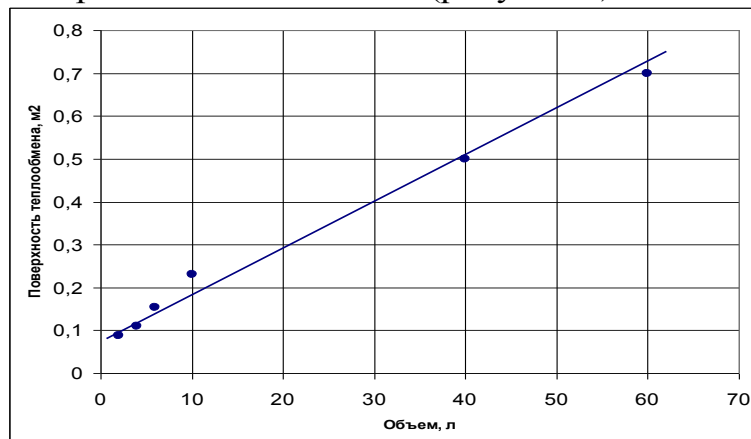


Рисунок 4 – Зависимость рациональной поверхности теплообмена в функции объема аппаратов.

Используя формулу (4) и подставляя в нее значения рациональных поверхностей теплообмена, получен график изменения пиковых потребляемых аппаратами мощностей (рисунок 5).

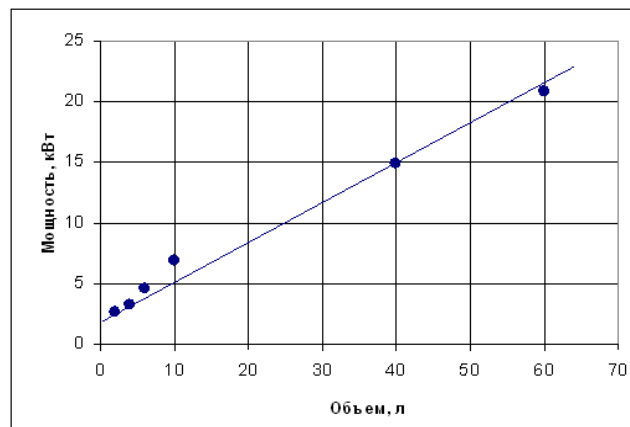


Рисунок 5 – Зависимость пиковой мощности в функции объема аппаратов.

Так как максимальная пиковая мощность соответствует наибольшему объему (производительности) варочного аппарата, то за основу при определении выдержки (интервала) включения очередного аппарата следует принять характер изменения потребляемого теплового потока этим аппаратом.

Используя зависимость $P_{\text{пик}}=f(V)$ и кривые графика рис. 5 получена номограмма (рисунок б), которая позволяет определить выдержки времени при различных вариациях включения аппаратов, не превышая при этом

$$P_{\text{пик}}^{60} \geq \sum_{i=1}^n P_i.$$

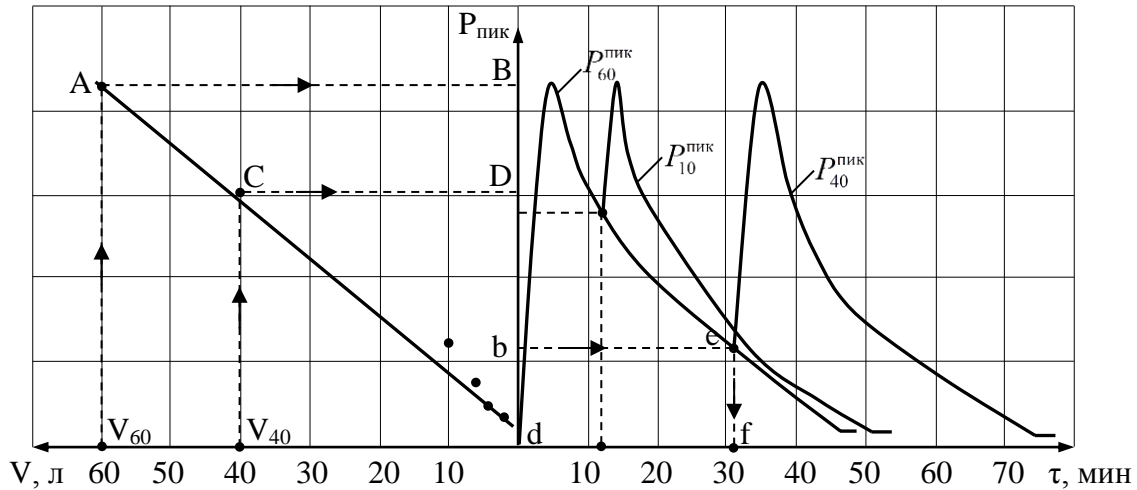


Рисунок б – Номограмма выбора рациональных режимов работы электропарогенератора.

Непременным условием обеспечения саморегулирования тепловых потоков во всех аппаратах без использования дорогостоящих и сложных средств автоматизации является противоточное движение пара и конденсата по одному и тому же пароконденсатопроводу (рисунок 7).

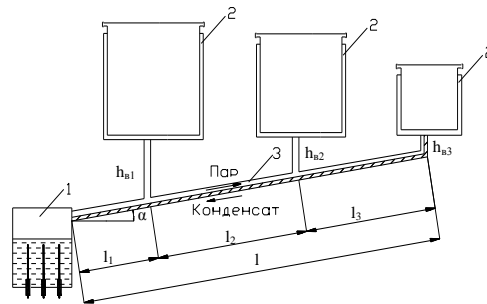


Рисунок 7 – Расчетная схема системы энергоподвода при противоточном движении пара и конденсата.

При подъемном движении пара и опускном движении конденсата в наклонном пароконденсатопроводе имеет место взаимодействие между ними.

Сечение пароконденсатопровода, обеспечивающее спокойное расслоение течения пара и конденсата (без «захлебываний») должно удовлетворять условию $S_{\text{пк}} > S_{\text{п}} + S_{\text{к}}$,

где $S_{\text{пк}}$ – внутреннее сечение пароконденсатопровода, м^2 ; $S_{\text{п}}$ – площадь сечения, необходимого для прохода пара, м^2 ; $S_{\text{к}}$ – площадь сечения, необходимого для стекания конденсата, м^2 .

Сечение, необходимое для прохода пара

$$S_{\text{п}} = \frac{V_{\text{п}}}{v_{\text{п}}}, \quad (8)$$

где $V_{\text{п}}$ – объемный расход пара, $\text{м}^3/\text{с}$; $v_{\text{п}}$ – скорость пара в пароконденсатопроводе, $\text{м}/\text{с}$.

Сечение, достаточное для стекания данного расхода конденсата:

$$S_{\text{к}} = \frac{V_{\text{к}}}{v_{\text{к}}}, \quad (9)$$

где $V_{\text{к}}$ – объемный расход стекающего конденсата, $v_{\text{к}}$ – скорость стекания конденсата.

Необходимый диаметр пароконденсатопровода:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot (S_{\text{п}} + S_{\text{к}})}{\pi}}, \quad (10)$$

Следует отметить, формула справедлива, если по всей длине l принят один и тот же диаметр пароконденсатопровода. Если же магистральный пароконденсатопровод состоит из отдельных участков (l_1, l_2, l_3) с различными их диаметрами, то сечение магистрального пароконденсатопровода на участке l_1 определяется.

$$S_{11} = \frac{V_{\text{п1}} + V_{\text{п2}} + V_{\text{п3}}}{v_{\text{п}}} + \frac{V_{\text{к1}} + V_{\text{к2}} + V_{\text{к3}}}{\sqrt{2 \cdot g \cdot l_1 \cdot \cos \alpha}}, \quad (11)$$

где $V_{\text{п1}}, V_{\text{п2}}, V_{\text{п3}}$ и $V_{\text{к1}}, V_{\text{к2}}, V_{\text{к3}}$ – объемный расход пара и конденсата на участках l_1, l_2, l_3 , $\text{м}^3/\text{с}$.

На участке l_2 сечение определяется по формуле (11) без учета составляющих $V_{\text{п1}}$ и $V_{\text{к1}}$.

Сечение пароконденсатопровода на участке l_3 определяется:

$$S_{13} = \frac{V_{\text{п3}}}{v_{\text{п}}} + \frac{V_{\text{к3}}}{\sqrt{2 \cdot g \cdot l_3 \cdot \cos \alpha}} \quad (12)$$

Определив сечения участков магистрального пароконденсатопровода S_{11}, S_{12}, S_{13} можно определить по формуле (10) их диаметры.

Следует отметить, что изменение угла наклона пароконденсатопровода с 5 до 45° увеличивает скорость движения конденсата в 2,8 раза. Однако из-за малой величины объемного расхода конденсата по отношению к объемному расходу пара диаметр пароконденсатопровода при изменении угла наклона с 5 до 45° почти не уменьшился (уменьшение диаметра на 0,19 мм).

В третьей главе представлена программа и методики экспериментальных исследований, а так же приведено описание экспериментального образца аппаратов многоцелевого с саморегулированием мощности (рисунок 8).



1 – электропарогенератор; 2 – запорная арматура, 3 – пароконденсатопровод; 4 – измеритель температур УКТ 38.

Рисунок 8 – Экспериментальный образец аппаратов многоцелевого назначения с саморегулированием мощности

Для измерения параметров использовались следующие приборы: измеритель температур УКТ 38, погрешность $\pm 0,5\%$, электрический счетчик «Меркурий-230», класс точности 1, комплект электроизмерительный К505, погрешность $\pm 0,5\%$, клещи тока DT266C, погрешность $\pm 3\%$, пирометр «Питон-102», погрешность $\pm 2\%$.

Обработка экспериментальных данных производилась в программах MathCAD, Curve Expert, Microsoft Excel.

В четвертой главе представлены результаты экспериментальных исследований саморегулируемой системы энергоподвода в режиме минимизации мощности электропарогенератора, динамики потребляемых тепловых потоков аппаратами, оценка параметров системы энергоподвода при противоточном движении пара и конденсата.

Экспериментальные исследования показали (рисунок 9, 10), что в начальный период разогрева «Пик» мощности электропарогенератора наступает при включенных аппаратах не зависимо от их объема (поверхности теплообмена) примерно в одно и тоже время – через 4 минуты



Рисунок 9 – Динамика потребляемого теплового потока аппаратом V_{60} (V_{60} – аппарат, ёмкостью 60 л).

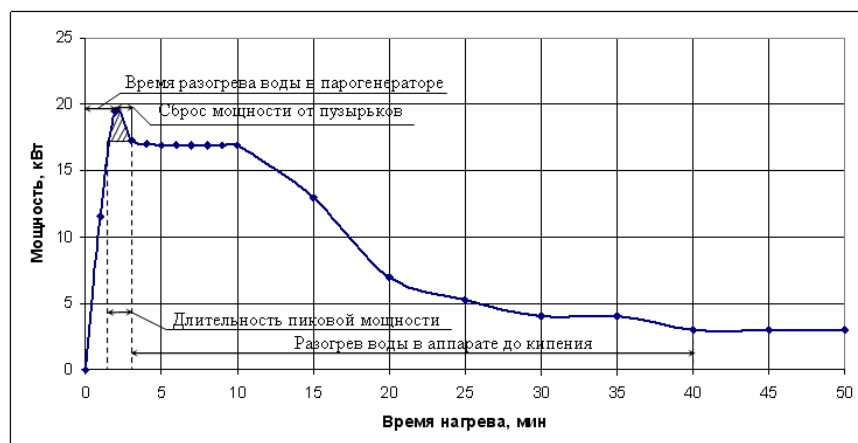


Рисунок 10 – Динамика потребляемого теплового потока аппаратом V_{40} (V_{40} – аппарат ёмкостью 40 л).

Это время требуется для нагрева до кипения воды, находящейся в электродной камере. После нагрева до кипения мощность резко уменьшается, то есть начинается интенсивное парообразование, электрическое сопротивление воды между электродами увеличивается за счет образовавшихся паровоздушной смеси.

Амплитуда пиковой мощности для аппаратов 60 и 40 л. составляет 20,5...22 кВт, для остальных аппаратов – 17...18 кВт. Сброс мощности за счет образования паровоздушной смеси почти во всех аппаратах длится около трех минут и составляет 25-30% от пиковой мощности электропарогенератора.

Так как потребляемая суммарная мощность одновременно включенных энергоемких аппаратов всегда больше, чем разновременно включенных, то возможен вариант снижения мощности электропарогенератора за счет сдвига во времени момента включения последующих аппаратов (рисунок 11).

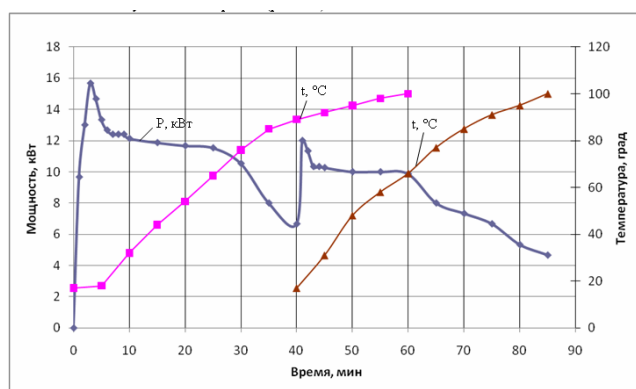


Рисунок 11 – Изменение тепловой нагрузки при включении аппарата V_{40} с выдержкой времени по отношению к V_{60} .

Из графика (рисунок 11) следует, что за счет сдвига времени включения второго аппарата (V_{40}) по отношению к первому на 40 минут (время 40 минут определено расчетом) мощность электропарогенератора не увеличилась и не превысила мощность электропарогенератора, работающего лишь на 1-й аппарат. При этом длительность разогрева воды до закипания в аппаратах увеличилась всего лишь на 5 минут по сравнению с отдельно работающими аппаратами: у V_{60} $\tau=60$ мин., у V_{40} $\tau=45$ мин, что вполне допустимо в производственных условиях.

В случае ограничения мощности энергосбытовой компанией или необходимую мощность не позволяет пропустить вводное устройство, исследованы режимы работы саморегулируемой системы энергоподвода с искусственным ограничением мощности электропарогенератора (рисунок 12).

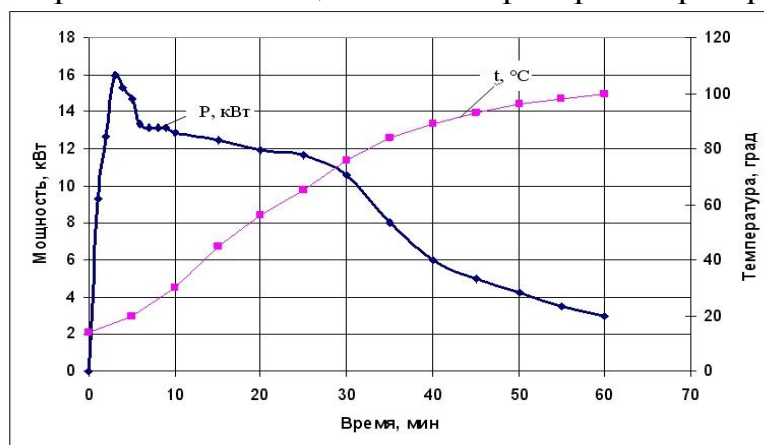


Рисунок 12 – Изменение потребляемого теплового потока аппаратом V_{60} и температуры воды с мощностью парогенератора 60% от P_n .

Результаты исследований показывали, что ограничение мощности электропарогенератора (на 40%) увеличило время протекания процесса нагрева воды до закипания всего лишь на 5 минут. То есть такое ограничение вполне допустимо и может быть использовано в практике при термической обработке сельхозпродукции.

Для получения математической зависимости влияния выбранных факторов системы энергоподвода (таблица 1) на процесс разогрева продукта был реализован некомпозиционный план второго порядка Бокса-Бенкина в виде полинома второй степени. Согласно рекомендациям, выбрана

повторность опытов равная 3. Для обеспечения равномерности внесения элемента случайности влияния неуправляемых и неконтролируемых факторов на отклик была использована рандомизация проведения опытов.

Таблица 1 – Уровни и интервалы варьирования факторов

| Факторы | Кодовое обозначение | Инт. варьирования | Уровни факторов | | |
|---|---------------------|-------------------|------------------|-----------------|----------------|
| | | | Основной уровень | Верхний уровень | Нижний уровень |
| Диаметр трубопровода d , дюйм | x_1 | 0,25 | 1/2 | 3/4 | 1/4 |
| Уклон к горизонтали α , ° | x_2 | 20 | 25 | 45 | 5 |
| Количество заливаемой в электропарогенератор воды V , л | x_3 | 1 | 5 | 6 | 4 |

В результате обработки опытных данных на ПК получено уравнение:

$$y = 13,97 - 2,75x_1 - 3,25x_2 - 1,49x_3 + 1,27x_1x_2 + 0,5x_2x_3 \quad (11)$$

Решая уравнение с использованием программы Mathcad 14.0, получим трехмерные графики изменения времени разогрева воды в аппарате от уклона к горизонтали и диаметра пароконденсатопровода при различном количестве заливаемой в электропарогенератор воды (рисунок 13).

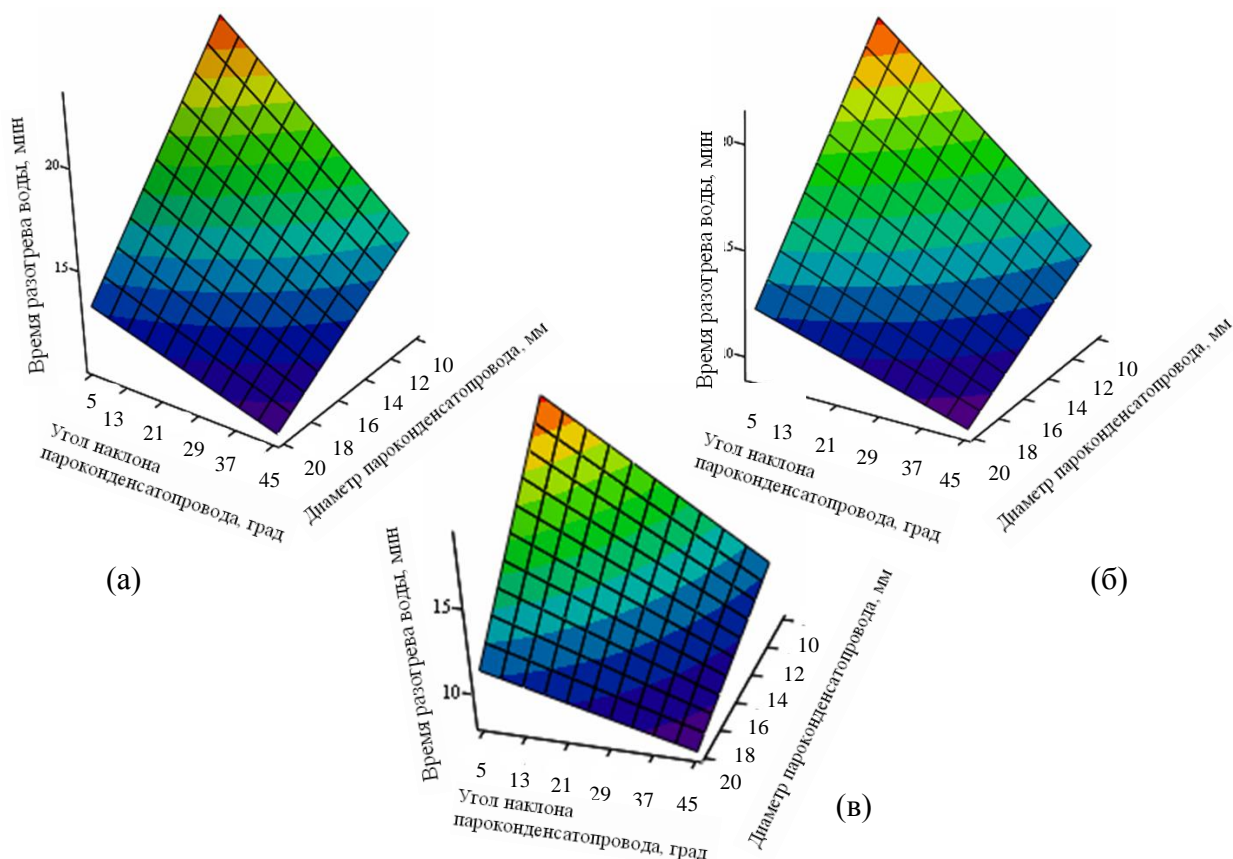


Рисунок 13 – Изменение времени разогрева воды в аппарате от уклона к горизонтали и диаметра пароконденсатопровода при объеме воды в электропарогенераторе: а) 4 л.; б) 5 л.; в) 6 л.

Анализ трехмерных графиков (рис. 4) позволил определить, что наименьшее время на разогрев продукта затрачивается при большем объеме воды в электропарогенераторе 6 л. (рис. 4.(в)). Как видно из этого графика (рис. 4 (в)) с увеличением диаметра и уклона к горизонтали пароконденсатопровода время разогрева продукта уменьшается. Так при угле наклона пароконденсатопровода 5° и диаметре пароконденсатопровода 0,25 дюймов потребуется 19,25 мин. для разогрева воды в аппарате многоцелевого агрегата, а при угле наклона пароконденсатопровода 45° и диаметре пароконденсатопровода 0,75 дюймов потребуется 8,25 мин., что на 43% меньше.

Используя выше полученные результаты исследования определены диаметры пароконденсатопровода к каждому аппарату (таблица 2).

Таблица 2 – Диаметры пароконденсатопроводов

| Аппараты | Диаметр по результатам исследований | Стандартный диаметр многоцелевого агрегата | |
|-----------------|-------------------------------------|--|----|
| | мм | дюйм | мм |
| V ₆₀ | 40 | 1,5 | 40 |
| V ₄₀ | 36,36 | 1,5 | 40 |
| V ₁₀ | 22,93 | 1 | 25 |
| V ₆ | 18,71 | 1 | 25 |
| V ₄ | 15,85 | 3/4 | 20 |
| V ₂ | 14,16 | 3/4 | 20 |

В пятой главе приведены результаты производственных испытаний и технико-экономическая оценка применения аппаратов с саморегулируемой системой энергообеспечения, эксплуатируемых в СПК «Комсомолец» и колхозе им. Ленина Тамбовской области. Производственные испытания подтвердили перспективность и эффективность использования аппаратов многоцелевого назначения, который имеет высокую надежность в работе, прост в техническом обслуживании и ремонте.

Оценка экономической эффективности применения аппаратов показала, что годовой экономический эффект составляет 14931,7 руб.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Обоснована функциональная схема саморегулируемой системы энергообеспечения аппаратов, позволяющая без сложных и дорогостоящих средств автоматизации, за счет протекающих тепло-массообменных процессов изменить индивидуально в каждом аппарате тепловые потоки пропорционально тепловому напору. При этом электропарогенератор регулирует в реальном времени интегрированную тепловую нагрузку параллельно работающих аппаратов.

2. Разработана математическая модель динамики энергетических параметров саморегулируемой системы энергообеспечения с учетом особенностей тепло- и массообменных процессов, происходящих в аппаратах многоцелевого назначения, решение которой позволяет выявить

характер изменения мощности электропарогенератора и температуры продукта.

3. По результатам исследований тепловых нагрузок варочных аппаратов, пиковой мощности электропарогенератора обоснованы способы снижения его установленной мощности: 1. включение энергоемких аппаратов с выдержкой времени до 40 минут; 2. принудительное ограничение мощности электропарогенератора до 60% от P_n .

4. В результате экспериментальных исследований установлено, что номинальная (разрешенная) мощность электропарогенератора саморегулируемой системы энергоподвода может быть принята в широком диапазоне от 17 до 7 кВт в зависимости от того, какую мощность может отпустить энергосбытовая компания.

5. Доказано, что при противоточном движении пара и конденсата в одном и том же трубопроводе основное влияние на величину сечения и диаметра пароконденсатопровода оказывает объемный расход пара, а из-за малой величины объемного расхода конденсата при самотечном его движении и при изменении угла наклона на 5-45° пароконденсатопровода диаметр увеличивается всего лишь на 0,19 мм.

6. Обоснованы параметры (сечение, диаметры) пароконденсатопроводов саморегулируемой системы энергоподвода для теплоэнергоснабжения каждого аппарата. Захлебывания при движении пара и конденсата не наблюдается, при использовании пароконденсатопровода с диаметром 40 мм для аппаратов объемом 60 и 40 л, 25 мм для аппаратов объемом 10 и 6 л, 20 мм для аппаратов объемом 4 и 2 л и при угле наклона его от 15 до 45°.

8. Производственные испытания подтвердили работоспособность, надежность и эффективность применения аппаратов многоцелевого назначения, а технико-экономический расчет показал, что применение аппаратов окупается за срок 2,53 года.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ОТРАЖЕНО В СЛЕДУЮЩИХ ПУБЛИКАЦИЯХ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК

1. Машков, А.Н. Многоцелевая энерготехнологическая установка для крестьянских хозяйств [Текст]/ А.Н. Машков, А.М. Шувалов, В.Ф. Калинин, К.А. Набатов// Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2010. – № 5. – с. 20-22.

2. Машков, А.Н. Многофункциональная энерготехнологическая установка [Текст]/ А.Н. Машков, А.М. Шувалов// Сельский механизатор. – 2010. – № 12. – с. 23.

3. Машков, А.Н. Минимизация мощности аппаратов многоцелевой энерготехнологической установки [Текст]/ А.Н. Машков, А.М. Шувалов, В.Ф. Калинин, К.А. Набатов// Техника в сельском хозяйстве. – 2011. – № 3. – с. 16-18.

4. Машков, А.Н. Расчет параметров энерготехнологического агрегата [Текст]/ А.Н. Машков, А.Н. Зазуля, А.М. Шувалов, К.А. Набатов// Механизация и электрификация сельского хозяйства // – 2011. – № 9. – с. 18-19.

5. Машков, А.Н. Экспериментальные исследования энергетических показателей многоцелевого агрегата для термической обработки сельхозпродукции [Текст]/ А.Н. Машков// Труды Всероссийского научно-исследовательского технологического института ремонта и эксплуатации машинно-тракторного парка (ГОСНИТИ). – М.: ГОСНИТИ, т. 111, ч. 1. – 2013. – С. 62-66.

Изобретения и полезные модели

1. Патент №2454911 Российская Федерация. МПК А47J27/17. Пищеварочная линия. / Шувалов А.М., Зазуля А.Н., Набатов К.А., Машков А.Н.; заявитель и патентообладатель ГНУ ВНИИТиН Россельхозакадемии. – №2011107747/12, заяв. 28.02.2011; опубл. 10.07.2012. Бюл. №19. – 5 с.: ил.

Публикации в сборниках докладов и материалах международных научно-практических конференций

1. Машков, А.Н. Использование многоцелевого энергетического аппарата в режиме отопления крестьянского дома [Текст]/ А.Н. Машков, А.М. Шувалов, В.Ф. Калинин, К.А. Набатов// Сборник научных трудов ГНУ ВНИИТиН, Выпуск 16 – Тамбов: ГНУ ВНИИТиН – 2011. – с. 391-393.

2. Машков, А.Н. Энергосбережение удалением накипи [Текст]/ А.Н. Машков, А.М. Шувалов, А.Н. Зазуля, А.С. Решетов, Т.Н. Дементьева// Сборник научных трудов ГНУ ВНИИТиН, Выпуск 16 – Тамбов: ГНУ ВНИИТиН. – 2011. – с. 394-396.

3. Машков, А.Н. Способы снижения неравномерности загрузки парогенератора в момент закипания воды [Текст]/ А.Н. Машков// Сборник научных трудов ГНУ ВНИИТиН, Выпуск 16 – Тамбов: ГНУ ВНИИТиН. – 2011. – с. 397-398.

4. Машков, А.Н. Влияние выдержки времени включения варочных аппаратов на мощность электропарогенератора [Текст]/ А.Н. Машков, А.М. Шувалов, А.Н. Зазуля, К.А. Набатов// Труды 8-ой Международной научно-технической конференции «Энергосберегающие технологии в животноводстве и стационарной энергетике». – М.: ГНУ ВИЭСХ, ч.3. – 2012. – с. 202-207.

5. Машков, А.Н. Экспериментальные исследования саморегулируемой системы энергоподвода к варочным аппаратам многоцелевого агрегата [Текст]/ А.Н. Машков, А.М. Шувалов, А.Н. Зазуля, К.А. Набатов// Труды 8-ой Международной научно-технической конференции «Энергосберегающие технологии в животноводстве и стационарной энергетике». – М.: ГНУ ВИЭСХ, ч.3. – 2012. – с. 211-215.

6. Машков, А.Н. Расчет тепловых процессов саморегулируемой системы энергоподвода к аппаратам многоцелевого агрегата [Текст]/ А.Н.

Машков// Труды 8-ой Международной научно-технической конференции «Энергосберегающие технологии в животноводстве и стационарной энергетике». – М.: ГНУ ВИЭСХ, ч.3. – 2012. – с. 207-211.

7. Машков, А.Н. Оценка энергоэффективности многофункциональной установки для крестьянских хозяйств [Текст]/ А.Н. Машков, А.М. Шувалов, А.Н. Зазуля, К.А. Набатов// Международная научно-практическая конференция «Инженерно-техническое обеспечение регионального машиноиспользования и сельхозмашиностроения». – Благовещенск: ГНУ ДальНИИМЭСХ. – 2011. – с. 74-78.

8. Машков, А.Н. Энергетическая оценка системы энергоподвода к аппаратам многоцелевого агрегата для термической обработки сельхозпродукции [Текст]/ А.Н. Машков, А.М. Шувалов, К.А. Набатов// Сборник научных трудов ГНУ ВНИИТиН, Выпуск 17 – Тамбов: ГНУ ВНИИТиН. – 2013. – с. 228-232.

Публикации в других изданиях

1. Машков, А.Н. Исследование системы энергообеспечения многоцелевого агрегата при противоточном движении двухфазовых сред [Текст]/ А.Н. Машков// Инновации в сельском хозяйстве. – 2013 –№2. – с. 9-12.

Отпечатано ИП Першиным Р.В.
Тамбов, Советская, 21, а/я №7.

Подписано в печать 17.10.2013. Заказ № 171013-01.
Печать электрографическая. Бумага офсетная. Гарнитура Times.
Формат 60x90/16. Объем 1,2 усл.печ.л. Тираж 100 экз.