

Тип статьи: научная
УДК 631.171
DOI: 10.35887/2305-2538-2024-3-102-108

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМЫ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ВАРОЧНОГО КОТЛА С ПЛАВНЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ МОЩНОСТИ

*Анатолий Михайлович Шувалов*¹, *Алексей Николаевич Машков*²
^{1,2} *Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и
нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов, Российская Федерация*
¹ vniiti@mail.ru

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

Реферат. В статье рассмотрены особенности работы системы энергообеспечения газоиспользующего варочного котла в режиме пропорционального регулирования мощности. Они связаны с тем, что процесс приготовления продукта происходит в динамическом режиме: нагрев до кипения, варка и остывание. Эти циклы повторяются при каждой новой загрузке котла. Основным показателем эффективности работы котла является его коэффициент полезного действия (КПД). Рассматриваются два варианта определения КПД: расчетный и экспериментальный. Указывается, что в расчетном методе определения КПД существенное влияние на его величину оказывает удельная теплоёмкость корма (продукта), которая может варьировать в широком диапазоне в зависимости от состава. Установлено, что на точность расчета существенно влияют различные потери теплоты на нагрев металлоконструкций, на продувку паровой рубашки в начальный период работы котла, удаляемую теплоту от корпуса котла в окружающую среду, потери энергии сходящими в атмосферу газами, определяемые по формулам, в которых различные коэффициенты варьируют в широком диапазоне. Предлагается более точный метод определения КПД – экспериментальный. Экспериментальными исследованиями определены общий расход газа на нагрев продукта до кипения в автоматическом и в ручном режиме, отдельно определён расход газа на компенсацию потерь теплоты и на поддержание тихого кипения. По результатам экспериментальных исследований определена полезная составляющая энергии на нагрев продукта до кипения. По экспериментально полученным данным общего расхода газа и полезного определён КПД при работе котла в различных режимах.

Ключевые слова: потери энергии, кормоварочный котёл, термическая обработка, температура, мощность, экспериментальные исследования, кипение, полезная энергия.

RESEARCH RESULTS OF THE ENERGY SUPPLY SYSTEM OF A COOKER WITH SMOOTH POWER CONTROL

*Anatoliy Shuvalov*¹, *Alexey Mashkov*²

^{1,2} *All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture,
Tambov, Russian Federation*
¹ vniiti@mail.ru

Abstract. The article discusses the features of the operation of the energy supply system of a gas-using digester in the mode of proportional power control are discussed in the article. They are due to the fact that the process of preparing the product occurs in a dynamic mode: heating to a boil, cooking and cooling. These cycles are repeated with each new boiler loading. The main indicator of the efficiency of a boiler is its efficiency factor (COP). Two options for determining efficiency: calculated and experimental are considered. It is indicated that in the calculation method for determining efficiency, its value is significantly influenced by the specific heat capacity of the feed (product), which can vary over a wide

range depending on the composition. It has been established that the accuracy of the calculation is significantly influenced by various heat losses for heating metal structures, for purging the steam jacket during the initial period of boiler operation, heat removed from the boiler body into the environment, energy losses with gases escaping into the atmosphere, determined by formulas in which various coefficients vary over a wide range. A more accurate method for determining efficiency is proposed - experimental. The total gas consumption for heating the product to a boil in automatic and manual modes, the gas consumption for compensating for heat losses and maintaining a quiet boil was determined separately by experimental studies. The useful energy component for heating the product to a boil was determined based on the results of experimental studies. The efficiency when the boiler operates in various modes is determined from experimentally obtained data on the total gas consumption and useful gas consumption.

Keywords: energy losses, feed boiler, heat treatment, temperature, power, experimental studies, boiling, useful energy.

Для цитирования: Шувалов А.М., Машков А.Н. Результаты исследования системы энергообеспечения варочного котла с плавным регулированием мощности // Наука в Центральной России Science in the Central Russia. 2024. Т. 69, № 3. С. 102-108. <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-3-102-108>.

For citation: Shuvalov A., Mashkov A. Research results of the energy supply system of a cooker with smooth power control. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2024; 69(3): 102-108. (In Russ.) <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-3-102-108>.

Введение. В настоящее время правительством проводится широкомасштабная работа по газификации села. По добыче газа Россия занимает второе место в мире. На экспорт отправлено 35% от всего добытого газа [1-3]. Уровень газификации природным газом в сельском хозяйстве России составляет около 70% [4]. В соответствии с «Программой развития газоснабжения и газификации Тамбовской области с 2016 по 2021 годы» уровень газификации в сельской местности 82% [5]. В сельской местности в настоящее время прокладка газопроводов до ввода в сельский дом осуществляется за счет средств государства. Это способствует реализации широкомасштабной газификации села.

Однако изобилие природного газа, его дешевизна по сравнению с другими энергоносителями не стимулирует потребителя на его экономию. Здесь же следует указать, что в России энергоёмкость производства товаров и услуг в 2 раза больше, чем в странах западной Европы. До недавнего времени отопление сельских домов осуществлялось каменным углем или дровами. Корм животным и пищу приготавливали на электрических плитах или на газовых плитах с газобаллонным топливом. Это трудоёмкие и энергозатратные технологии.

В столовых сельхозпредприятий, сельских больницах и школах для приготовления пищи используют бачки, которые устанавливают на газовые плиты, работающие на природном или на сжиженном газе. Потери теплоты от не теплоизолированных бачков увеличивают расход газа. И не менее важно в летний период внешняя теплота от бачков значительно повышает температуру воздуха в столовых. Обслуживающий персонал вынужден открывать окна, в результате создаются сквозняки, что приводит к простудным заболеваниям.

С целью создания комфортных условий для обслуживающего персонала и энергосбережения в теплоэнергетических процессах создан экспериментальный образец системы энергообеспечения варочного котла с пропорциональным регулированием расхода газа [6, 7].

Известно, что эффективность работы варочного котла оценивается коэффициент полезного действия. Однако анализ основ теплопередачи и справочной литературы [7-14] показывает, что для расчетов составляющих теплового баланса и КПД используется широкий спектр коэффициентов, которые варьируют в широком диапазоне и существенно могут влиять на точность расчетов. В этой связи было принято решение определить КПД по результатам экспериментальных исследований.

Цель работы. Определить энергетическую эффективность системы энергообеспечения варочного котла с регулированием газа пропорционально потребляемому тепловому потоку.

Материалы и методы исследования. Для проведения исследований был создан макетный образец варочного котла (рисунок 1). В нём автоматика для регулирования потребляемого теплового потока выполнена на базе термоэлектрической батареи, разработанной с использованием полупроводниковых элементов Пельтье. В результате создан простой по устройству и надёжный в эксплуатации комплект автоматики регулирования расхода газа.

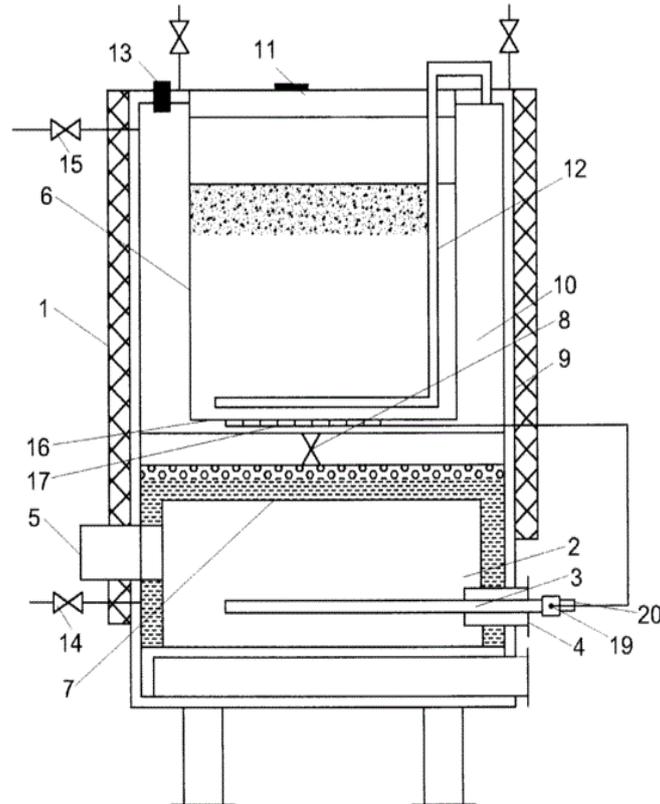


Рисунок 1 – Схема экспериментального образца кормоварочного котла с плавным регулированием мощности с варочной ёмкостью на 100л

Кормоварочный котел содержит корпус 1, топку с теплообменной камерой 2, газовую горелку 3, воздушную дверку 4, патрубок для отвода продуктов сгорания 5, варочный сосуд 6. Паровая рубашка 10 содержит предохранительный клапан 13 и краны подвода и отвода холодной и подогретой воды 14,15. На поверхности дна 16 варочного сосуда 6 смонтирована термоэлектрическая батарея 17, состоящая из полупроводниковых термоэлектрических элементов 18. Термоэлектрическая батарея 17 электрически соединена с входом газорегулирующего соленоида 19. При этом одна сторона термоэлектрических элементов омывается паром и нагрета до температуры пара. Противоположные поверхности элементов соединены с поверхностью дна варочного сосуда и имеют температуру этой поверхности, близкой к температуре корма, находящегося в варочном сосуде.

Методикой предусматривалось выявить энергосберегающий режим работы системы энергообеспечения и определить КПД по результатам экспериментальных исследований.

Результаты и их обсуждение. Оценочным показателем системы энергообеспечения варочного котла является коэффициент полезного действия, который определяется делением полезно затраченной энергии на разогрев корма в варочной ёмкости до кипения и последующей варки на общую энергию, включающую полезную составляющую энергии и суммарные потери, возникающие в процессе работы котла.

Следует отметить, что каждая составляющая теплового баланса варочного котла определяется по формулам, в состав которых входят различные коэффициенты с широким диапазоном по величине. Следовательно, расчетным путём нельзя определить достаточно точно КПД варочного котла.

Здесь же важно отметить особенности работы системы энергообеспечения котла с пропорциональным регулированием теплового потока. В этом случае расход газа изменяется нелинейно в функции времени, что усложняет и снижает точность определения КПД расчетным путём. Как следует из графика (рисунок 2) в варочном котле в начале нагрева котла температурный напор максимальный, так как температура котла минимальная и в результате потребляемый тепловой поток в первые тридцать минут максимальный - 14 л/мин. При закипании продукта (воды, котла, бульона) температура его близка к температуре пара в паровой рубашке котла и температурный напор минимальный, следовательно, и минимальный расход газа, равный 3,7 л/мин. Таким образом, потребляемый расход газа в автоматическом режиме изменяется нелинейно от максимума до минимума.

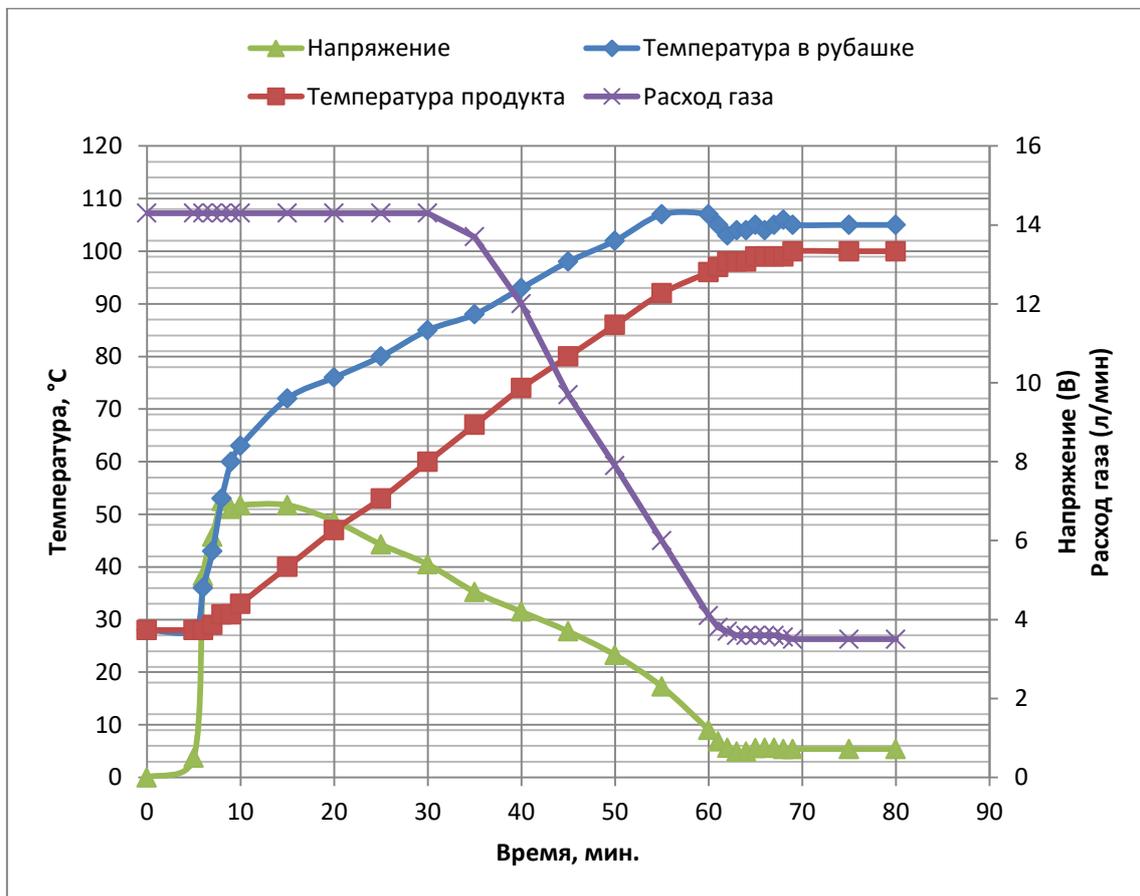


Рисунок 2 – Динамика расхода газа, температуры пара в паровой рубашке и разогреваемого продукта в режиме плавного регулирования мощности газовой горелки

По результатам экспериментальных исследований расход газа на нагрев содержимого варочной ёмкости составляет: в ручном режиме $L_p = 747$ л, в автоматическом - 618л. А расход газа на компенсацию потерь теплоты и поддержание тихого кипения в ручном режиме составляет $L_{пот.р} = 378$ л, в автоматическом - $L_{пот.ав} = 138$ л.

Для определения полезной составляющей расхода газа отделим полезную энергию тихого кипения от теплопотерь: на поддержание тихого кипения температура корма на 5 °С меньше и если 105 °С обеспечивается мощностью 9л/мин, то на 5 °С нужна мощность 0,43л/мин. Следовательно теплопотери в автоматическом режиме составят

$$L_{\text{ав.пот}} = 98,44\text{л.}$$

Полезная составляющая по экспериментальным данным составляет:

$$L_{\text{полез}} = L_{\text{общ}} - L_{\text{пот}} = 519,56\text{л}$$

Тогда КПД на разогрев содержимого варочной ёмкости до кипения в автоматическом режиме определится:

$$\text{КПД} = 519,56/618 = 0,84$$

Важно отметить, что полезная составляющая энергии на разогрев продукта и в автоматическом и в ручном режиме одинаковая.

Тогда КПД в ручном режиме:

$$\text{КПД} = 519,56/747 = 0,695$$

Низкий КПД в ручном режиме объясняется перерасходом потребляемого газа, то есть при отсутствии пропорционального регулирования расхода газа излишки топлива выбрасываются в атмосферу вместе с отработанными газами.

И так как энергия, вырабатываемая газовой горелкой варочного котла, используется не только на разогрев продукта до кипения, но и на варку продукта в течение необходимого времени, то рассмотрим вопрос потребления газа варочным котлом за полный цикл: разогрев до кипения плюс варка продукта. Варка продукта в варочном котле с расходом газа пропорционально потребляемому тепловому потоку осуществляется на минимальной мощности в режиме тихого кипения и зависит от длительности варки продукта.

Как следует из литературы, время варки продуктов составляет широкий диапазон от 0,5 до 3-х часов в зависимости от марки продукта, примем время варки продукта 60 мин.

Тогда расход газа на разогрев продукта и тихое кипение $L_{\text{общ}} = 798\text{л}$

Полезная составляющая на разогрев продукта до кипения и на тихое кипение в автоматическом режиме

$$L_{\text{а}} = L_{\text{т}} + L_{\text{пол}} = 699,7\text{л}$$

КПД котла в процессе варки продукта составляет:

$$\text{КПД} = 699,7 / 798 = 0,87$$

В ручном режиме расход газа на разогрев продукта и тихое кипение $L_{\text{общ,р}} = 1287\text{л}$

Полезная составляющая расхода газа в ручном режиме $L_{\text{р}} = 1059,7\text{л}$

КПД котла в ручном режиме = 0,82

Следует отметить, что при приготовлении корма животным и птицам, а так же для приготовления пищи в столовых возникает потребность загружать варочную ёмкость котла не на 100 кг, а например на 60 или на 40 кг. В этом случае полезная составляющая энергии на нагрев содержимого варочной ёмкости уменьшается пропорционально загрузке варочной ёмкости, а потери теплоты практически не уменьшаются. Следовательно, КПД варочного котла с уменьшением загрузки варочной ёмкости также уменьшается.

Кроме того существенное влияние на расход энергии оказывает длительность варки. Например, концентрированные корма можно приготовить за 60 минут, а мясные компоненты варятся 120-150 минут.

Для оценки влияния уровня загрузки варочной ёмкости и длительности варки на расход газа были проведены расчеты с учетом результатов экспериментальных исследований (таблица 1).

Таблица 1 - Расход газа на варку содержимого варочной ёмкости при различной загрузке котла и при различной длительности варки.

Длительность варки продукта, мин	60	90	120	150
Суммарный расход газа при загрузке варочной ёмкости на V=100кг, л	888	1023	1158	1293
Суммарный расход газа при загрузке V=60кг	696	844	993	1142
Суммарный расход газа при загрузке V=40кг	683	859	1034	1210

С учетом данных таблицы 1 и результатов экспериментальных исследований определён КПД котла при различной загрузке варочной ёмкости и различной длительности варки (таблица 2).

Таблица 2 - Коэффициент полезного действия при различной загрузке котла и длительности варки.

Длительность варки, мин	60	90	120	150
КПД при загрузке V= 100кг	0,87	0,75	0,67	0,6
КПД при загрузке V= 60 кг	0,67	0,55	0,47	0,41
КПД при загрузке V= 40 кг	0,45	0,4	0,3	0,26

Из таблицы 2 следует, что КПД котла с плавным регулированием мощности уменьшается с 0,87 до 0,45 с уменьшением загрузки варочной ёмкости и существенно уменьшается с увеличением времени варки.

Выводы.

1. КПД котла с плавным регулированием мощности при загрузке 100% достигает 0,87 и значительно выше КПД= 0,82 ручного режима, и снижается с 0,87 до 0,45 при уменьшении загрузки варочной ёмкости.
2. Коэффициент полезного действия кормоварочного котла с плавным регулированием мощности существенно уменьшается с увеличением длительности варки содержимого варочной ёмкости.

Список источников

1. Государственная программа развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013-2020 годы. – М., 2013. – 388 с.
2. Тихомиров Д.А., Тихомиров А.В. Оценка потребностей сельского хозяйства РФ в энергоресурсах, их структура на период до 2030г.//Инновации в сельском хозяйстве.-2018.-№28.-с.101-109
3. <http://global-finances.ru/dobycha-gaza-v-rossii-po-godam/>
4. <https://minenergo.gov.ru/node/16732>
5. mpgu.tambov.gov.ru/download/6800000000212108283
6. Патент на изобретение. №2708097 РФ. СПК А47J 27/06. Котёл кормоварочный /Шувалов А.М., Машков А.Н., Чернов Д.С.; заявитель и патентообладатель ФГБНУ ВНИИТиН. Опубл. 04.12.2019. Бюл. №34.
7. Хохрин, С.Н. корма и кормление животных / С.Н. Хохрин. – СПб.: Лань, 2002. – 512 с.
8. Мишуков, Н.П. Приготовление кормов в фермерских хозяйствах / Н.П. Мишуков. – М.: Росинформагротех, 2002. – 58 с.
9. Евтефеев, Ю.В. Кормопроизводство / Ю.В. Евтефеев. – Барнаул, 2001. – 360 с.
10. Астахов, А.С. Краткий справочник по машинам и оборудованию для животноводческих ферм / А.С. Астахов. 1977. – 256 с.
11. 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.
12. Исаченко В.П. Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. – М.: Энергия, 1981. – 416 с.
13. Беляев М.И. Тепловое оборудование. – М.: Экономика, 1990. – 559 с.

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

References

1. State program for the development of agriculture and regulation of markets for agricultural products, raw materials and food for 2013-2020. – М., 2013. – 388 p.
2. Tikhomirov D.A., Tikhomirov A.V. Assessment of the needs of agriculture in the Russian Federation for energy resources, their structure for the period up to 2030 // Innovations in agriculture. - 2018. - No. 28. - pp. 101-109
3. <http://global-finances.ru/dobycha-gaza-v-rossii-po-godam/>
4. <https://minenergo.gov.ru/node/16732>
5. mpgu.tambov.gov.ru/download/680000000212108283
6. Patent for invention. No. 2708097 RF. SPK A47J 27/06. Feed boiler / Shuvalov A.M., Mashkov A.N., Chernov D.S.; applicant and patent holder FGBNU VNIITiN. Publ. 04.12.2019. Bull. No. 34.
7. Khokhrin, S.N. feed and feeding of animals / S.N. Khokhrin. – St. Petersburg: Lan, 2002. – 512 p.
8. Mishurov, N.P. Preparation of feed on farms / N.P. Mishurov. – М.: Rosinformagrotekh, 2002. – 58 p.
9. Evtfeev, Yu.V. Feed production / Yu.V. Evtfeev. – Barnaul, 2001. – 360 p.
10. Astakhov, A.S. A short guide to machines and equipment for livestock farms / A.S. Astakhov. 1977. – 256 p.
11. Antufiev, V.T. The concept of improving gas digester boilers / V.T. Antufiev, M.A. Amosova // Scientific journal of NRU ITMO. Series “Processes and apparatus of digestive production”, 2007. - No. 1.
12. Isachenko V.P. Osipova V.A., Sukomel A.S. Heat transfer. – М.: Energy, 1981. – 416 p.
13. Belyaev M.I. Thermal equipment. – М.: Economics, 1990. – 559 p.
14. Litvina L.S. Frolova Z.S. Thermal equipment for public catering. – М.: Economics, 1987. – 272 p.

Информация об авторах

А.М. Шувалов - доктор технических наук, профессор; А. Н. Машков - кандидат технических наук.

Information about the authors

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

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): 01.06.2024 Принята к публикации (Accepted): 24.06.2024