Тип статьи: научная
УДК 631.171
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-4-20-27

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВАРОЧНОГО КОТЛА ОПТИМИЗАЦИЕЙ РАБОТЫ ГАЗОВОЙ ГОРЕЛКИ

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. *Применение природного газа при термической обработке кормов снижает себестоимость животноводческой продукции и повышает конкурентоспособность на внешнем рынке. Анализ различных модификаций газоиспользующих варочных котлов с широким диапазоном по производительности и конструктивному исполнению, предлагаемых внешним рынком, показал, что их общим недостатком является отсутствие автоматического регулирования расхода газа пропорционально тепловому потоку, идущему на нагрев корма до кипения и в процессе кипения. Разработан энергоэкономный кормоварочный котёл с автоматической системой регулирования расхода газа пропорционально потребляемому тепловому потоку. Исследования проводили на экспериментальном образце кормоварочного котла, в котором автоматизированная система регулирования расхода газа, выполненная на базе полупроводниковых термоэлектрических элементов, воздействует на исполнительный механизм без промежуточных усилителей выходного сигнала. Изучали эффективность работы автоматизированной системы энергообеспечения по экспериментальным исследованиям динамики расхода газа в процессе термической обработки корма в автоматическом и ручном режиме. Установили, что суммарное потребление газа на приготовление 100 кг корма в автоматическом режиме с регулированием расхода газа пропорционально потребляемому тепловому потоку в 1,2 раза меньше, чем при работе котла в ручном режиме. Наиболее оптимальный режим по экономии топлива обеспечивается при задании газовой горелкой в начальный период разогрева до мощности 14 кВт для варочного котла объёмом 100 литров. Для котлов с более мощными газовыми горелками (22 кВт) происходит перерасход газа до 20%.*

Ключевые слова: *варочный котел, корм, газ, автоматическое регулирование, энергетическая эффективность.*

INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY OF THE BOILER BY OPTIMIZING THE OPERATION OF THE GAS BURNER

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. *The use of natural gas in the heat treatment of feed reduces the cost of livestock products and increases competitiveness in the foreign market. An analysis of various modifications of gas-using digesters with a wide range of performance and design, offered by the foreign market, showed that their common disadvantage is the lack of automatic gas flow control in proportion to the heat flow used to heat the feed to boiling and during boiling. An energy-saving fodder boiler with an automatic gas flow control system in proportion to the consumed heat flow has been developed. The studies were carried out on an*

experimental sample of a feed boiler, in which an automated gas flow control system based on semiconductor thermoelectric elements acts on the actuator without intermediate output signal amplifiers. The efficiency of the automated energy supply system was studied by experimental studies of the dynamics of gas consumption in the process of thermal processing of feed in automatic and manual modes. It was found that the total gas consumption for the preparation of 100 kg of feed in automatic mode with gas flow control proportional to the consumed heat flow is 1.2 times less than when the boiler is in manual mode. The most optimal mode for saving fuel is provided when setting the gas burner in the initial period of heating up to a power of 14 kW for a digester with a volume of 100 liters. Gas overrun up to 20% occurs for boilers with more powerful gas burners (22 kW).

Keywords: *digester, feed, gas, automatic control, energy efficiency.*

Для цитирования: Шувалов А.М., Машков А.Н., Попов М.А. Повышение энергетической эффективности варочного котла оптимизацией работы газовой горелки // Наука в Центральной России. 2023. Т. 64, № 4. С. 20-27. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-4-20-27.

For citation: Shuvalov A, Mashkov A., Popov M. Increasing the energy efficiency of the boiler by optimizing the operation of the gas burner. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 64(4): 20-27. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-4-20-27.

Введение. Природный газ пока еще самый дешевый и распространенный энергоноситель, который интенсивно используется для развития сельских территорий. Для этого используют газовые отопительные, варочные котлы и газовые плиты. В сельской местности почти каждое домовладение имеет личное подсобное хозяйство (ЛХП), где большая доля природного газа используется для приготовления пищи, кормов животным и птицам. Однако в крупных ЛПХ и в фермерских хозяйствах, где содержат 2 – 3 коровы, выращивают 3 – 5 голов свиней, а также 15 – 20 кур выгодно приготовлять корм не на газовых и электрических плитах с варочными бачками, а в варочных котлах. На рынке предлагаются различные модификации газоиспользующих варочных котлов с широким диапазоном по производительности и конструктивному исполнению. Общим недостатком таких котлов является отсутствие в их конструктивно-технологической схеме автоматического регулирования расхода газа пропорционально тепловому потоку, идущему на нагрев корма до кипения и в процессе кипения. Это приводит к перерасходу газа на процесс приготовления корма. Поэтому актуальность модернизации существующих варочных котлов с применением перспективных средств регулирования расхода газа пропорционально потребляемому тепловому потоку сомнений не вызывает [1 – 3].

Материалы и методы. В работе использованы аналитический, сравнительный методы и материалы лабораторных экспериментов.

В ФГБНУ ВНИИТиН для снижения расхода энергии в процессе приготовления корма разработан варочный котёл с плавным регулированием расхода газа пропорционально потребляемому тепловому потоку. Автоматизированная система энергообеспечения кормоварочного котла разработана на базе серийно выпускаемых средств автоматики для бытовых отопительных котлов типа НЕВА с применением в ней дополнительной схемы для плавного регулирования расхода газа и с использованием для этих целей перспективных полупроводниковых термоэлектрических элементов.

Конструктивно-технологическая схема газоиспользующего кормоварочного котла, новизна технического решения которого защищена патентом РФ [4], приведена на рисунке 1.

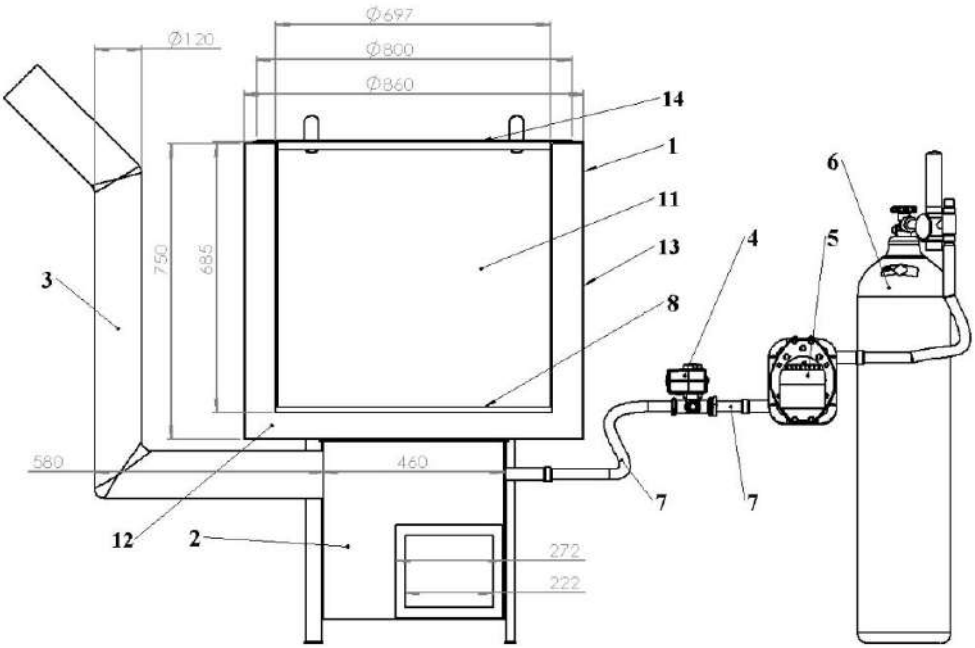


Рисунок 1 – Модель действующего экспериментального образца газоиспользующего кормоварочного котла

Кормоварочный котел содержит корпус 1, топку 2, патрубок для отвода продуктов сгорания 3, соленоидный клапан 4, газовый счетчик 5, газовый баллон 6, соединяющие патрубки 7, управляющий элемент 8, датчики температуры 9, газовый расходомер 10. Топка 2 ограждена от варочного сосуда 11 теплообменной камерой 12. Корпус 1, камера 12 и сосуд 11 образуют пароводяную рубашку 13 . Котел закрывается герметичной крышкой 14. Размер топки 2 соответствует размерам устанавливаемых газогорелочных устройств [5 – 9].

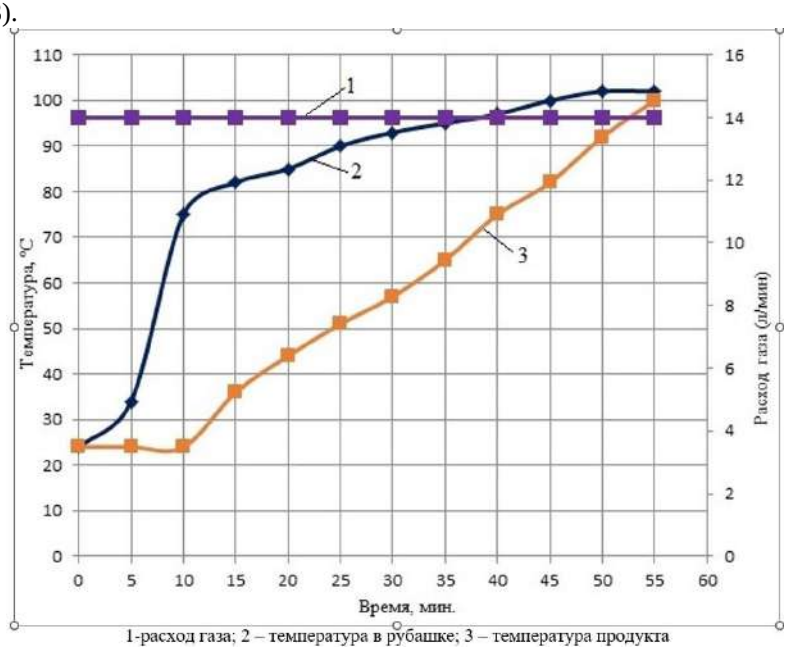
Анализ мощности газоиспользующих варочных котлов показывает, что комплектуют котлы газовыми горелками на одну и ту же производительность котла с различной мощностью [10]. Наши исследования показывают, что каждому объёму варочной ёмкости должна соответствовать рациональная мощность газовой горелки.

Результаты исследований регулируемого расхода газа в варочном котле при различной установленной мощности газовой горелки показывают, что при установленной её мощности 14 л/мин (21 кВт) расход газа на разогрев до кипения в ручном режиме составил 770 л, а в автоматическом – 684 л/мин, экономия газа при этом составила 11,2% (таблица 1).

Таблица 1. Результаты исследований расхода и экономии газа при различных мощностях газовой горелки и при разогреве до кипения 100 л воды

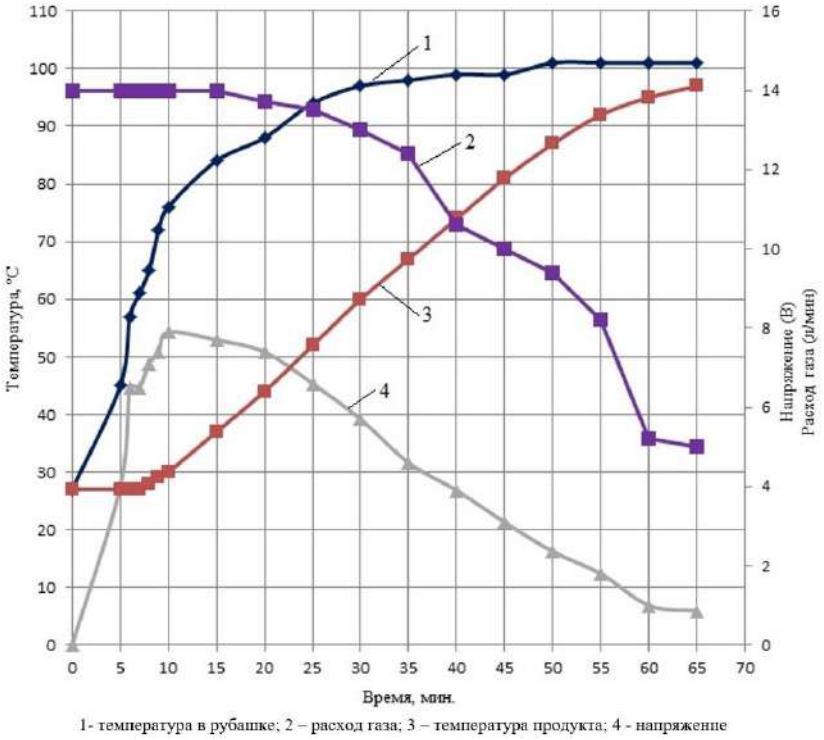
Режим работы	Мощность газовой горелки (л/мин)	Мощность в режиме тихого кипения	Время нагрева до 100 °С, мин	Расход газа, л	Экономия газа, %
Ручной	14	-	55	770	12,2 % экономия в автоматическом режиме
Автоматический	14	7	80	684	
Автоматический	11	3,7	74	659	12%.
Ручной	11	3	60	749	
Ручной	9	4,5	83	747	17,26 %.
Автоматический	9	4,5	90	618	
	14 в ручном режиме 9 в автоматическом режиме		55 90	770 618	19,74 %
	14 в автоматическом режиме 9 в автоматическом режиме		80 90	684 618	9,64 %

Время нагрева воды до кипения в ручном режиме 55 мин (рисунок 2), в автоматическом 80 мин (рисунок 3).



1-расход газа; 2 – температура в рубашке; 3 – температура продукта

Рисунок 2 – Разогрев с максимальной мощностью 14л/мин 100 л воды без регулирования (ручной режим)

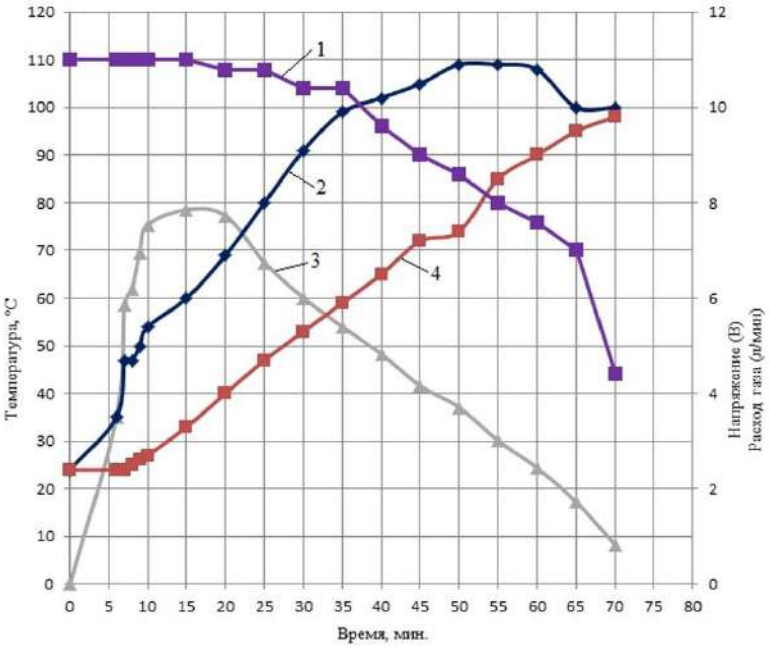


1- температура в рубашке; 2 – расход газа; 3 – температура продукта; 4 - напряжение

Рисунок 3 –Разогрев с максимальной мощностью (14 л/мин) 100 л воды в автоматическом режиме

Экономия расхода газа при нагреве 100л воды до кипения за счет применения автоматического регулирования вместо ручного и за счет уменьшения мощности с 14 л/мин до 9 л/мин составляет 19,74%. При этом нагрев до кипения длится 90 мин.

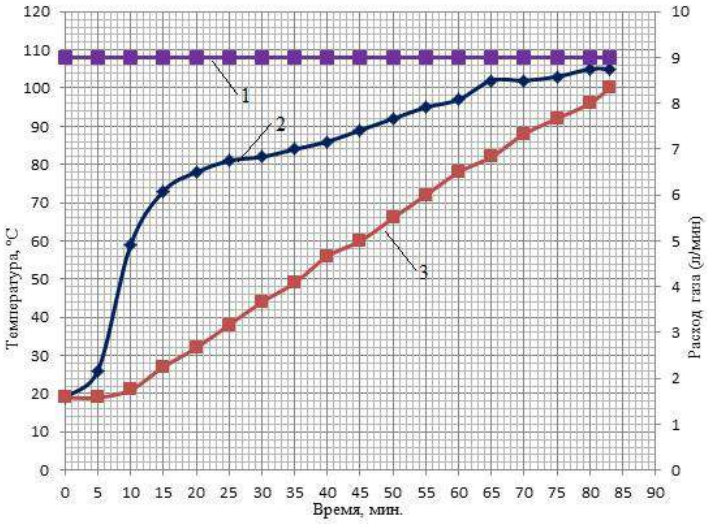
В регулируемом режиме с установленной мощностью газовой горелки равной 11 л/мин расход газа составил 659л, а время нагрева достигло 74 мин (рисунок 4).



1- расход газа; 2 – температура в рубашке; 3 – напряжение; 4 - температура продукта

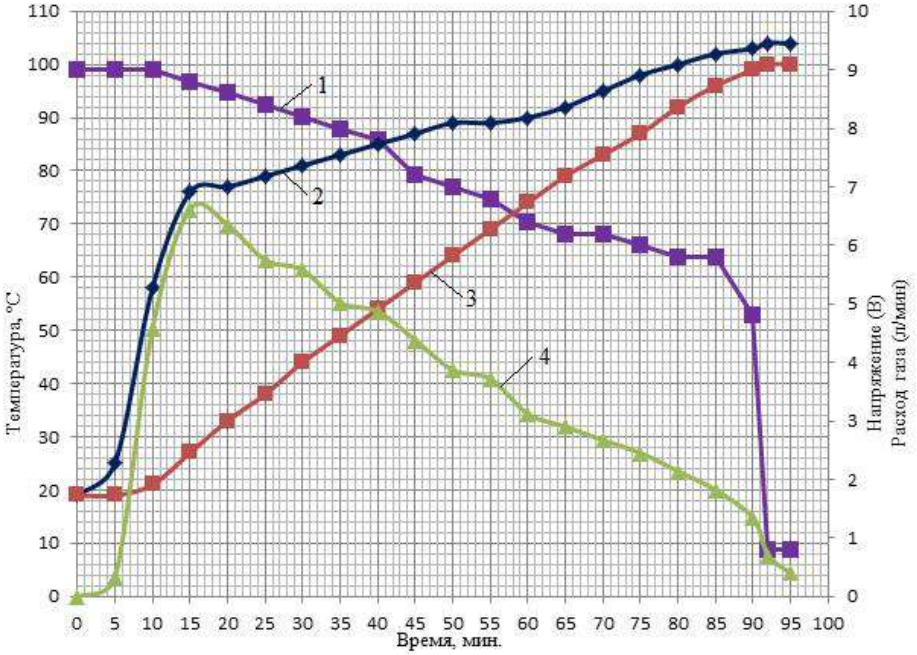
Рисунок 4 – Расход газа и время нагрева 100 л. установленной мощностью газовой горелки 11 л/мин.

При минимальной установленной мощности газовой горелки (9 л/мин) расход газа в регулируемом режиме составил 654л, а без регулирования – 747л. При этом время нагрева в ручном режиме составило 83 мин (рисунок 5), а в автоматическом 90 мин (рисунок 6).



1- расход газа; 2 – температура в рубашке; 3 – температура продукта

Рисунок 5 – Расход газа и времени нагрева 100 л. воды с установленной мощностью газовой горелки 9 л/мин в ручном режиме



1- расход газа; 2– температура в рубашке; 3 – температура продукта; 4 - напряжение
Рисунок 6 – Расход газа и времени нагрева 100 л. воды с установленной мощностью газовой горелки 9 л/мин в автоматическом режиме.

Здесь очень важно отметить, что в этом опыте при установленной мощности 9л/мин снижение расхода газа начинается быстро, уже через 10 мин, а в проведенном опыте не на скорректированном регуляторе и газовой горелки снижение начиналось лишь через 30 мин [8]. То есть в данном случае экономия газа началась не через 30 мин, а через 10мин.Это говорит о повышении чувствительности всей системы автоматического регулирования. Не менее важно отметить, что в этом опыте потребляемая мощность газовой горелки в режиме тихого кипения составляла 0,8 л/мин. Минимальный расход газа в режиме тихого кипения позволяет максимально экономить энергию в процессе нагрева продукта до кипения и осбенно в процессе длительной варки в режиме тихого кипения по отношению к ручному режиму [8 – 11].

Таким образом, из приведённых выше результатов исследований следует, что наиболее оптимальный режим по экономии топлива обеспечивается при задании газовой горелкой в начальный период разогрева до мощности, равной 9 л/мин (14 кВт). С такой мощностью следует укомплектовывать варочные котлы объёмом 100 литров. В случае постоянного дефицита рабочего времени можно применять варочные котлы с более мощными газовыми горелками 14 л/мин (22 кВт), но при этом будет осуществляться перерасход газа до 20%.

Выводы.

1. Применение автоматизированной системы энергообеспечения варочного котла с плавным регулированием мощности обеспечивает экономию газа до 19,74 %.

2. Наиболее экономичный режим работы варочного котла обеспечивается при номинальной мощности газовой горелки 14 кВт.

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. Хохрин, С.Н. корма и кормление животных / С.Н. Хохрин. – Спб.: Лань, 2002. – 512 с.

3. Мишуров, Н.П. Приготовление кормов в фермерских хозяйствах / Н.П. Мишуров. – М.: Росинформагротех, 2002. – 58 с.

4. Патент № 2708097 С1 Российская Федерация, МПК А47J 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).

5. 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.

6. 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.

7. 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, ВИИТиН, 2020. - 102с.

9. Шувалов, А. М. Исследование режимов работы термостатирования в аппаратах многофункциональной энерготехнологической установки для крестьянских хозяйств / А. М. Шувалов, А. Н. Машков // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. – 2018. – № 3(31). – С. 29-30.

10. zeo55/ru/shop/36/desk/kotel varoshnu

11. Хазмалян Д.М. Теория топочных процессов. – М.: «Энергоатомиздат», 1990. – 352 с.

12. Отчет о НИР «Разработка универсального водогрейного агрегата с альтернативным энергоносителем жидкому топливу». – Тамбов, ВИИТиН, 1995. – 219 с.

References

1. State program for the development of agriculture and regulation of agricultural products, raw materials and food markets for 2013-2020. - M., 2013. - 388 p.

2. Khokhrin, S.N. animal feed and feeding / S.N. Khokhrin. - St. Petersburg: Lan, 2002. - 512 p.

3. Mishurov, N.P. Feed preparation in farms / N.P. Mishurov. – M.: Rosinformagrotekh, 2002. – 58 p.

4. Patent No. 2708097 C1 Russian Federation, IPC A47J 27/06. Feed boiler: No. 2019116589: App. 05.29.2019: 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).

5. Shuvalov, A. M., A. N. Mashkov, D. S. Chernov, Energy-saving digester with smooth gas flow control, Science in Central Russia. - 2021. - No. 2 (50). - S. 55-61.

6. Antufiev, V.T. The concept of improving gas cooking boilers / V.T. Antufiev, M.A. Amosov // Scientific journal NRU ITMO. Series "Processes and devices for food production", 2007. - No. 1. 61.

7. Shuvalov A. M., Nabatov K. A., Mashkov A. N., Chernov D. S. Substantiation of the parameters of a self-regulating system of energy supply to brewers. Vestnik VIESKh. - 2014. - No. 3 (16). - S. 72-74.

8. Research report “Create an operating experimental gas-using power supply system for a digester with self-regulation of power.” - Tambov, VIITiN, 2020. -102p.

9. Shuvalov, A. M. Study of the operating modes of thermostating in devices of a multifunctional energy-technological installation for peasant farms / A. M. Shuvalov, A. N. Mashkov // Bulletin of the All-Russian Scientific Research Institute of Livestock Mechanization. - 2018. - No. 3 (31). - S. 29-30.

10.zeo55/ru/shop/36/desk/kotel varoshnu

11. Khazmalyan D.M. Theory of furnace processes. - M.: "Energoatomizdat", 1990. - 352 p.

12. Research report “Development of a universal water-heating unit with an alternative energy carrier to liquid fuel”. - Tambov, VIITin, 1995. - 219 p.

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

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): 02.08.2023 Принята к публикации (Accepted): 27.08.2023