

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПРЯМОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ

М.В. Белова¹, М.А. Ершов², И.Г. Ершова³, Д.В. Поручиков⁴

¹АНО ВО Академия технологии и управления

РФ 428000, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. Гастелло, д. 6/40

тел.: +7(919)653-88-18

²ФГБОУ ВПО Чувашская государственная сельскохозяйственная академия (ЧГСХА)

РФ 428003, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 29

тел.: +7(352)62023034

³ФГБОУ ВПО Чувашский государственный педагогический университет им. И.Я. Яковлева (ЧГПУ)

РФ 428000, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 38

тел.: +7(352)62-53-57

⁴ООО «МИКОНТ»

РФ 428000, Чувашская Республика, г. Чебоксары, пр-т Мира, 1

тел.: +7(352)30-42-29; e-mail: eig85@yandex.ru

doi: 10.15518/isjaee.2015.19.013

Заключение совета рецензентов: 09.10.15 Заключение совета экспертов: 16.10.15 Принято к публикации: 23.10.15

Основными элементами устройства для прямого преобразования тепловой энергии в электрическую являются: газовый котел, термоэлектрические генераторные модули, контур отопления, электронный трехходовой кран, аккумулятор и элементы автоматики.

Корпус отопительного котла является горячим теплообменником и служит для установки термоэлектрического генераторного модуля и холодного теплообменника. Термоэлектрический генераторный модуль устанавливается между холодным и горячим теплообменниками. Холодный теплообменник охлаждается теплоносителем контура отопления, а горячий теплообменник нагревается от корпуса отопительного котла.

Устройство для прямого преобразования тепловой энергии в электрическую предназначено для использования в индивидуальных жилищных строениях, расположенных как в городской черте, так и в сельской местности.

Ключевые слова: термоэлектрический преобразователь, термоэлектрический генераторный модуль, прямое преобразование тепловой энергии в электрическую.

SYSTEM FOR DIRECT CONVERSION OF THERMAL ENERGY INTO ELECTRICAL ENERGY

M.V. Belova¹, M.A. Ershov², I.G. Ershova³, D.V. Poruchikov⁴

¹ Academy of Technology and Management

6/40 Gastello st., Cheboksary, Chuvash Republic, 428000 Russian Federation

ph.: +7(919)653-88-18

² Chuvash State Agriculture Academy

29 Karl Marks st., Cheboksary, Chuvash Republic, 428003 Russian Federation

ph.: +7(352)62-23-34

³ Chuvash State Pedagogical University named after I.Y. Yakovlev

38 Karl Marks st., Cheboksary, Chuvash Republic, 428000 Russian Federation

ph.: +7(352)62-53-57

⁴ Ltd MIKONT

1 Mira ave., Cheboksary, Chuvash Republic, 428000 Russian Federation

ph.: +7(352)30-42-29, e-mail: eig85@yandex.ru

doi: 10.15518/isjaee.2015.19.013

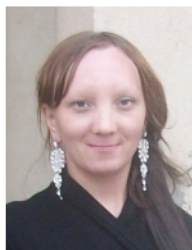
Referred 9 October 2015 Received in revised form 16 October 2015 Accepted 23 October 2015

The main elements of this unit are the gas boiler and the thermoelectric generator modules (TEGM), heating circuit, electronic three-way valve, the consumer battery and automation components.

The housing of the boiler is a hot heat exchanger, and serves for the installation of the heat exchanger and cold TEGM. TEGM is installed between the cold and hot heat exchangers. The cold heat exchanger is cooled heating circuit and the hot heat exchanger is heated by the boiler casing.

Thus, during the heating season, individual housing located in urban areas and in rural areas, using the device in their boilers, can receive and use cheap electricity.

Keywords: thermoelectric transformer, thermoelectric generator modules, direct transformer of thermal energy into electrical energy.



Белова Марьяна
Валентиновна
Maryana V. Belova

Сведения об авторе: канд. техн. наук., доцент АНО ВО «Академия технологии и управления».

Образование: ФГБОУ ВПО «Чувашская государственная сельскохозяйственная академия».

Область научных интересов: энергия электромагнитных излучений, резонаторные камеры, переработка продукции животноводства.

Публикации: 225.

Information about the author: PhD (engineering), assistant professor of Academy of Technology and Management.

Education: Chuvash State Agricultural Academy.

Research area: energy of electromagnetic radiation, the resonator chamber, processing of animal products.

Publications: 225.



Ершов
Михаил Аркадьевич
Michail A. Ershov

Сведения об авторе: канд. хим. наук, проректор по общим вопросам, ФГБОУ ВО «Чувашская государственная сельскохозяйственная академия».

Образование: ФГБОУ ВПО «Чувашский государственный педагогический университет им. И.Я. Яковлева».

Область научных интересов: неорганическая химия, органическая химия, энергосбережение.

Публикации: 270.

Information about the author: PhD (chemistry), Vice Rector for general questions of Chuvash State Agricultural Academy.

Education: I.Ya. Yakovlev Chuvash State Pedagogical University.

Research area: inorganic chemistry, organic chemistry, energy savings.

Publications: 270.



Ершова
Ирина Георгиевна
Irina G. Ershova

Сведения об авторе: канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВПО «Чувашский государственный педагогический университет им. И.Я. Яковлева».

Образование: АНО ВО «Чебоксарский кооперативный институт (филиал) Российского университета кооперации».

Область научных интересов: возобновляемые источники энергии, энергия электромагнитных излучений, энергосбережение.

Публикации: 131.

Information about the author: PhD (engineering), assistant professor of I.Ya. Yakovlev Chuvash State Pedagogical University.

Education: Cheboksary Cooperative Institute (branch) of Russian University of Cooperation.

Research area: renewable energy, the energy of electromagnetic radiation, energy saving.

Publications: 131.



Поручиков
Дмитрий Витальевич
Dmitrii V. Poruchikov

Сведения об авторе: младший научный сотрудник АНО ВО «Академия технологии и управления».

Образование: ФГБОУ ВПО «Чувашская государственная сельскохозяйственная академия».

Область научных интересов: энергия электромагнитных излучений, резонаторные камеры, мясомассажер, термообработка.

Публикации: 44.

Information about the author: Jr researcher of Academy of technology and management.

Education: Chuvash State Agricultural Academy.

Research area: energy of electromagnetic radiation, the resonator chamber, meat massager, heat treatment.

Publications: 44.

Введение

В настоящее время одним из приоритетов энергетической политики является повышение эффективности использования энергетических ресурсов с помощью разработки и внедрения инновационных энергосберегающих устройств, а также технологических решений.

В соответствии с законом «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности» № 261-ФЗ от 23.11.2009 г. и Распоряжения Правительства РФ «Энергетическая стратегия России на период до 2030 года» № 1715-р от 13.11.2009 необходимо расширить применение энерго-, ресурсосберегающих технологий и оборудования. Запасов нефти по разным оценкам хватит на 30–70 лет, поэтому следует повышать эффективность использования энергетических ресурсов за счет альтернативных, в том числе возобновляемых, источников энергии.

В связи с этим для социально-экономического развития Чувашской Республики рассмотрены пути решения проблемы энергосбережения – разработка и внедрение энергосберегающих технологий в сельское хозяйство.

Задачи исследования:

1. Обоснование параметров и режимов работы энергосберегающей установки на базе теплового насоса с использованием возобновляемых источников энергии, теоретическое обоснование применения возобновляемых источников энергии в сельском хозяйстве и разработка схемы управления потоком энергоносителя в преобразователе низкочастотного источника энергии на базе теплового насоса в системе поддержания микроклимата картофелехранилища.

2. Разработка алгоритма согласования режимов работы модернизированных электрических регуляторов теплового насоса с контролируемыми и регулируемыми параметрами микроклимата картофелехранилища.

3. Создание энергосберегающих схем установок с модернизированным тепловым насосом на возобновляемых источниках энергии.

4. Оценка технико-экономической эффективности внедрения энергосберегающих технологий в сельское хозяйство Чувашской Республики.

Исследование закономерностей технологических процессов выполнено на основе научной гипотезы о возможности описания поведения электродинамических систем при обеспечении поточного режима термообработки сырья, реализованного в СВЧ-установках с передвижными сферическими резонаторами. Применительно к проблематике использован комплекс существующих базовых методов исследования, позволивших сконструировать рабочие органы СВЧ-установок в виде изобретенных авторами данной статьи сферических передвижных резонаторных камер, расположенных в экранирующем корпусе с заперделными волноводами.

Теоретическая часть

Авторами настоящей статьи разработаны установки на базе теплового насоса с использованием возобновляемых источников энергии, а также установки с использованием сверхвысокочастотной энергии.

Теория построена на использовании известных положений диэлектрического нагрева СВЧ-диапазона, элементов теории электродинамических систем СВЧ-установок и распространения электромагнитных волн в объемных резонаторах.

Разработка резервного питания блока управления энергосберегающей системы путем прямого преобразования тепловой энергии в электрическую [2] представлено ниже.

Основными источниками энергии в энергоресурсосберегающей установке [1] являются: возобновляемый источник энергии (ВИЭ), в том числе солнечная энергия, низкочастотный источник энергии грунта (НПИЭ) и искусственный источник (ИИЭ) (рис. 1).

В качестве ИИЭ используется газовый котел 35.

Установка работает следующим образом. При работе системы на ВИЭ кнопка 31 эксплуатационного пульта управления запускает процесс.

На блоки сравнения 21, 24 начинают поступать сигналы от датчиков температуры 20 и 23. Сигналы рассогласования поступают на блок управления 19.

Если в датчике температуры 20 температура теплоносителя равна 90 °С, то блок управления 9 подает ток на регулятор 16. В тепловом насосе 3 повышает температуру теплоносителя до 80 °С, а отработавшая низкопотенциальная энергия возвращается обратно в НПИЭ 2.

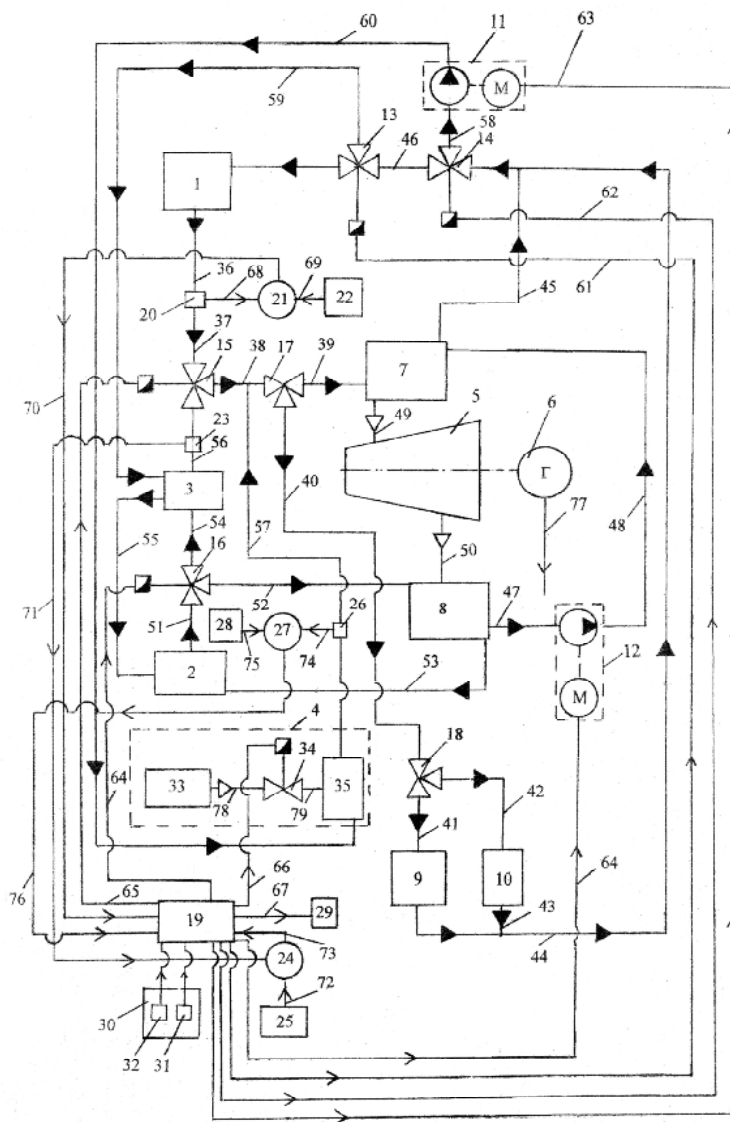


Рис. 1. Принципиальная схема энергоресурсосберегающей установки
1 – источник солнечной тепловой энергии; 2 – низкопотенциальный источник энергии; 3 – тепловой насос; 4 – искусственный источник тепловой энергии; 5 – турбина; 6 – генератор; 7 – испаритель; 8 – конденсатор; 9 – объект отопления; 10 – абсорбционная холодильная машина; 11, 12 – электрические насосы; 13, 14, 15, 16, 17, 18 – электрические регуляторы; 19 – блок управления; 20, 23, 26 – датчики температуры; 21, 24, 27 – блок сравнения; 22, 25, 28 – задатчики; 29 – сигнализатор; 30 – эксплуатационный пульт управления; 31 – переключатель ВИЭ; 32 – переключатель ИИЭ; 33 – газовый баллон; 34 – электромагнитный клапан; 35 – газовый котел; 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60 – каналы теплоносителей; 47, 48, 49, 50 – каналы низкокипящего вещества; 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67 – каналы подачи электроэнергии; 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76 – каналы подачи электрических сигналов; 77 – канал передачи электроэнергии потребителю; 78, 79 – каналы подачи газа в котел

Fig. 1. Scheme of energy saving installation

Теплоноситель с повышенным давлением поступает в электрический регулятор 15, в электрический регулятор 17 и в испаритель 7, куда одновременно поступает низкокипящее рабочее вещество в виде жидкости. В испарителе 7 происходит испарение низкокипящего рабочего вещества. Далее пар поступает в турбину 5, где часть энергии рабочего вещества с помощью турбины 5 с генератором 6 преобразуется в электрическую энергию. Отработавший пар поступает в конденсатор 8, превращается в жидкость, которая поступает в испаритель 7. А теплоноситель низкопотенциальной энергии возвращается в НПИЭ 2. Отработанный теплоноситель после объекта отопления 9 и абсорбционной холодильной маши-

ны (АБХМ) 10 поступает в электрический регулятор 14, а затем возвращается в тепловой насос 3.

Если температура теплоносителя в канале 36 выше 90 °С, тогда в блоке сравнения 21 формируется сигнал рассогласования. При этом теплоноситель из источника солнечной энергии 1 подается в испаритель 7 и на объект отопления 9, и в АБХМ 10. Аналогично в испарителе 7 происходит испарение низкокипящего вещества и его превращение в пар. Далее рабочий пар поступает к турбине 5, где часть энергии рабочего пара с помощью генератора 6 преобразуется в электрическую энергию, которая направляется к потребителю.

Если в источнике солнечной энергии 1 и тепловом насосе 3 установится температура ниже 50 °С, то блок управления 19 подает энергию на сигнализатор 29. При этом запускается работа котельной установки на ИИЭ.

Теплоноситель поступает в котел 35 и нагревается. При температуре выше заданного значения блок сравнения 27 с помощью сигнала на блок управления 19 управляет подачей электроэнергии на электромагнитный клапан 34, тем самым регулируя работу котла 35 и обеспечивая получение необходимой температуры теплоносителя, который направляется в

испаритель 7, на объект отопления 9 и в АБХМ 10. Отработавший теплоноситель циркулирует по замкнутому контуру и цикл повторяется.

Для аварийных случаев разработано устройство для прямого преобразования тепловой энергии в электрическую с использованием электрического регулятора с твердым наполнителем и электронагревателем [2].

Устройство для прямого преобразования тепловой энергии в электрическую изображено на рис. 2.

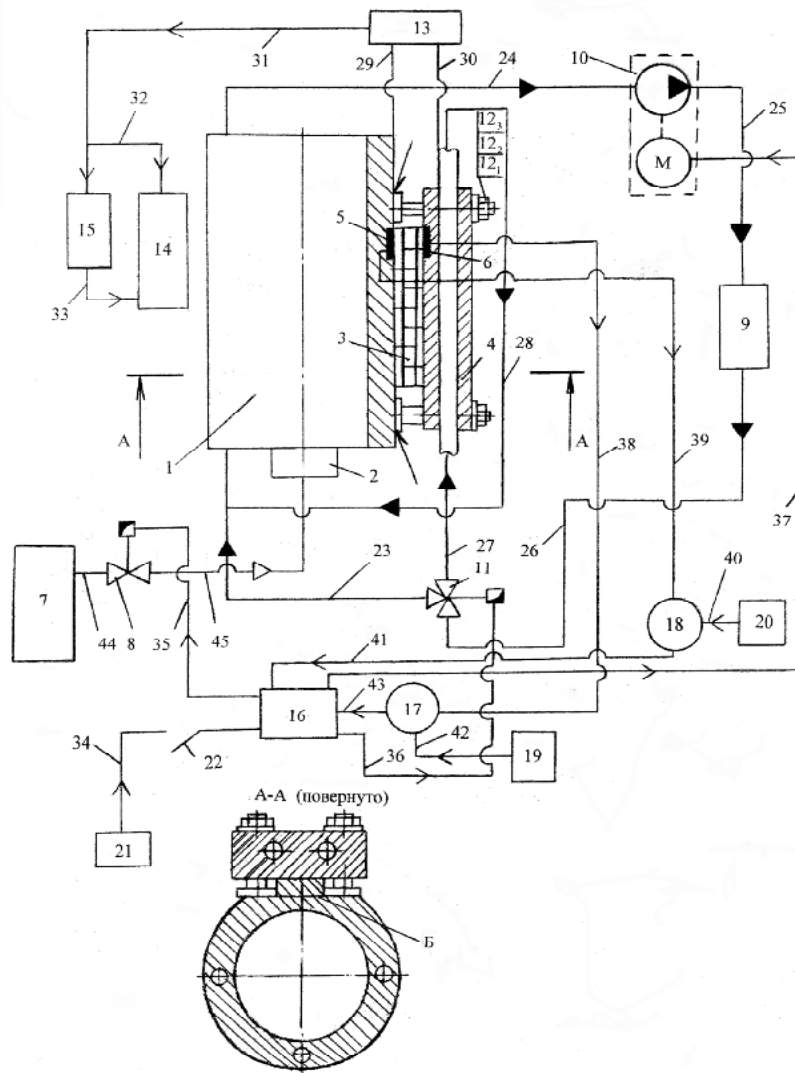


Рис. 2. Устройство для прямого преобразования тепловой энергии в электрическую:

- 1 – корпус отопительного котла; 2 – горелка; 3 – термоэлектрические генераторные модули; 4 – холодный теплообменник; 5, 6 – датчики горячих и холодных спаев; 7 – газовый баллон; 8 – электромагнитный вентиль; 9 – объект отопления; электрический; 10 – циркуляционный насос; 11 – электронный трехходовой кран; крепежные элементы: 12₁ – винт, 12₂ – гайка, 12₃ – шайба; 13 – преобразователь напряжения; 14 – потребитель; 15 – аккумулятор; 16 – блок управления; 17, 18 – блок сравнения; 19, 20 – датчики; 21 – пульт питания; 22 – переключатель; 23, 24, 25, 26 – каналы отопления; 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37 – каналы электроэнергии; 38, 39, 40, 41, 42, 43 – каналы электрических сигналов; 44, 45 – каналы подачи газа

Fig. 2. A device for direct conversion of thermal energy into electrical energy

На наружной поверхности горячего теплообменника 1 крепится сточенная плоская площадка Б,

предназначенная для установки термоэлектрического генераторного модуля 3 (ТЭГМ) и плотного соедине-

ния теплообменников 1, 4. Кроме того, на этой поверхности при помощи сварки соединяются головки винтов 12₁. В горячем теплообменнике 1 выполнены отверстия для циркуляции теплоносителя контура отопления.

Горячие спаи ТЭГМ 3 нагреваются от теплообменника 1, а холодные спаи термоэлектрического генераторного модуля 3 охлаждаются от теплообменника 4.

Электронный трехходовой кран 11 регулирует поток теплоносителя контура отопления в зависимости от температуры холодных спаев термоэлектрического генераторного модуля 3.

Устройство для прямого преобразования тепловой энергии в электрическую работает следующим образом. Включается переключатель 22, при этом электромагнитный клапан 8 приводится в действие, и газ подается в горелку 2. Одновременно электроэнергия подается в электрический насос 10, который заставляет циркулировать теплоноситель замкнутого контура отопления. Также приводится в действие электронный трехходовой кран 11, который в зависимости от разности температур $\Delta T = T_{гор} + T_{хол}$ ($T_{гор}$ – температура горячих спаев ТЭГМ; $T_{хол}$ – температура холодных спаев ТЭГМ) контролирует подачу требуемого количества теплоносителя в холодный теплообменник 4. При этом теплоноситель контура отопления в результате теплообмена охлаждает холодный теплообменник 4, холодные спаи термоэлектрического генераторного модуля 3 и электронный трехходовой кран 11 – процесс циркуляции теплоносителя контура отопления продолжается.

Аналогично контролируется температура горячих спаев ТЭГМ 3, т.е. сигнал от датчика температуры 5 подается в блок сравнения 18, сюда же поступает сигнал от задатчика 20. В то же время если, например, $T_{гор} > T_{ном}$ ($T_{ном}$ – номинальная температура горячих спаев ТЭГМ), то сигнал рассогласования подается по каналу 41 в блок управления 16, который подачей электроэнергии на электромагнитный клапан 8 уменьшает подачу газа в горелку 2, и тем самым температура горячего теплообменника 4 уменьшается.

При работе устройства на горячих спаях ТЭГМ 3 происходит поглощение теплоты от горячего теплообменника 1, а с холодной стороны теплота отводится теплоносителем контура отопления за вычетом электроэнергии, полученной на внешней нагрузке. На внешней нагрузке в преобразователе напряжения 13 создается напряжение, равное термо-ЭДС, за вычетом падения напряжения и внутреннего сопротивления, электроэнергия подается потребителю 14 и в аккумулятор 15 – происходит накопление электроэнергии. Полученная электроэнергия в аккумуляторе 15 используется потребителем 14 при нерабочем состоянии устройства.

Механизм реализации проекта

Исследование коммерциализуемости научно-технического результата проекта и его практической значимости, проводимое на территории Чувашской Республики, показало, что промышленные и сельскохозяйственные предприятия нуждаются в данных установках. Некоторые предприятия (ООО «Агрофирма «Слава картофелю», СХПК «Ударник», Чебоксарский филиал ОАО Компании ЮНИМИЛК) дали предварительное согласие на приобретение данного оборудования, так как оценили эффективность использования возобновляемых источников энергии. Данный проект можно внедрять как на территории Чувашской Республики, так и в других регионах Российской Федерации. В роли потребителя могут выступать частные фирмы и инфраструктурные объекты, которым необходимо экономить электрическую и тепловую энергию.

В настоящее время предприятий, выпускающих подобные установки в РФ, недостаточно (например, компания «Светоч» в Приморском крае). Сегодня конечная стоимость «под ключ» 1 Вт в крупной солнечной электростанции составляет 125 руб./Вт, к 2030 г. – до 32 руб./Вт. При этом стоимость вырабатываемой такой станцией электроэнергии сегодня составляет 13 руб./кВт-час, к 2030 году – до 1,8 руб./кВт-час.

Новые технические свойства позволяют получить преимущества в эффективности перед прямыми и косвенными аналогами и прототипами, так как данная установка позволяет получать одновременно электрическую энергию, теплоту и холод.

Себестоимость установки опытного образца 1 млн. 900 руб., серийного образца 1 млн. 600 тыс.

Также авторами разработаны установки с использованием нетрадиционных источников энергии (кроме установок на солнечной энергии) – с использованием сверхвысокочастотной (СВЧ) энергии, в том числе – установка для термообработки мясного сырья [3], после проведения анализа электрофизических параметров которого [4] обоснованы электро-технологические процессы и техническое решение СВЧ-установки.

Методология и методы исследований

Для экспериментальных исследований применялись сертифицированные электроизмерительные цифровые приборы и аппаратура, обеспечивающие достаточную точность результатов, стандартная методика оценки воспроизводимости эффективных режимов работы установок, численные методы решения задач при теоретической разработке математических моделей процессов термообработки сырья. Подтверждение закономерностей динамики нагрева сырья в передвижных резонаторах достигается по



натуральной величине критериев оценки факторов в процессе апробирования СВЧ-установок в производственных условиях. При обосновании электротехнологических процессов и технических решений использована единая система взаимодействия основных узлов установки: источник СВЧ-излучения, объемный резонатор, запредельные волноводы, замедляющие и экранирующие элементы. В исследованиях применялась методика активного планирования трехфакторного эксперимента типа 2^3 и статистическая обработка результатов исследования с применением компьютерных программ Microsoft Excel 10.0, Statistic 5.0, трехмерного моделирования конструктивного исполнения СВЧ-установок в программе Компас-3D V13. В работе обосновываются методы расчета и конструирования объемных резонаторов, в том числе особенности проектирования установок с передвижными сферическими резонаторами СВЧ-генераторов.

В качестве *основных факторов*, влияющих на процесс термообработки кускового мясного сырья (таблица 1), выбраны:

– масса загрузки сырья в резонаторную камеру G , кг (x_1);

– продолжительность обработки сырья в электромагнитном поле сверхвысокой частоты τ , ч (x_2);
– частота вращения барабана n , об/мин (x_3).

Выбор интервалов варьирования факторов обусловлен технологическими условиями процесса термообработки сырья и конструктивными характеристиками электромеханического мясомассажера. Все изучаемые факторы были совместимы и некоррелированы между собой (рисунки 3, 4, 5, 6), а пределы их изменения были следующими: (x_1) $2 \leq G \leq 10$ кг; (x_2) $0,5 \leq \tau \leq 1,5$ ч; (x_3) $13 \leq n \leq 33$ об/мин.

Критериями оптимизации являются:

Y_1 – производительность установки, кг/ч;

Y_2 – доза воздействия, кВт·ч/кг;

Y_3 – бактериальная обсемененность сырья, КОЕ/г

Y_4 – энергетические затраты на термообработку сырья, кВт·ч/кг.

Абсолютная величина фактора на любом уровне определяется по следующей формуле: $X = \frac{x_i - x_{io}}{\Delta x_i}$, где x_i – значение фактора на основном (нулевом) уровне; Δx_i – интервал варьирования фактора.

Таблица 1

Уровни варьируемых факторов

Table 1

Values of varied factors

Факторы	Кодовое значение	Интервал варьирования	Уровни факторов		
			Основной уровень	Верхний уровень	Нижний уровень
Масса загрузки сырья, кг	x_1	4	6	10	2
Продолжительность обработки, ч	x_2	0,5	1	1,5	0,5
Частота вращения барабана, об/мин	x_3	10	23	33	13

В исследованиях пользовались методикой активного планирования трехфакторного эксперимента типа 2^3 и статистической обработкой результатов исследования с применением компьютерной про-

граммы Statistic 5.0, при помощи которой вводились данные из таблицы 1.

Результаты, выданные программой, представлены ниже.

Final loss: 0,000004331 R=1,0000 Variance explained: 100,00 %

	B0	B1	B2	B3	B11	B22	B33	B12	B13	B23	без x	с x	с y
Estimate	7,071861	2,999901	-18,1375	-0,13366	6,51E-07	8,002521	7,29E-06	-1,99994	3,47E-06	0,266622	4,001499	2,99998	-12,0052

$$z = 4,0 + 2,99x_1 - 12,0x_2 + 0,000000651 x_1^2 + 8,00 x_2^2 - 1,99x_1x_2$$

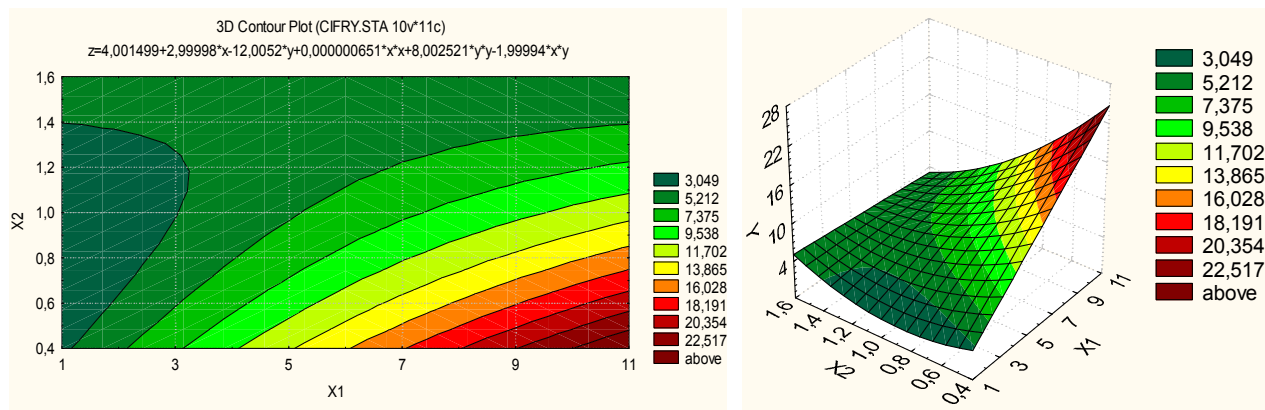


Рис. 3. Двумерные сечения в изолиниях и поверхность отклика трехфакторной модели производительности электромеханического мясомассажера (кг/ч) при частоте вращения барабана 23 об/мин

Fig. 3. Two dimensional sections in isolines and response surface models of three-factor model of productivity

Варьируя параметрами (массой загрузки сырья, продолжительностью обработки) построены двумерные сечения в изолиниях и поверхность отклика

трехфакторной модели производительности электромеханического мясомассажера при частоте вращения барабана 23 об/мин. (рис. 3).

Final loss: 0,000000091 R = 1,0000 Variance explained: 100,00 %

	B0	B1	B2	B3	B11	B22	B33	B12	B13	B23	без x	с x	с y
Estimate	0,426	-0,111	0,370	-0,00795	0,0067	0,00127	-1,8E-06	-0,04	0,00134	2,58E-16	0,242	-0,08	0,370

$$Z = 0,242 - 0,08005 x_1 + 0,370 x_2 + 0,00667 x_1^2 + 0,00127 x_2^2 - 0,04 x_1 \cdot x_2$$

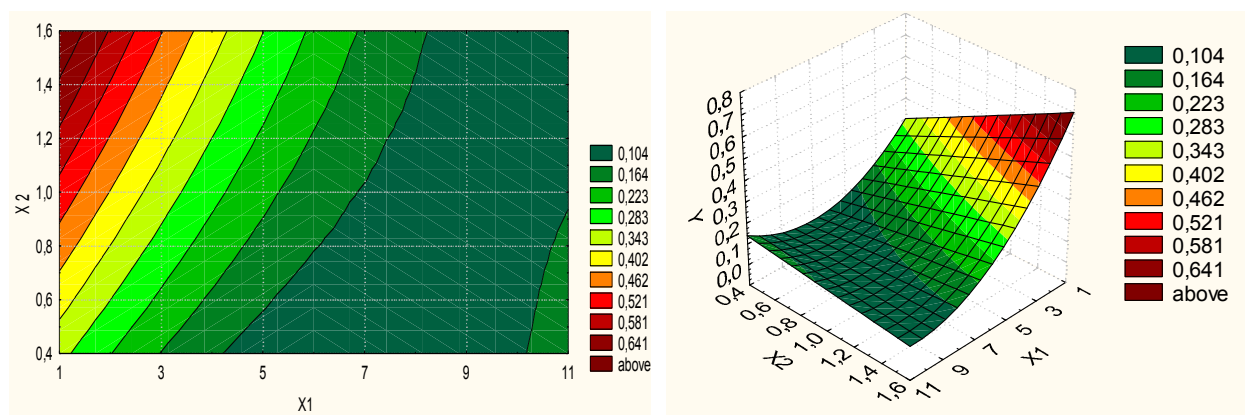


Рис. 4. Двумерные сечения в изолиниях и поверхность отклика трехфакторной модели дозы воздействия (кВт·ч/кг, 800 Вт) ЭМП СВЧ на мясное сырье при частоте вращения барабана 23 об/мин.

Fig. 4. Two dimensional sections in isolines and response surface models of three-factor model of dose exposure

Варьируя параметрами (массой загрузки сырья, продолжительностью обработки) построены двумерные сечения в изолиниях и поверхность отклика трехфакторной модели дозы воздействия электро-

магнитного поля сверхвысокой частоты (ЭМП СВЧ) на мясное сырье при частоте вращения барабана 23 об/мин (рис. 4).

Final loss: 12111,363636 R = 0,99299 Variance explained: 98,604 %

	B0	B1	B2	B3	B11	B22	B33	B12	B13	B23	без x	с x	с y
Estimate	285,3	90,39	-322,95	28,93	-5,28	154,54	-0,663	-7,5	2,14	-22,5	599,54	139,66	-840,46

$$Z = 599,54 + 139,66 x_1 - 840,45 x_2 - 5,28 x_1^2 + 154,54 x_2^2 - 7,5 x_1 x_2$$

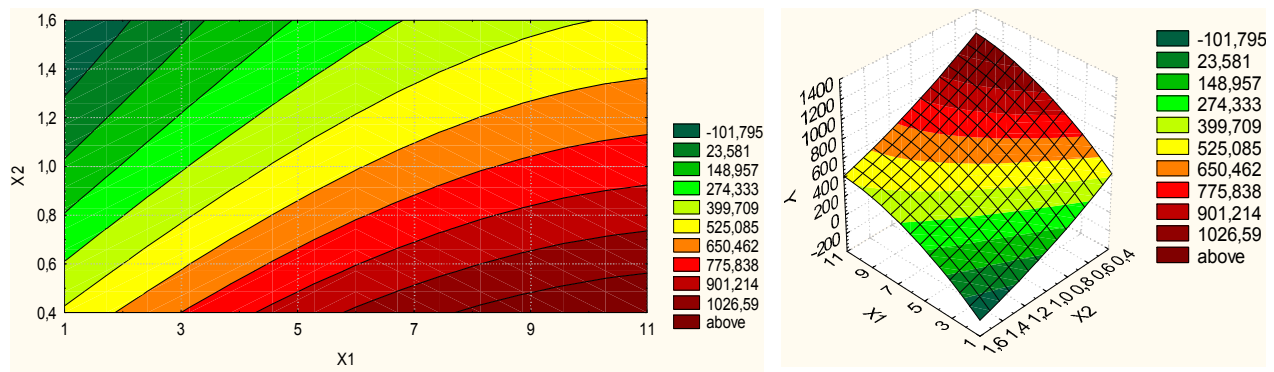


Рис. 5. Двумерные сечения в изолиниях и поверхность отклика трехфакторной модели энергетических затрат на процесс термообработки мясного сырья (кВт·ч/кг, 800 Вт) в электромеханическом мясомассажере при частоте вращения барабана 23 об/мин.

Fig. 5. Two dimensional sections in isolines and response surface models of three-factor model of energy expenditures

Варьируя параметрами (массой загрузки сырья, продолжительностью обработки) построены двумерные сечения в изолиниях и поверхность отклика трехфак-

торной модели энергетических затрат на процесс термообработки мясного сырья (кВт·ч/кг, 800 Вт) при частоте вращения барабана 23 об/мин (рис. 5).

Final loss: 2784,0909091 R = 0,99802 Variance explained: 99,605 %

	B0	B1	B2	B3	B11	B22	B33	B12	B13	B23	без x	с x	с y
Estimate	1025,42	6,84	-771,77	-3,13	-2,045	292,73	-0,318	-7,5	4,09	-13,5	785,23	100,79	-1082,27

$$z = 785,23 + 100,795 x_1 - 1082,27 x_2 - 2,045 x_1^2 + 292,73 x_2^2 - 7,5 x_1 x_2$$

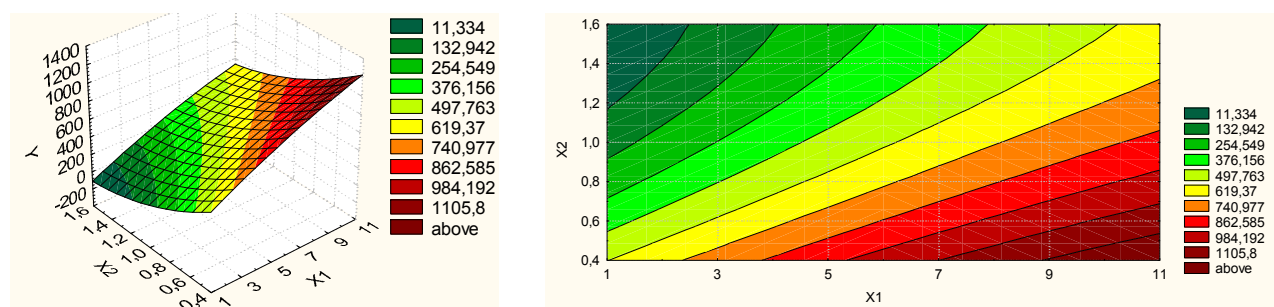


Рис. 6. Двумерные сечения в изолиниях и поверхность отклика трехфакторной модели изменения общего микробного числа (КОЕ/г) в мясном сырье при воздействии ЭМП СВЧ

Fig. 6. Two dimensional sections in isolines and response surface models of three-factor model of changes in total count

Варьируя параметрами (массой загрузки сырья, продолжительностью обработки) построены двумерные сечения в изолиниях и поверхность отклика трехфакторной модели изменения общего микробного числа (КОЕ/г) в мясном сырье при воздействии ЭМП СВЧ (рис. 6).

На основе экспериментальных данных составлены конструктивные и технологические схемы разработанных и апробированных в производственных условиях установок для термообработки и обеззараживания сырья. Предложен нетрадиционный подход термообработки и обеззараживания с.-х. сырья, заключающийся в многократном воздействии электромагнитного поля сверхвысокой частоты в установках с новым конструктивным исполнением рабочих органов, в виде передвижных сферических резонаторов, с

возможностью опрокидывания, расположенных в тороидальном волноводе, выполняющем функции экранирующего корпуса, содержащего заперделные волноводы для загрузки и выгрузки продукта.

В результате апробирования установок в производственных условиях выявлено: снижение удельных энергетических затрат на термообработку сырья до 30 %; улучшение качества продукта на 6–9 баллов и снижение бактериальной обсемененности продукта на два порядка; увеличение срока хранения продукта до 30 %.

Заключение

Энергоресурсосберегающая установка, работающая на ВИЭ и ИИЭ, может удовлетворить потребность в электроэнергии и холоде картофелехранилищ,

расположенных в труднодоступных районах, удаленных от линий электропередач, в течение всего года. Разработанная установка заменяет дизельные электроустановки, генераторы и котельные, стоимость энергии которых очень высока. К тому же установки, работающие на традиционном углеводородном сырье, загрязняют атмосферу и почву. Применение АБХМ позволяет сохранить качество клубней картофеля и увеличить срок их хранения. При этом АБХМ отличается значительно меньшим расходом электроэнергии, и ее применение сельхозпроизводителями позволяет снизить как эксплуатационные расходы, так и стоимость строительства. Во время отопительного сезона индивидуальные жилищные строения, расположенные как в городской черте, так и в сельской местности, используя преобразователь тепловой энергии в электрическую в отопительных котлах, могут производить и использовать электрическую энергию, что позволяет значительно экономить.

Составлены конструктивные и технологические схемы разработанных и апробированных в производственных условиях установок для термообработки и обеззараживания сырья. В результате апробирования установок в производственных условиях выявлено снижение удельных энергетических затрат на термообработку сырья до 30 %.

Годовой экономический эффект от применения установок для термообработки с.-х. сырья с использованием энергии электромагнитных излучений составляет 100–400 тыс. руб./год [6].

Контроль мощности потока излучений СВЧ-установки проводили в испытательной лаборатории ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Чувашской Республике – Чувашии» с помощью приборов ПЗ-33 М, ПЗ-41 и ПЗ-50А [7].

Список литературы

1. Патент 109507 РФ МПК F03G6/00. Энергосберегающая установка / Васильева И.Г. (Ершова И.Г.) // 2006. Бюл. № 29.
2. Патент 118406 РФ МПК F25B21/02. Устройство для прямого преобразования тепловой энергии в электрическую / Тимофеев В.Н. // 2006. Бюл. № 20.
3. Поручиков Д.В., Ершова И.Г., Наumenko О.В. Технологический процесс посола мясного сырья и устройство для его осуществления // Естественные и технические науки. 2014. № 8 (76). С. 126–127.
4. Самodelкин А.Г., Поручиков Д.В., Ершова И.Г., Белова М.В., Матвеева А.Н. Анализ электрофизических параметров мясного сырья // Естественные и технические науки. 2015. № 6 (84). С. 501–504.
5. Ершова И.Г. Инновационная энергосберегающая установка // Международный научно-теорети-

ческий и прикладной журнал «Вестник Чувашского государственного педагогического университета имени И.Я. Яковлева», 2011. № 4 (72), Ч. 1. С. 7–12.

6. Ершова И.Г., Белова М.В., Уездный Н.Т. Экономическая эффективность применения СВЧ установки для термообработки субпродуктов // Международный научно-теоретический и прикладной журнал «Вестник Чувашского государственного педагогического университета имени И.Я. Яковлева». 2013. № 4 (80). С. 30–33.

7. Наumenko О.В., Александрова Г.А. Исследование мощности потока излучений СВЧ установок // Актуальные проблемы развития науки и образования: Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции. Часть VI. Москва: «АР-Консалт», 2014. С. 110–111.

References

1. Vasil'eva I.G. (Ershova I.G.) Ènergoresurso-sberegaušaa ustanovka. Patent 109507 RF MPK F03G6/00 // 2006. Bul. no. 29 (in Russ.).
2. Timofeev V.N. Ustrojstvo dlâ prâмого preobrazovaniâ teplovoj ènergii v èlektričeskuû. Patent 118406 RF MPK F25B21/02 // 2006. Bul. no. 20 (in Russ.).
3. Poruchikov D.V., Ershova I.G., Naumenko O.V. Tehnologičeskij process posola mäsnoĝo syr'â i ustrojstvo dlâ ego osušeštveniiâ. *Estestvennye i tehničeskie nauki*, 2014, no. 8 (76), pp. 126–127 (in Russ.).
4. Samodelkin A.G., Poruchikov D.V., Ershova I.G., Belova M.V., Matveeva A.N. Analiz èlektrofizičeskikh parametrov mäsnoĝo syr'â. *Estestvennye i tehničeskie nauki*, 2015, no. 6 (84), pp. 501–504 (in Russ.).
5. Ershova I.G. Innovacionnaâ ènergosberegaušaa ustanovka. *Meždunarodnyj naučno-teoretičeskij i prikladnoj žurnal «Vestnik Čuvaškogo gosudarstvennogo pedagogičeskogo universiteta imeni I.Ya. Yakovleva»*, 2011, no. 4 (72), part 1, pp. 7–12 (in Russ.).
6. Ershova I.G., Belova M.V., Uezdnyj N.T. Èkonomičeskaâ èffektivnost' primeneniâ SVČ ustanovki dlâ termooobrabotki subproduktov. *Meždunarodnyj naučnoteoretičeskij i prikladnoj žurnal «Vestnik Čuvaškogo gosudarstvennogo pedagogičeskogo universiteta imeni I.Ya. Yakovleva»*, 2013, no. 4 (80), pp. 30–33 (in Russ.).
7. Naumenko O.V., Aleksandrova G.A. Issledovanie mošnosti potoka izlučenij SVČ ustanovok. *Aktual'nye problemy razvitiâ nauki i obrazovaniâ: Sbornik naučnyh trudov po materialam Meždunarodnoj naučno-praktičeskoj konferencii*, part VI, Moscow: «AR-Konsalt», 2014, pp. 110–111 (in Russ.).

Транслитерация по ISO 9:1995

