8. Krohta, G.M. Vtorichnoe ispol'zovanie brosovoj teploty dvigatelya dlya optimizacii teplovyh rezhimov v agregatah samohodnyh mashin. / G.M. Krohta, A.B. Ivannikov, E.A. Pronin // Traktory i sel'hozmashiny. – 2015. – № 4.

9. Kulikov, M.V. Progrev rabochih zhidkostej sistem i agregatov traktora vyhlopnymi gazami pri nizkih temperaturah raboty traktora T-150K / M.V. Kulikov, S.N. Orlovskij // Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta № 8 (94). – 2012. – S.116-121.

10. Selivanov, N.I. Poteri moshchnosti v korobke peredach traktora K-701 / N.I. Selivanov i dr. // Sbornik. nauch. tr. KrasGAU. – 2000. – chast' 1.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Иванов Николай Михайлович - доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН, руководитель организации, ФГБНУ Сибирский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства СФНЦА РАН, Россия, Новосибирская обл., Новосибирский район, р.п. Краснообск.

Иванников Алексей Борисович – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ Сибирский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства СФНЦА РАН, Россия, Новосибирская обл., Новосибирский район, р.п. Краснообск, email: alekc73@rambler.ru.

Крохта Геннадий Михайлович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры сельскохозяйственных машин, ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет», Россия, г. Новосибирск.

Author credentials

Affiliations

Ivanov Nikolai - Doctor of Technical Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Head of Organization, Siberian Research Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture, Siberian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Russia, Novosibirsk Region, r.p. Krasnoobsk.

Ivannikov Aleksey – Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher, Siberian Research Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture, Siberian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Russia, Novosibirsk Region, r.p. Krasnoobsk, email: alekc73@rambler.ru.

Krokhta Gennady – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Agricultural Machines, Novosibirsk State Agrarian University, Russia, Novosibirsk.

Поступила в редакцию (Received): 27.01.2022 Принята к публикации (Accepted): 18.02.2022

УДК 631.171

DOI: 10.35887/2305-2538-2022-1-101-108

ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМЫ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ВАРОЧНОГО КОТЛА С ПЛАВНЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ МОЩНОСТИ

[1]Шувалов Анатолий Михайлович

[1]Машков Алексей Николаевич

[1]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

Реферат. *На основе результатов информационно-патентных исследований установлено, что существует широкий спектр варочных газоиспользующих котлов, имеющих различный уровень автоматизации процесса термической обработки продукта и обеспечения безопасности в процессе эксплуатации. Анализ систем энергообеспечения в варочных и отопительных котлах показал целесообразность разработки новой перспективной схемы саморегулирования мощности на базе полупроводниковых термоэлементов. Определены допустимые параметры напряжения термоэлектрической батареи для расчета количества термоэлектрических элементов, необходимые для работы действующего экспериментального образца газоиспользующей системы энер-*

гообеспечения варочного котла с саморегулированием мощности, минимальное напряжение – 0,7 В; максимальное напряжение 7 В. Проводились исследования по разработке энергоэкономного газоиспользующего варочного котла с регулированием расхода газа пропорционально потребляемому тепловому потоку в процессе приготовления корма или пищи. Экспериментальные исследования показали, что применение системы энергообеспечения с регулированием мощности газовой горелки пропорционально потребляемому тепловому потоку варочного котла позволяет экономить энергии до 19,75%. В настоящее время создана перспективная система автоматического регулирования расхода газа по изменяющемуся в процессе нагрева температурному напору – разности температур пара и поверхности варочной ёмкости. В качестве основного узла регулирования газа приняты полупроводниковые элементы, которые без промежуточного усилителя управляют исполнительным механизмом газового клапана. Экспериментальные исследования подтвердили перспективность применения варочных котлов с пропорциональным регулированием расхода газа.

Ключевые слова: *варочный котел, газ, мощность, полупроводниковый термоэлектрический элемент.*

STUDY OF THE ENERGY SUPPLY SYSTEM OF THE DIGESTER WITH SMOOTH POWER REGULATION

[1]Shuvalov Anatoliy
[1]Mashkov Alexey
[1]Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute for Use machinery and Petroleum products in Agriculture"

Abstract. *It has been established on the basis of the results of information and patent research that there is a wide range of cooking gas-using boilers with a different level of automation of the process of thermal processing of the product and ensuring safety during operation. An analysis of power supply systems in digesters and heating boilers showed the feasibility of developing a new advanced power self-regulation scheme based on semiconductor thermoelements. The allowable voltage parameters of a thermoelectric battery for calculating the number of thermoelectric elements necessary for the operation of an existing experimental sample of a gas-using power supply system of a digester with self-regulation of power were determined, the minimum voltage is 0.7 V; maximum voltage 7 V. Research was carried out on the development of an energy-saving gas-using digester with gas flow control in proportion to the heat flux consumed in the process of preparing feed or food. Experimental studies have shown that the use of an energy supply system with gas burner power control in proportion to the consumed heat flow of the digester allows energy savings of up to 19.75%. At present, a promising system has been created for automatic control of gas flow according to the temperature difference that changes during heating - the temperature difference between the steam and the surface of the brewing vessel. Semiconductor elements are adopted as the main gas control unit, which control the gas valve actuator without an intermediate amplifier. Experimental studies have confirmed the promise of using digesters with proportional control of gas flow*

Keywords: *digester, gas, power, semiconductor thermoelectric element.*

Введение. В личных подсобных и фермерских хозяйства основным способом обработки кормов является тепловая с использованием для этих целей дров, электроэнергии и газа. В настоящее время интенсивно развивается газификация села. Природный газ – самый дешевый энергоноситель и применение его в хозяйстве на приготовление корма снизит себестоимость мяса или молока, что повысит конкурентоспособность на внутреннем рынке.

В существующих газовых котлах для приготовления пищи и кормов предусмотрены средства автоматизации с одноступенчатым регулированием мощности (включено-выключено) или двухступенчатое – максимальный и минимальный расход газа. Однако в этом случае существует недостаток: при повышении температуры в варочной ёмкости котла близко к закипанию продукта увеличивается частота включения и выключения газовой горелки. Такой режим её работы снижает надёжность, увеличивает износ автоматики и устройств газовой горелки. Кроме того при частом включении и отключении подачи газа возможен срыв пламени, что может привести к тяжелым

последствиям. К тому же для поддержания «тихого кипения» оператор постоянно должен вручную дополнительно настраивать газовую горелку на требуемый режим. И конечно отсутствие плавного регулирования расхода газа пропорционально потребляемому тепловому потоку приводит к излишнему его расходу. Таким образом, возникает потребность в применении плавного регулирования расхода газа.

Цель исследований – теоретическое и экспериментальное обоснование создания системы энергообеспечения газоиспользующего варочного котла с плавным регулированием мощности.

Материалы и методы исследований. Для реализации цели были проведены информационно - патентные исследования [1-3] , выявлены перспективные технические средства автоматизации газовых горелочных устройств [4-7]. Информационно-патентные исследования технических средств автоматики различных газоиспользующих котлов по устройству и назначению показывают, что наиболее высокий уровень научной проработки и практического применения достигнут в бытовых отопительных котлах малой мощности [7-15]. С точки зрения автоматизации систем энергообеспечения: процесса розжига газовой горелки, контроль наличия пламени, тяги в дымоходе, обеспечения безопасной работы (контроль давления в газовом трубопроводе, утечки газа, перегрева теплоносителя и др.) они оказались наиболее продвинутыми [4]. По-видимому катализатором к совершенствованию средств автоматизации таких котлов являлся повышенный спрос на них и широкомасштабное внедрение, а так же ужесточенные требования по обеспечению техники безопасности. В этой связи была выдвинута идея максимально использовать средства автоматизации бытовых отопительных котлов для систем энергообеспечения варочных котлов. После внесения изменений в схему автоматики, проводя корректировку, применили её и для газоиспользующих кормоварочных котлов.

Режимы работы варочных котлов принципиально отличаются от режимов газовых отопительных и водонагревательных котлов, то есть технологии отопления или проточного нагрева воды не сопоставимы с технологиями варки кормов или продуктов. В варочном котле в начальный период системой энергообеспечения осуществляется нагрев продукта от минимальной температуры (5 – 14 °С) до кипения, затем идет процесс варки продукта при температуре кипения, а когда продукт будет сварен, система энергообеспечения должна отключиться. Эти циклы повторяются при каждой новой порции приготовляемого продукта и система энергообеспечения должна четко выдерживать технологию каждого цикла. Теоретически было доказано [8-10], что потребляемый тепловой поток варочного котла в начальный период разогрева продукта и металлоконструкций котла должен быть максимальным, а в процессе нагрева продукта, когда температурный напор (разность температур между температурой пара и продукта) уменьшается, то потребляемый тепловой поток также должен уменьшаться в такой же пропорции. Если же системой энергообеспечения тепловой поток не будет изменяться пропорционально потребляемому тепловому потоку, то будет наблюдаться значительный перерасход газа. Все эти особенности были учтены при разработке новой системы энергообеспечения газоиспользующего варочного котла.

В результате литературного обзора и исследований было установлено, что работоспособную и перспективную схему пропорционального регулирования расхода газа в варочном котле можно выполнить на базе полупроводниковых термоэлементов [11-13].

Использование идеи термоэлектрического преобразования и производства электроэнергии стало возможным благодаря исследованиям отечественных ученых под руководством академика А.Ф. Иоффе [14], который предложил применять в термоэлементах вместо металлических проводников полупроводниковые материалы, обладающие высокой термоэлектродвижущей силой в 40 – 50 раз большей, чем в металлах. И многие десятилетия термоэлементы на базе полупроводниковых материалов применяются в технике во всём мире в качестве термопар для измерения температуры в различных средах, а также в схемах автоматики теплотехнических изделий.

Однако следует отметить, что в термопарах величина электрического тока крайне мала и недостаточная для регуляторов прямого действия в схемах автоматического пропорционального регулирования расхода газа в варочных котлах. В то же время полупроводнниковые термоэлементы оказались более продвинутыми с точки зрения конструктивного исполнения, серийного производства и использования их в тепло – холодо - технике. В настоящее время на рынке сбыта появились относительно не дорогие, компактные, малогабаритные модули (рисунок 1), включающих в себя

120 и более полупроводниковых термоэлектрических элементов. Производят их в основном в Китае и частично в России [11].

Используя такие модули не для прямого (производство холода и тепла), а для обратного назначения – производство электроэнергии, в ФГБНУ ВНИИТиН разработана конструктивно-технологическая схема системы регулирования расхода газа пропорционально потребляемому тепловому потоку. Она представляет собой термоэлектрическую батарею, выполненную из нескольких термоэлектрических модулей. Такая термоэлектрическая батарея (сборка), смонтированная на днище варочной ёмкости или на другом месте варочной ёмкости за счет разности температур на внутренней и наружной стенках каждого термоэлектрического модуля вырабатывает электрический сигнал, величина которого изменяется пропорционально температурному напору. В результате получена энергонезависимая от централизованного электроснабжения система энергообеспечения варочного котла с пропорциональным регулированием расхода газа и использованием при этом нетрадиционного источника электроэнергии.

Это позволяет независимо от аварийных или плановых отключений централизованной системы электроснабжения продолжать работу газоиспользующих варочных котлов в режиме пропорционального регулирования расхода газа.

Рисунок 1 – Полупроводниковые термоэлектрические элементы

Следует отметить, что важным преимуществом по сравнению с традиционной системой регулирования расхода газа является то, что в разработанной схеме отсутствует промежуточный усилитель сигнала (процессор), то есть термоэлектрическая батарея, выполненная на базе полупроводниковых термоэлектрических модулей, выдаёт энергию (мощность, напряжение, сила тока) достаточную без промежуточных звеньев управлять исполнительным механизмом расхода газа. И применительно к варочному котлу главным преимуществом использования термоэлектрических элементов в такой системе является то, что собранная термоэлектрическая батарея на базе полупроводниковых термоэлектрических модулей и смонтированный на поверхности варочной ёмкости выдаёт сигнал (мощность, напряжение, ток) достаточный по величине и пропорционально разности температур между паром и приготовляемым кормом (продуктом), то есть правильно рассчитанная термоэлектрическая батарея выдаёт в реальном времени достаточное количество энергии для управления регулирующим исполнительным механизмом и изменяет расход газа пропорционально температурному напору. Важно отметить, что полученный таким образом термоэлектрический ток в разработанной конструктивно-технологической схеме системы саморегулирования расхода газа напрямую без промежуточных звеньев воздействует на исполнительный механизм газогорелочного устройства, увеличивая или уменьшая расход газа в зависимости от температурного напора. Это важное преимущество такой схемы, так как упрощается комплект обору-

дования системы пропорционального регулирования расхода газа и повышается надёжность в её работе.

Подбор (расчет) термоэлектрических батарей для получения электроэнергии требует знаний основных их характеристик.

В связи с этим был проведен опыт в лабораторных условиях для определения рабочих параметров термоэлектрических элементов.

Результаты проведенного опыта отражены на графике (рисунок 2).

Из графика (рисунок 2) следует, что зависимость носит пропорциональный характер, то есть напряжение на выходе термоэлектрической батареи изменяется пропорционально температурному напору.

Для расчета количества термоэлектрических элементов, необходимых для работы действующего экспериментального образца газоиспользующей системы энергообеспечения варочного котла с саморегулированием мощности, определены основные характеристики: минимальное напряжение – 0,7 В; максимальное напряжение 7 В. Эта величина напряжения определена исходя из рабочих параметров селеноида, обеспечивающего с помощью задвижки регулирование расхода газа.

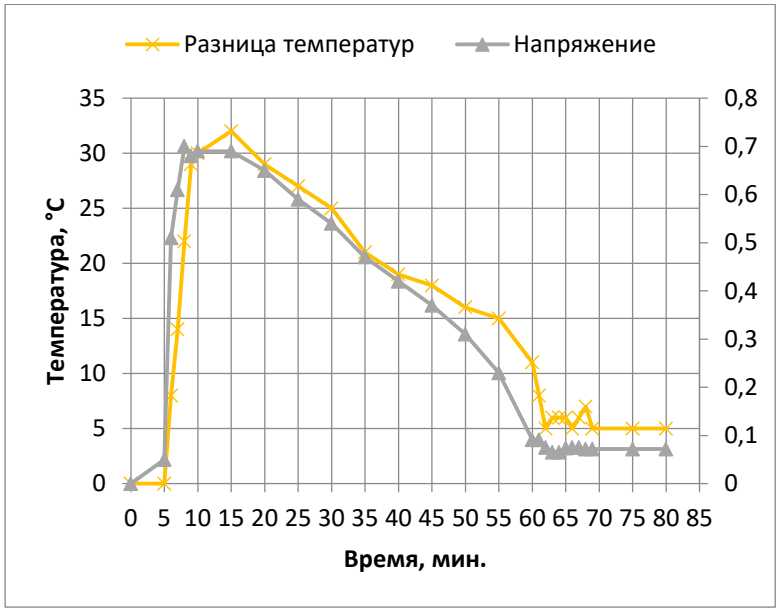

Рисунок 2 – Изменение напряжения на выходе термоэлектрического модуля и температурного напора нагрева воды

Результаты и их обсуждение. На основе теоретических [8-10] и экспериментальных исследований разработан и создан действующий образец перспективного не имеющего аналогов (защищён двумя патентами) кормоварочный котёл с плавным регулированием расхода газа. В нём применена система энергообеспечения процесса варки продукта с плавным регулированием мощности пропорционально потребляемому тепловому потоку, выполненная на базе полупроводниковой термоэлектрической батареи и селеноида с задвижкой, обеспечивающие регулирование расхода газа пропорционально температурному напору.

Такая система энергообеспечения газоиспользующего варочного котла с наименьшими энергетическими затратами может обеспечивать приготовление кормов на животноводческих фермах, пищи в столовых сельхозпредприятий, сельских школах и больницах, а так же термическую обработку различной сельхозпродукции (пастеризацию молока, фруктовых соков, приготовление теста, сыров, колбасных изделий).

Проведены экспериментальные исследования системы энергообеспечения, выполненной на базе полупроводниковых модулей. Как следует из графика (рис. 3) расход газа в варочном котле осуществляется пропорционально температурному напору, то есть при разогреве продукта в ва-

рочной ёмкости до кипения уменьшается температурный напор и вследствие этого уменьшается расход газа. При этом напряжение на выходе полупроводниковой термоэлектрической батареи максимальное при максимальном температурном напоре (продукт не нагрет) и в этот момент осуществляется максимальный расход газа. С уменьшением температурного напора напряжение на термоэлектрической батареи уменьшается и в результате соленоид прикрывает задвижку и уменьшает расход газа. Таким образом экспериментальные исследования подтверждают, что система энергообеспечения, выполненная на базе полупроводниковой термоэлектрической батареи, обеспечивает регулирование расхода газа пропорционально температурному напору. Это позволяет при разогреве продукта до кипения экономить 19,75% используемого газа.

В процессе теоретических и экспериментальных исследований получена следующая научная новизна:

- теоретически и экспериментально обоснованы параметры системы энергообеспечения газоиспользующего котла и создан его действующий образец с плавным регулированием мощности пропорционально изменению теплового потока, расходуемого на нагрев и кипение содержимого в варочной ёмкости.

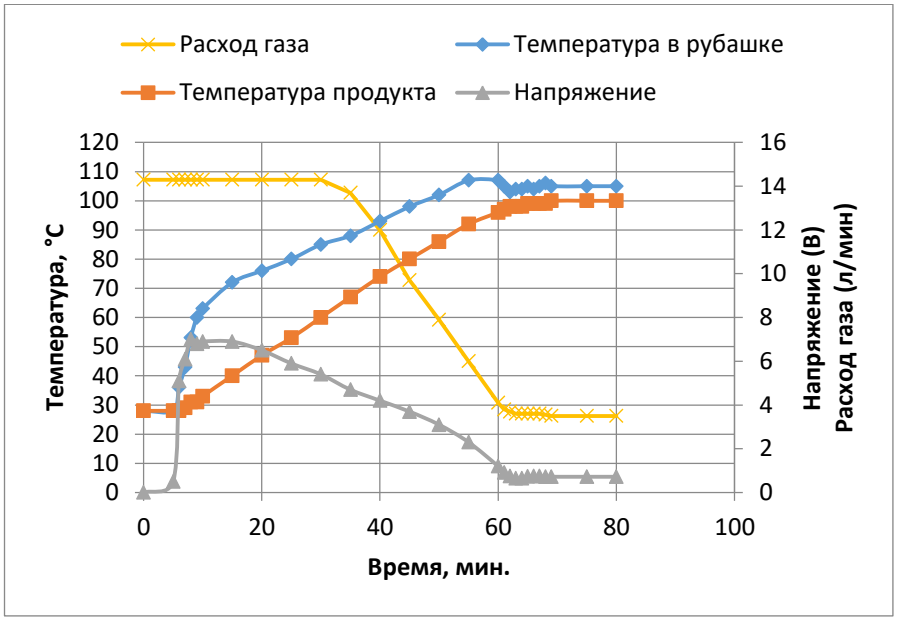

Рисунок 3 – Динамика расхода газа и температуры продукта с пропорциональным регулированием теплового потока.

- Обоснован принцип регулирования расхода газа пропорционально потребляемому тепловому потоку варочным колом.

- Разработана математическая модель, описывающая энергетические процессы в кормоварочном котле с пропорциональным регулированием мощности.

- Установлены закономерности изменения теплового потока и расхода энергии варочного котла с плавным регулированием расхода газа;

- Получена динамика температурного напора и установлена взаимосвязь его с напряжением на выходе термоэлектрической батареи;

- Обоснована целесообразность применения полупроводниковых термоэлементов Пельтье в схеме пропорционального регулирования расхода газа.

- Обоснованы параметры полупроводниковой термоэлектрической батареи

- Экспериментально обоснована номинальная мощность газовой горелки варочного котла с варочной ёмкостью 100л при пропорциональном регулировании теплового потока, 9 л/мин (14 кВт).

- Экспериментально обоснован КПД котла в режиме пропорционального регулирования расхода газа, который равен 84%.

Выводы.

1. На основе анализа средств автоматического регулирования расхода газа в варочных и отопительных котлах установлена целесообразность разработки новой перспективной схемы саморегулирования мощности для варочных котлов на базе полупроводниковых термоэлементов.

2. Используя широко распространённые в мини холодильной технике, серийно выпускаемые в Китае, в России и предлагаемые для реализации полупроводниковые термоэлементы с эффектом при пропускании тока выделять холод и тепло и применив их не по прямому, а по обратному назначению: выработки электроэнергии за счет значительной разности температур на спаях двух разноимённых полупроводников, была разработана перспективная схема регулирования расхода газа пропорционально потребляемому тепловому потоку в газоиспользующем варочном котле.

3. Разработана конструктивно-технологическая схема, создан действующий газоиспользующий варочный котёл с саморегулируемой системой энергообеспечения процесса термической обработки кормов и сельхозпродукции.

4. Исследования созданного действующего образца системы энергообеспечения с пропорциональным регулированием расхода газа, выполненной на базе полупроводниковых термоэлементов, показали эффективность применения её в варочных котлах. Установлено, что экономия газа составляет 19,75%.

Список литературы

1. Государственная программа развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013-2020 годы. – М., 2013. – 388 с.

2. Антуфьев, В.Т. Концепция совершенствования газовых пищеварочных котлов / В.Т. Антуфьев, М.А. Амосова // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищеварочных производств», 2007. - №1.

3. sovet-ingenera.com/otoplenie/kotly/avtomatika-dlya-gazovyx-kotlov-otopleniya.html

4. https://znatoktepla.ru/kotly/obzor-ob-avtomatike.html

5. otople.com/avtomatika-i-sredstva-upravleniya

6. https://studopedia.su/18_148766_avtomatika-gazovih-apparatov.html

7. Литвина Л.С. Фролова З.С. Тепловое оборудование общественного питания. – М.: Экономика, 1987. – 272 с.

8. Шувалов А.М., Машков А.Н., Чернов Д.С. Математическая модель тепло- массообменных процессов в газоиспользующем кормоварочном котле с саморегулированием мощности // Наука в центральной России. 2020. - № 2 (44). - С. 93-99.

9. Шувалов А.М., Машков А.Н., Чернов Д.С. Обоснование принципа саморегулирования мощности кормоварочного котла на газовом топливе // Наука в центральной России. 2020. - № 4 (46). - С. 62-67.

10. Шувалов А.М., Машков А.Н., Тихомиров Д.А. Анализ теплоэнергетических процессов в системе энергообеспечения газоиспользующего кормоварочного котла // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2020. Т. 67. - № 1 (38). - С. 71-77.

11. В.Н. Белозерцев, С.О Некрасова, Д.В. Сармин, Д.А.Угланов. Определение основных характеристик термоэлектрического генератора: учебное пособие. –Самара:изд-во СГАУ, 2015. -88с.

12.Иоффе А.Ф. Полупроводниковые термоэлементы. –М. –Л.:изд-во АН СССР,1956.

13.Тихомиров Д.А., Тихомиров А.В. Оценка потребностей сельского хозяйства РФ в энергоресурсах и их структура на период до 2030 г. // Инновации в сельском хозяйстве. - 2018. - № 28. -С. 101-109.

14.Трунов С.С., Тихомиров Д.А. Термоэлектрическое осушение воздуха в сельскохозяйственных помещениях // Наука в центральной России. - 2018. -№2 (32). - С. 51-59.

References

1. Gosudarstvennaya programma razvitiya sel'skogo hozyajstva i regulirovaniya rynkov sel'skohozyajstvennoj produkcii, syr'ya i prodovol'stviya na 2013-2020 gody. – M., 2013. – 388 s.

2. Antuf'ev, V.T. Koncepciya sovershenstvovaniya gazovyh pishchevarochnyh kotlov / V.T. Antuf'ev, M.A. Amosova // Nauchnyj zhurnal NIU ITMO. Seriya «Processy i apparaty pishchevarochnyh proizvodstv», 2007. - №1.

3. sovet-ingenera.com/otoplenie/kotly/avtomatika-dlya-gazovyx-kotlov-otopleniya.html
4. https://znatoktepla.ru/kotly/obzor-ob-avtomatike.html
5. otople.com/avtomatika-i-sredstva-upravleniya
6. https://studopedia.su/18_148766_avtomatika-gazovih-apparatov.html
7. Litvina L.S. Frolova Z.S. Teplovoe oborudovanie obshchestvennogo pitaniya. – M.: Ekonomika, 1987. – 272 s.
8. SHuvalov A.M., Mashkov A.N., CHernov D.S. Matematicheskaya model' teplo- massoobmennyh processov v gazoispol'zuyushchem kormovarochnom kotle s samoregulirovaniem moshchnosti // Nauka v central'noj Rossii. 2020. - № 2 (44). - S. 93-99.
9. SHuvalov A.M., Mashkov A.N., CHernov D.S. Obosnovanie principa samoregulirovaniya moshchnosti kormovarochnogo kotla na gazovom toplive // Nauka v central'noj Rossii. 2020. - № 4 (46). - S. 62-67.
10. SHuvalov A.M., Mashkov A.N., Tihomirov D.A. Analiz teploenergeticheskih processov v sisteme energoobespecheniya gazoispol'zuyushchego kormovarochnogo kotla // Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK. 2020. T. 67. - № 1 (38). - S. 71-77.
11. V.N. Belozercev, S.O Nekrasova, D.V. Sarmin, D.A.Uglanov. Opredelenie osnovnyh harakteristik termoelektricheskogo generatora: uchebnoe posobie. – Samara: izd-vo SGAU, 2015. -88s.
12. Ioffe A.F. Poluprovodnikovye termoelementy. –M. –L.: izd-vo AN SSSR,1956.
13.Tihomirov D.A., Tihomirov A.V. Ocenka potrebnostej sel'skogo hozyajstva RF v energoresursah i ih struktura na period do 2030 g. // Innovacii v sel'skom hozyajstve. - 2018. - № 28. -C. 101-109.
14.Trunov S.S., Tihomirov D.A. Termoelektricheskoe osushenie vozduha v sel'skohozyajstvennyh pomeshcheniyah // Nauka v central'noj Rossii. - 2018. -№2 (32). - S. 51-59.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Шувалов Анатолий Михайлович – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: vniiti@mail.ru.

Машков Алексей Николаевич – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научноисследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: vniiti@mail.ru.

Author credentials

Affiliations

Shuvalov Anatoliy – Full Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: vniiti@mail.ru.

Mashkov Alexey – Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: vniiti@mail.ru.

Поступила в редакцию (Received): 27.01.2022 Принята к публикации (Accepted): 19.02.2022

УДК 621.899:620.19
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-1-108-118

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ОБРАЗОВАНИЯ УГЛЕРОДНОЙ ПЛЕНКИ НА ПОВЕРХНОСТИ УЗЛА ТРЕНИЯ

[1]Нагдаев Владимир Константинович
[2]Першин Владимир Федорович,
[1,2,3] Вигдорович Михаэль,
[1,4] Остриков Валерий Васильевич
[5]Сафонов Валентин Владимирович,