Тип статьи: научная
УДК 631.171
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-3-94-100

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПЕЛЬТЬЕ В ГАЗОИСПОЛЬЗУЮЩЕМ ВАРОЧНОМ КОТЛЕ

***Анатолий Михайлович Шувалов*** [1]***, Алексей Николевич Машков*** [2]***,***
***Михаил Александрович Попов*** [3]
[1,2,3]*Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов, Россия*
[1]vniiti@mail.ru

Автор, ответственный за переписку: Анатолий Михайлович Шувалов, vniiti@mail.ru
Corresponding author: Anatoliy Shuvalov, vniiti@mail.ru

***Реферат.*** *Варочные котлы, работающие на природном газе, являются перспективным оборудованием для приготовления кормов в личных подсобных хозяйствах. На основе патентного поиска установлено, что существует широкий выбор варочных газоиспользующих котлов, имеющих различный уровень автоматизации процесса термической обработки продукта и обеспечения безопасности в процессе эксплуатации. На предварительном этапе исследования было установлено, что при плавном регулирования мощности газовой горелки варочного котла во время приготовлении кормов, достигается экономия газа до 19%. Определен принцип саморегулирования расхода газа газовой горелкой пропорционально потребляемому варочным котлом тепловому потоку. Изготовлен действующий экспериментальный образец на основе комплекта автоматики для варочного котла с плавным регулированием мощности газовой горелки. Разработана математическая модель, описывающая процессы тепло- массообмена в кормоварочном котле с саморегулированием мощности. На основе анализа систем энергообеспечения в варочных и отопительных котлах установлена целесообразность разработки новой перспективной схемы саморегулирования мощности на базе полупроводниковых термоэлементов Пельтье. Как показали результаты экспериментальных исследований автоматики в различных режимах работы напряжение на термоэлектрических элементах изменяется пропорционально разности температур. Установлено, что минимальное напряжение равно 0,07В, максимальное-0,7В. Напряжение и температуру продукта и горячего пара в рубашке замеряли с помощью мультиметров TEK DT 830B. Установлено, что наилучшая чувствительность системы управления тепловым режимом достигается, если модуль термоэлектрического преобразователя укомплектован девятью элементами, изменяющими выходное напряжение пропорционально температурному напору в паровой рубашке варочного котла.*

***Ключевые слова:*** *элемент Пельтье, термоэлектрическая батарея, варочный котел, температурный напор, система автоматического регулирования, энергия, модули.*

# USE OF SEMICONDUCTOR PELTIER ELEMENTS IN A GAS-USED BOILER

***Anatoliy Shuvalov*** [1]***, Alexey Mashkov*** [2]***, Mikhail Popov*** [3]
[1,2,3]*All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Tambov, Russia*
[1]vniiti@mail.ru

***Abstract.*** *Cooking boilers powered by natural gas are promising equipment for the preparation of feed in private farms. Based on the patent search, it has been established that there is a wide choice of gas-using boilers with different levels of automation of the process of thermal processing of the product and ensuring safety during operation. At the preliminary stage of the study, it was found that with a*

*smooth control of the power of the gas burner of the digester during the preparation of feed, gas savings of up to 19% are achieved. The principle of self-regulation of gas consumption by a gas burner is determined in proportion to the heat flow consumed by the digester. A working experimental sample was made on the basis of an automation kit for a digester with smooth control of the power of a gas burner. A mathematical model has been developed that describes the processes of heat and mass transfer in a feed boiler with self-regulation of power. Based on the analysis of energy supply systems in digesters and heating boilers, the expediency of developing a new promising power self-regulation scheme based on Peltier semiconductor thermoelements has been established. As shown by the results of experimental studies of automation in various operating modes, the voltage on thermoelectric elements changes in proportion to the temperature difference. It is established that the minimum voltage is 0.07V, the maximum is 0.7V. The voltage and temperature of the product and hot steam in the jacket were measured using TEK DT 830B multimeters. It has been established that the best sensitivity of the thermal regime control system is achieved if the thermoelectric converter module is equipped with nine elements that change the output voltage in proportion to the temperature difference in the steam jacket of the digester.*

***Keywords:*** *peltier element, thermoelectric battery, digester, temperature difference, automatic control system, energy, modules.*

**Для цитирования:** Шувалов А.М., Машков А.Н., Попов М.А. Использование полупроводниковых элементов пельте в газоиспользующем варочном котле // Наука в центральной России. 2023. Т. 63, № 3. С. 94-100. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-3-94-100.

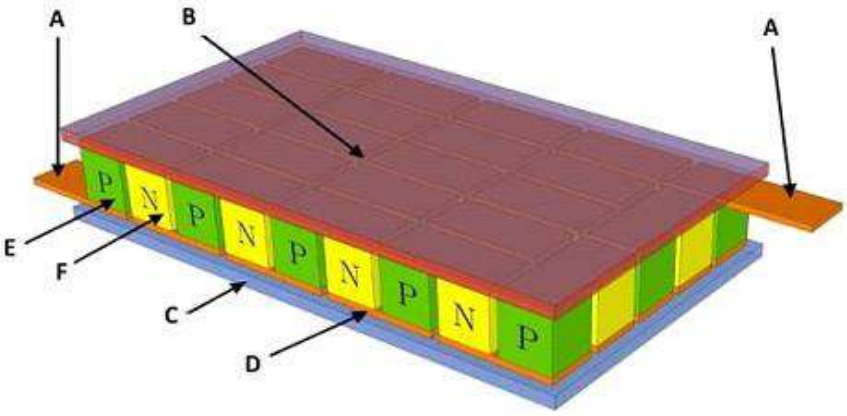
**For citation:** Shuvalov A., Mashkov A., Popov M. Use of semiconductor peltier elements in a gas-used boiler. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 63(3): 94-100. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-3-94-100.

**Введение.** В период широкомасштабной газификации села в таких энергоёмких процессах, как приготовление кормов, пищи, термической обработки сельхозпродукции начали применять газоиспользующие варочные котлы. Для частичного контроля расхода газа в них применяют одно или двухступенчатое регулирование. Однако, в процессе предварительных опытов было установлено, что за счет применения постепенного регулирования мощности газовой горелки варочного котла при приготовлении кормов, достигается экономия газа до 19%. Это указывает на то, что расход газа должен изменяться плавно пропорционально температурному напору в паровой рубашке котла. В результате изучения существующей информации по средствам автоматизации тепловых процессов было установлено, что применительно к технологии, выполняющей варочным котлом, можно применять регулирующие устройства холодильной техники.

В последние годы усовершенствованные полупроводниковые модули используются для нагрева и охлаждения жидкости. Они состоят из большого количества элементов Пельтье.

Элементы Пельтье — это модуль термоэлектрического преобразователя. Принцип их действия основан на разности температур окружающей среды и вследствие взаимодействия электрических токов они переносят электроны, которые могут ускоряться или замедляться в зависимости от их контактного потенциала между полупроводниками. Под воздействием электрического поля кинетическая энергия электронов изменяется. Когда это поле увеличивается, происходит нагрев, т.е. если кинетическая энергия электронов уменьшается, происходит охлаждение в обратном направлении. Поэтому приложенная разность потенциалов: минус потенциал прикладывается к полупроводнику N-типа, а положительный потенциал прикладывается к полупроводнику P-типа, в результате чего возникает разница температур (PN-переход нагревается, NP-переход охлаждается). Модуль можно использовать для получения тепла или холода при подаче электричества. Также он используется для выработки электрического тока при имеющейся необходимой разницы температур.

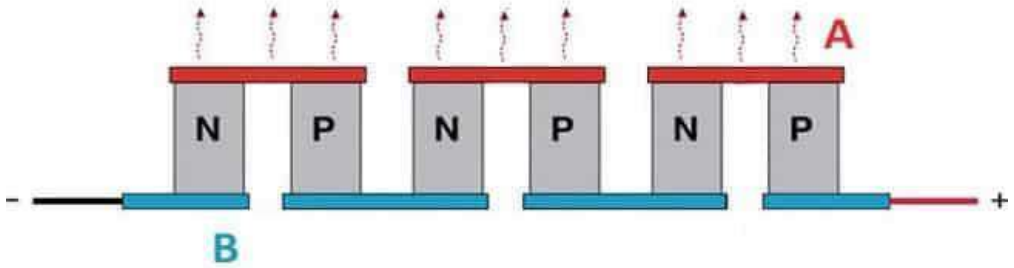
Модуль состоит из двух пластин (обычно керамических), которые хорошо заизолированы, между которыми последовательно соединены термопары (рисунок 1).




А – контакты для подключения к элементу; В – горячая поверхность модуля;
С – холодная поверхность модуля; D – медные проводники;
Е – полупроводник на основе р-перехода; F – полупроводник N- типа

Рисунок 1 - Устройство модульного элемента Пельтье

Модуль создан таким образом, что обе его стороны контактируют в области соприкосновения двух полупроводников с разными типами проводимости. Контакты PN- нагреваются, а NP-контакты охлаждаются (рисунок 2). Это вызывает разницу температур на сторонах модуля. Этот эффект представляется как передача тепловой энергии между сторонами модуля. Примечательно также, что изменение полярности источника питания меняет горячую и холодную стороны [1-4].




А – горячая сторона термоэлемента, В – холодная

Рисунок 2 - Схема элементов Пельтье

**Материалы и методы.**

Используя модули термоэлектрического преобразователя TEC1-12706 для противоположной цели - для выработки электроэнергии - и была разработана конструкция и система управления расходом газа, который пропорционален потребляемому тепловому потоку.

За счет разности температур на поверхностях каждого модуля возникает напряжение, которое изменяется в зависимости от температурного напора пара в рубашке варочного котла, то есть полупроводниковая батарея генерирует энергию, величина которой изменяется в зависимости от температурного напора. Таким образом, электрический сигнал от термоэлектрической батареи, собранной из полупроводниковых элементов без промежуточных звеньев, воздействует на исполнительный механизм регулирующего устройства газовой горелки. Это позволяет максимально упростить комплект автоматики для газогорелочного устройства и повысить надёжность варочного котла.

Кроме того, полученная нетрадиционная энергия от термоэлектрических элементов позволяет обеспечивать работу варочного котла и при аварийных режимах централизованного электроснабжения.

**Результаты и обсуждения.**

С целью выявления характера изменения напряжения от разности температур проведены экспериментальные исследования, представленные на рисунке 3.

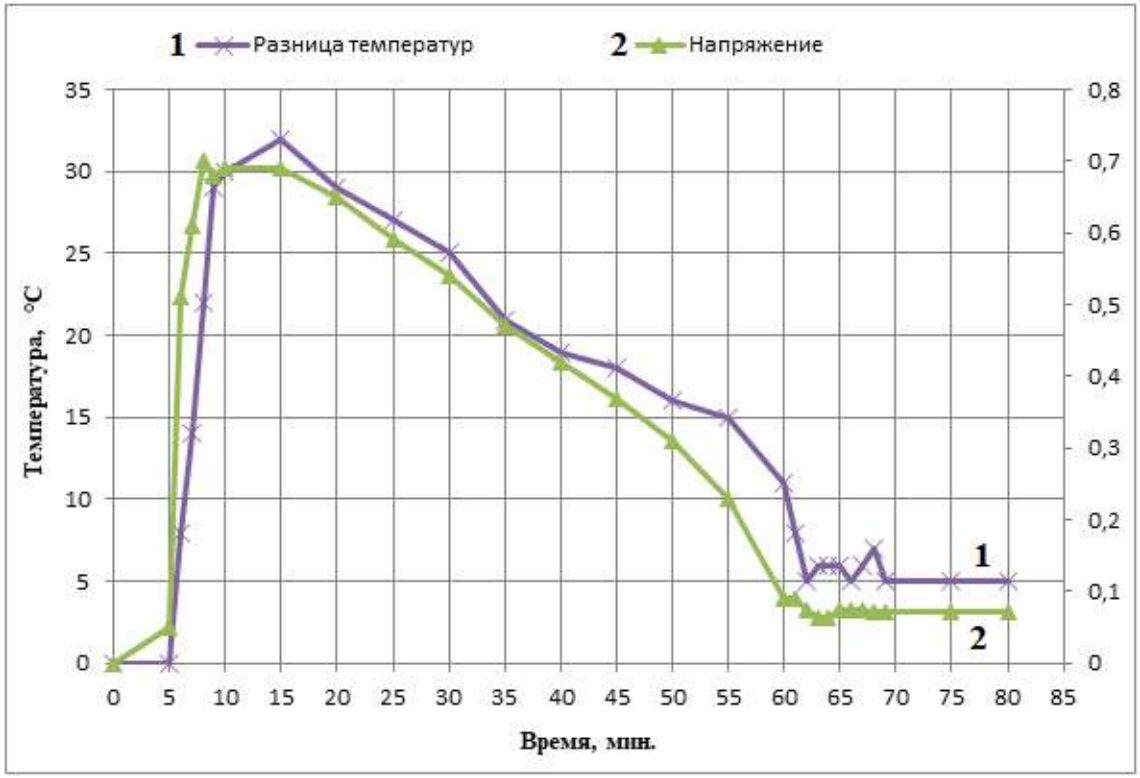



Рисунок 3 – Зависимость напряжения на полупроводниковых элементах от разности температур

Как следует из приведенных данных, зависимость изменения напряжения на термоэлектрических элементах от времени подобна зависимости изменения разности температур от времени. Напряжение на термоэлектрических элементах тем выше, чем выше разница температур между температурой продукта в варочной емкости и стенкой котла . Установлено, что минимальное напряжение равно 0,07 В, максимальное-0,7 В. Напряжение и температуру продукта и горячего пара в рубашке замеряли с помощью мультиметров TEK DT 830B.

Необходимое напряжение батареи термоэлектрических элементов не должно превышать 9 В и не должно быть меньше 0,6 В исходя из параметров работы соленоида и клапана.

Общее количество термоэлектрических элементов определено:

для минимального напряжения

$$N_{min}=U_{доп.min}/U_{min}=9/0,7=12,8$$

для максимального напряжения

$$N_{max}=U_{доп.max}/U_{max}=0,6/0,07=8,6$$

Исходя из расчета, принято количество термоэлектрических элементов равным 10 штук.

Экспериментальное исследование системы энергоснабжения варочного котла [5-7], основанной на термоэлектрическом элементе и оснащенной автоматическим регулятором теплового потока на основе 10 элементов Пельтье, выявило слабую чувствительность контроллера во время нагрева воды в варочном котле от 0 до 30 минут. В этот период температура стенок варочного котла повышалась, т.е. температурный напор уменьшался, но тепловой поток не изменялся. Предполагается, что количество элементов Пельтье в термоэлектрической батарее было завышено [8] и напряжение на выходе батареи было завышено. Для выяснения этого факта

была изготовлена и испытана термоэлектрическая батарея с девятью и восемью модулями Пельтье.

Экспериментальные исследования показали, что наилучшая чувствительность системы автоматического регулирования достигается, если в термоэлектрической батарее установлено 9 элементов Пельтье (рисунок 4).

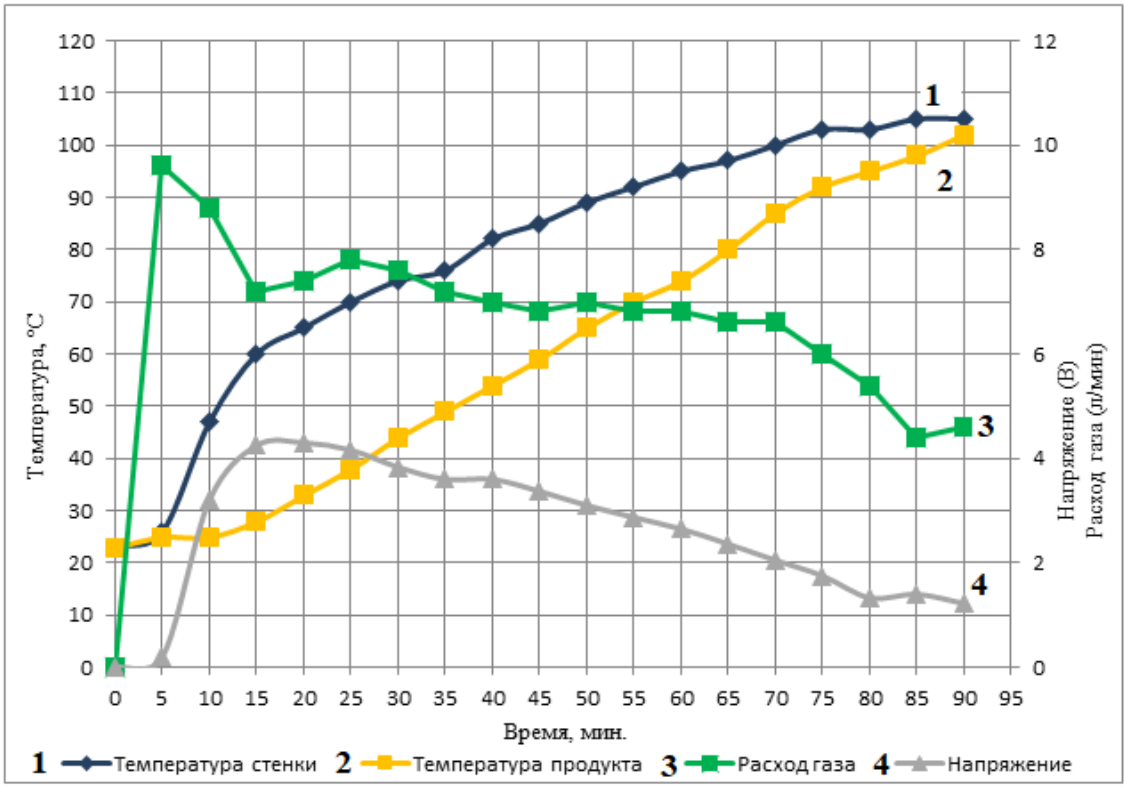



Рисунок 4 - Расход газа при разогреве до кипения 100 л. воды с комплектацией САР 9-ю элементами Пельтье

Как видно из графика рисунка 4, в начальный период времени до 5 минут происходит нагрев воды в паровой рубашке до кипения. После начала кипения воды в паровой рубашке фиксируется резкий рост температуры стенки котла, благодаря чему, происходит нагрев поверхностей термоэлектрических элементов с одной стороны до температуры продукта (рисунок 4, кривая 2), с другой стороны до температуры пара в паровой рубашке (рисунок 4, кривая 1) и на контактах термоэлектрических элементов возникает ЭДС. В процессе нагрева продукта происходит уменьшение разности температур между поверхностями термоэлектрических элементов и через 25 минут начинается снижение расхода газа. Снижение расхода газа происходит прямо пропорционально изменению температуры на поверхностях термоэлектрических элементов в течении 60 минут, а после расход газа становится минимальным для поддержания температуры кипения продукта. Это означает, что напряжение батареи и температурный напор изменяются одинаково, что позволяет использовать такие батареи в системах автоматического управления (САР). Такая конструкция позволяет системе автоматического управления надежно контролировать расход газа пропорционально расходу тепла при приготовлении продукта. Это позволяет достичь расхода газа в 618 литров для кипячения 100 литров воды [6,8].

Проведены также экспериментальные исследования с загрузкой варочной ёмкости на 100 л и с использованием САР с 8-ми элементами Пельтье, полученные зависимости (рисунок 5) аналогичны приведенным на рисунке 4.

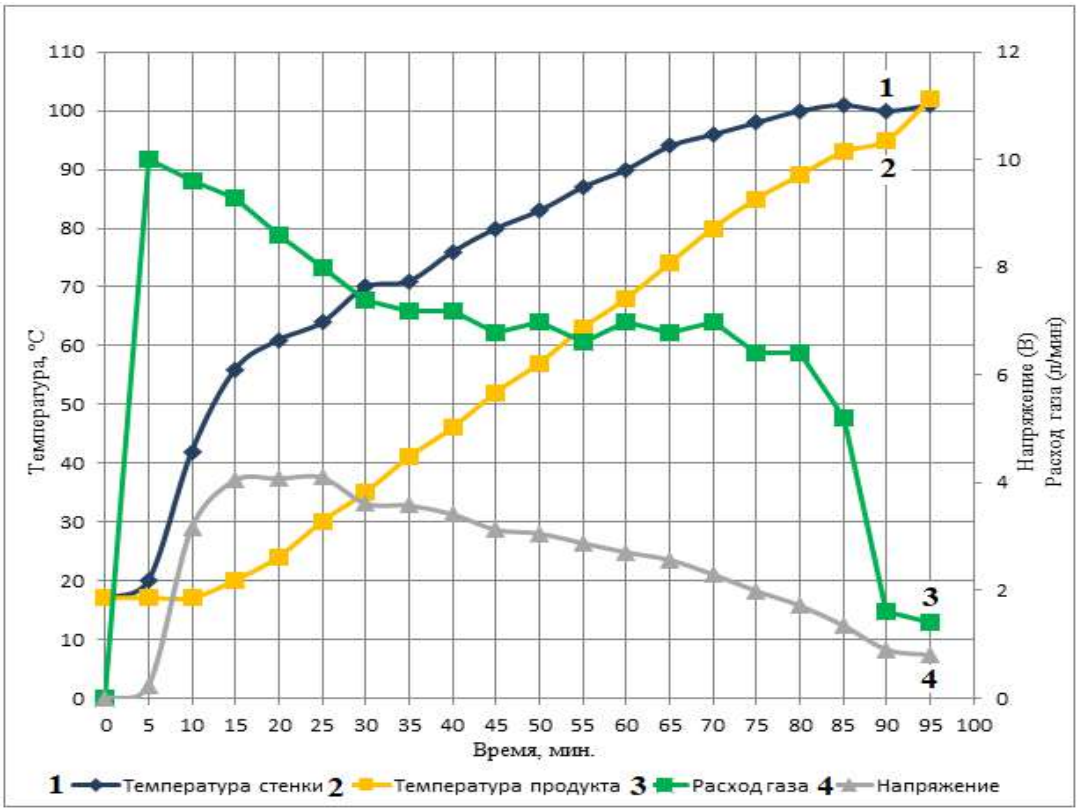



Рисунок 5 - Расход газа при разогреве до кипения 100 л. воды с комплектацией САР 8-ю элементами Пельтье.

Расход газа на разогрев 100 литров воды до кипения на 12 литров больше (на 1,94%), если установлены в термоэлектрической батареи 8 элементов Пельтье

**Заключение.** Применение сборок, состоящих из элементов Пельтье в конструктивно-технологической схеме системы регулирования расхода газа, способствует уменьшению расхода газа на разогрев 100 литров воды с 747 литров газа до 618 литров, что повышает КПД до 84 %. Оптимальное количество элементов Пельтье на разогрев 100 литров воды равно 9.

**Список источников**

1. Торопыгина И. В. Исследование элемента Пельтье и его практическое применение / И. В. Торопыгина, Т. В. Янковская // Сборник материалов IX Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых с международным участием" Россия молодая". – 2017. – С. 13009-13009.

2. Лебакин А. И. К вопросу о практическом применении элементов пельтье / А. И. Лебакин, В. Д. Червенчук, А. И. Забудский // Роль научно-исследовательской работы обучающихся в развитии АПК. – 2019. – С. 165-173.

3. Бышов Д. Н. К вопросу исследования кпд элементов пельтье // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. ПА Костычева. – 2020. – №. 1. – С. 76-80.

4. Ежов Н. А. Элемент Пельтье как возможный источник энергии // Материалы XXI научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов Национального исследовательского Мордовского государственного университета им. НП Огарёва. – 2017. – С. 338-343.

5. Патент № 2708097 C1 Российская Федерация, МПК A47J 27/06. Котёл кормоварочный: № 2019116589: заявл. 29.05.2019: опубл. 04.12.2019 / А. М. Шувалов, А. Н. Машков, Д. С. Чернов;

заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве" (ФГБНУ ВНИИТиН).

6. Шувалов А. М. Энергоэкономный варочный котёл с плавным регулированием расхода газа / А. М. Шувалов, А. Н. Машков, Д. С. Чернов // Наука в центральной России. – 2021. – № 2(50). – С. 55-61. – DOI 10.35887/2305-2538-2021-2-55-61.

7. Шувалов А. М. Обоснование параметров саморегулируемой системы энергоподвода к варочным аппаратам / А. М. Шувалов, К. А. Набатов, А. Н. Машков, Д. С. Чернов // Вестник ВИЭСХ. – 2014. – № 3(16). – С. 72-74.

8. Отчет о НИР «Создать действующий экспериментальный газоиспользующей системы энергообеспечения варочного котла с саморегулированием мощности». - Тамбов, ВНИИТиН, 2020. -102с.

**Reference**

1. Toropygina I. V. Investigation of the Peltier element and its practical application / I. V. Toropygina, T. V. Yankovskaya // Collection of materials of the IX All-Russian scientific and practical conference of young scientists with international participation "Young Russia". – 2017. – pp. 13009-13009.

2. Lebakin A. I. On the question of the practical application of peltier elements / A. I. Lebakin, V. D. Chervenchuk, A. I. Zabudsky // The role of research work of students in the development of agriculture. – 2019. – pp. 165-173.

3. Byshov D. N. On the issue of investigating the efficiency of peltier elements // Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after PA Kostychev. - 2020. – No. 1. – pp. 76-80.

4. Yezhov N. A. Peltier element as a possible source of energy // Materials of the XXI scientific and practical conference of young scientists, postgraduates and students of the National Research Mordovian State University. NP Ogareva. – 2017. – pp. 338-343.

5. Patent No. 2708097 C1 Russian Federation, IPC A47J 27/06. Feed boiler: No. 2019116589: application 29.05.2019: publ. 04.12.2019 / A.M. Shuvalov, A. N. Mashkov, D. S. Chernov; applicant Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute for the Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture" (FGBNU VNIITiN).

6. Shuvalov A.M. Energy-efficient digester with smooth regulation of gas flow / A.M. Shuvalov, A. N. Mashkov, D. S. Chernov // Science in Central Russia. – 2021. – № 2(50). – Pp. 55-61. – DOI 10.35887/2305-2538-2021-2-55-61.

7. Shuvalov A.M. Substantiation of parameters of a self-regulating power supply system to cookers / A.M. Shuvalov, K. A. Nabatov, A. N. Mashkov, D. S. Chernov // Vestnik RESKH. – 2014. – № 3(16). – Pp. 72-74.

8. R&D report "To create an operating experimental gas-using power supply system for a digester with self-regulating power". - Tambov, VNIITiN, 2020. -102s.

**Информация об авторах**

А.М. Шувалов - доктор технических наук, профессор; А. Н. Машков - кандидат технических наук; М.А. Попов – ведущий инженер.

**Information about the authors**

A.Shuvalov – Full Doctor of technical sciences, Professor; A. Mashkov - Candidate of Technical Sciences; M. Popov – leading engineer.

**Вклад авторов:** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

***Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.***

**Contribution of the authors:** all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

***The authors declare no conflict of interest.***

Поступила в редакцию (Received): 23.05.2023 Принята к публикации (Accepted): 24.06.2023