УДК 631.017.3: 621.181

DOI: 10.35887/2305-2538-2021-2-55-61

ЭНЕРГОЭКОНОМНЫЙ ВАРОЧНЫЙ КОТЁЛ С ПЛАВНЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ РАСХОДА ГАЗА

¹Шувалов Анатолий Михайлович¹Машков Алексей Николаевич¹Чернов Денис Серафимович

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

Реферат. Выявлена проблема отсутствия специального отечественного кормоприготовительного оборудования для фермерских и личных подсобных хозяйств. Установлено, что 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. Занимались модернизацией существующих варочных котлов для сокращения перерасхода природного газа. Разработан энергоэкономный кормоварочный котёл с автоматической системой регулирования расхода газа пропорционально потребляемому тепловому потоку. Создан экспериментальный образец кормоварочного котла, в котором автоматизированная система регулирования расхода газа, выполненная на базе полупроводниковых термоэлектрических элементов, воздействует на исполнительный механизм без промежуточных усилителей выходного сигнала. Оценивали 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 при работе котла в ручном режиме составляет 0,744 м³, при работе в автоматическом режиме с регулированием расхода газа пропорционально потребляемому тепловому потоку – 0,588 м³. Применение автоматизированной системы энергообеспечения варочного котла с плавным регулированием мощности обеспечивает экономию газа до 21 %.

Ключевые слова: варочный котел, тепловой поток, регулирование, газ.

ENERGY-SAVING DIGESTER WITH SMOOTH GAS FLOW CONTROL

¹Shuvalov Anatoliy¹Mashkov Alexey¹Chernov Denis

¹FSBSI "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture"

Abstract. The problem of the lack of special domestic feed preparation equipment for farms and personal subsidiary plots has been identified. It has been established that the use of natural gas in the thermal processing of feed reduces the cost of livestock products and increases competitiveness in the foreign market. Analysis of various modifications of gas-powered digesters with a wide range of productivity and design offered by the external market has shown that their common disadvantage is the lack of automatic regulation of gas flow proportional to the heat flux used to heat feed to boiling and during boiling. We were engaged in the modernization of the existing digesters to reduce the overconsumption of natural gas. An energy-saving feed boiler with an automatic gas flow control system proportional to the consumed heat flow has been developed. An experimental sample of a fodder boiler was created in which an automated gas flow control system based on semiconductor thermoelectric elements acts on an actuator without intermediate amplifiers of the output signal. The efficiency of the automated power supply system was assessed by experimental studies of the dynamics of gas consumption

in the process of heat treatment of feed in automatic and manual modes. It was found that the total gas consumption for the preparation of 100 kg of feed when the boiler is operating in manual mode is 0.744 m³, when operating in automatic mode with gas flow rate control proportional to the consumed heat flow – 0.588 m³. The use of an automated power supply system for the digester with smooth power control provides gas savings of up to 21 %

Keywords: digester, heat flow, regulation, gas.

Введение. В России, в том числе в Тамбовской области проводится широкомасштабная газификация сельхозпредприятий, фермерских хозяйств, сельских домов с личными подсобными хозяйствами [1 – 3]. Общеизвестно, что природный газ самый дешевый энергоноситель и интенсивно развивающаяся газификация села позволяет переводить отопление контор сельхозпредприятий, сельских школ, больниц, индивидуальных домов и приготовление пищи, кормов на природный газ. Для этого используют газовые отопительные котлы и газовые плиты [4], а где нет газа, широкое применение находят электрические плиты. Следует отметить, что почти каждый домовладелец в сельской местности имеет личное подсобное хозяйство (ЛПХ) и там значительная 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 так же 15 – 20 кур выгодно готовить корм не на газовых, плитах с варочными бачками, а в варочных котлах. На внешнем 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 [5]. Это приводит к перерасходу газа на процесс приготовления корма [6]. Поэтому актуальность модернизации существующих варочных котлов с применением перспективных средств регулирования расхода газа пропорционально потребляемому тепловому потоку сомнений не вызывает.

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

Результаты и их обсуждение. Следует отметить, что режимы работы варочных котлов имеют свои особенности: в начальный период работы котла мощность (расход газа в единицу времени) системы его энергообеспечения должна быть максимальной, так как в этот момент идёт разогрев металлических конструкций, воды до кипения в пароводяной камере, производство пара и подача его в паровую рубашку. Кроме того в этот момент наблюдается максимальный температурный напор (разность температуры между паром и поверхностью варочной ёмкости), что так же требует максимального теплового потока. И лишь когда в варочной ёмкости нагревается корм (продукт), то есть когда начинает уменьшаться тепловой напор, за счет средств автоматизации должна пропорционально уменьшаться потребляемая мощность котла [6]. Это уменьшение мощности заканчивается в процессе закипания продукта, так как температура корма в этот момент почти равна температуре пара в паровой рубашке. Дальнейшая варка продукта должна осуществляться на минимальной мощности, требуемой на компенсацию потерь теплоты в окружающую среду и на поддержание процесса кипения. При работе котла в ручном режиме мощность системы энергообеспечения его постоянная, то есть не уменьшается в процессе разогрева корма, и излишки вырабатываемой теплоты выбрасываются в атмосферу.

В ФГБНУ ВНИИТиН для снижения расхода энергии в процессе приготовления корма разработан варочный котёл с плавным регулированием расхода газа пропорционально потребляемому тепловому потоку [7, 8]. 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 [9].

Рассмотрим порядок работы системы энергообеспечения, показанной на схеме (рисунок 1). В начальный момент времени до начала работы газовой горелки газ из питающего газового патрубка свободно поступает через газовый патрубок и нормально открытый управляющий клапан в заземленную область к управляющим клапанам. Газовый клапан к основной горелке переключит.

- 1 – блок управления; 2 – газовый канал в замембранную область; 3 – управляющий газовый клапан;
4 – газовый клапан к запальной горелке; 5 – замембранная область;
6 – газовый патрубок запальной горелки; 7 – датчик перегрева воды;
8 – термоэлектрические элементы; 9 – датчик контроля тяги; 10 – электрод розжига;
11 – запальная горелка; 12 – варочная емкость; 13 – датчик контроля наличия пламени;
14 – основная горелка; 15 – газовый патрубок к основной горелки;
16 – газовый клапан основной горелки; 17 – питающий газовый патрубок;
18 – эластичная мембрана; 19 – микровыключатель; 20 – аккумулятор;
21 – соленоид управляющего клапана; 22 – задвижка

Рисунок 1 – Конструктивно-технологическая схема пропорционального регулирования расхода газа

Напряжение от термоэлектрического элемента не подается на соленоид управляющего клапана, и связанная с ним через металлический шток задвижка находится в отрытом положении под действием пружины. Процесс запуска и работы газовой горелки начинается после срабатывания микровыключателя. При срабатывании и удержании микровыключателя в замкнутом положении напряжение от аккумулятора поступает к блоку управления, датчику перегрева и датчику тяги. В том случае, если датчики замкнуты, а так же датчик контроля наличия пламени не подает напряжение на контроллер, последний подает напряжение на управляющий газовый клапан к запальной горелке и он открывается, пропуская газ к запальной горелке. Параллельно с этим блок управления подает высокое напряжение на электрод розжига в виде импульсов. Газ проходит через управляющий газовый клапан к запальной горелке и происходит розжиг газовоздушной смеси. Датчик контроля наличия пламени нагревается и подает напряжение на блок управления, тем самым блок управления фиксирует состоявшийся розжиг. После этого блок управления подает напряжение на управляющий нормально открытый газовый клапан

закрывая его. Управляющий газовый клапан к запальной горелке при этом находится в открытом состоянии и оставшийся в за мембранной области газ выходит через газовый патрубок к запальной горелке и сгорает. В этот момент давление в за мембранной области уменьшается и становится меньше давления газа в питающем газовом патрубке. Под действием разницы давлений происходит открытие газового клапана к основной горелке и газ поступает на основную горелку. При этом газ в за мембранной области заканчивается, запальная горелка гаснет, а блок управления при этом перестает подавать напряжение на управляющий газовый клапан к запальной горелке. Газовый клапан к основной горелке остается открытым в максимальном положении. В данной конструктивно-технологической схеме отсутствует датчик температуры и блок управления удерживает управляющий газовый клапан в максимально открытом положении. В процессе работы основная горелка нагревает теплообменник пароводяной камеры и вместе с ним нагревается термоэлектрический элемент, прикрепленный к его поверхности. Наличие перепада температур между верхней и нижней поверхностями термоэлектрического элемента является причиной возникновения напряжения на его выходных контактах, и чем больше разница температур, тем выше уровень напряжения между контактами. Термоэлектрический элемент соединен с соленоидом управляющего клапана с помощью проводов. При изменении напряжения на контактах соленоида управляющего клапана его сердечник, который также является штоком задвижки, начинает перемещаться и закрывать задвижку, преодолевая сопротивление пружины. Зазор между задвижкой и газовым патрубком к основной горелке, через который проходит газ к основной горелке уменьшается. Также снижается температура нагрева теплообменника и термоэлектрического элемента. Перепад температур на верхней и нижней поверхностях термоэлектрического элемента перестает увеличиваться и движение штока соленоида управляющего клапана и задвижки прекращается, фиксируя тем самым расход газа в определенном положении. При увеличении или уменьшении перепада температур соответственно прямо пропорционально меняется и положение задвижки, и расход газа. Физические параметры задвижки, пружины и соленоида подобраны таким образом, чтобы при достижении температуры кипения нагреваемого продукта перепад температур между верхней и нижней поверхностями термоэлектрического элемента соответствовал напряжению на соленоиде управляющего клапана, при котором зазор между задвижкой и газовым патрубком к основной горелке будет минимально возможным для прохождения достаточного количества газа, чтобы основная горелка не погасла и находилась в режиме поддержания температуры тихого кипения воды.

При срабатывании датчика тяги, датчика перегрева или выключении микровыключателя прекращается питание блока управления, управляющие клапаны приходят в нормальное состояние (открытое или закрытое). В этом случае, как и в начальном положении, газ заполняет за мембранную область, давление в за мембранной области и в питающем газовом патрубке выравнивается и газовый клапан к основной горелке закрывается под действием силы пружин двухходового клапана. В данной конструктивно-технологической схеме блок управления вместе с управляющими газовыми клапанами выполняют функцию розжига и обеспечения безопасности, контролируя сигналы с датчиков тяги, перегрева и контроля наличия пламени. Функции управления расходом газа и процессом нагрева полностью выполняются системой: термоэлектрический элемент – соленоид управляющего клапана – задвижка. Система энергообеспечения построена таким образом, что процесс регулирования выполняется самостоятельно, без промежуточных усилителей управляющего сигнала.

Для оценки эффективности работы автоматизированной системы энергообеспечения проведены экспериментальные исследования.

В варочную ёмкость заливали 100 литров холодной воды, заполняли технологической водой пароводяную камеру, открывали подачу газа из газового баллона, включали горелку и осуществляли замеры через 5 минут температуры воды, температуры пара в паровой рубашке, напряжение термоэлектрических элементов, расход газа. Замеры снимались до начала кипения воды. А так же после закипания воды отдельно осуществляли замеры расхода газа на компенсацию теплопотерь и поддержание температуры воды в режиме тихого кипения. Исследования показали, что в начальный период времени (до 5 минут 20 секунд) происходит нагрев воды в пароводяной камере до кипения. После начала кипения технологической воды пар начинает интенсивно поступать в паровую рубашку котла и фиксируется при этом резкий рост температуры пара в паровой рубашке (рисунок 2).

Разогрев с регулированием

Рисунок 2 – Динамика расхода газа и температуры продукта с горелкой НЕВА

Так как полупроводниковые термоэлектрические элементы прикреплены к поверхности варочной ёмкости, то на одной поверхности их температура равна температуре пара, а на другой поверхности равна температуре продукта (воды) в варочной ёмкости. И так как в начальный период нагрева продукта температура его минимальная, то на поверхностях термоэлектрических элементов наблюдается максимальный перепад температуры. В результате этого на контактах термоэлектрических элементов возникает максимальное напряжение (рисунок 2). В процессе нагрева продукта происходит уменьшение разности температур между поверхностями термоэлектрических элементов. Этому уменьшению перепада температур соответствует уменьшение напряжения на выходе термоэлектрических элементов. И через 30 минут начинается снижение расхода газа прямо пропорционально изменению температуры на поверхностях термоэлектрических элементов, которое длится в течение 39 минут. После закипания воды в варочной ёмкости расход газа становится минимальным (3,3 л/мин) для поддержания температуры кипения продукта и для компенсации потерь теплоты в окружающую среду. Исследованиями установлено, что суммарный расход газа в автоматическом режиме работы на нагрев 100 литров воды до температуры кипения составил $0,588 \text{ м}^3$. Опыты показали, что суммарный расход газа в ручном режиме работы котла при разогреве этого же количества воды до кипения составил $0,744 \text{ м}^3$. Таким образом экономия газа за счет применения автоматизированной системы энергообеспечения процесса приготовления корма в варочном котле составляет 21%.

Достоинствами автоматизированной системы энергообеспечения варочного котла являются:

- применена энергонезависимая от централизованного электроснабжения (от аварийных режимов работы, плановых отключений электрических сетей, подстанций) система энергообеспечения варочного котла;
- автоматизированная система регулирования расхода газа, выполненная на базе полупроводниковых термоэлектрических элементов воздействует на исполнительный механизм без промежуточных усилителей выходного сигнала;

Выводы.

1. Применение автоматизированной системы энергообеспечения варочного котла с плавным регулированием мощности обеспечивает экономию газа до 21 %.

2. Энергонезависимость системы энергообеспечения варочного котла от централизованной системы электроснабжения повышает надёжность процесса приготовления корма.

3. Использование в схеме автоматики полупроводниковых нагревательных элементов для плавного регулирования расхода газа позволяет упростить её и сократить затраты на комплектацию.

Список литературы

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

2. Государственная программа развития сельского хозяйства на 2013 – 2020 годы. – М., 2013. – 388 с.

3. Шувалов А.М., Калинин В.Ф., Набатов К.А. Мониторинг энергопотребления сельхозпредприятий Тамбовской области // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: тр. 6-й междунар. конф. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2008. – С. 260 – 265.

4. Беляев М.И. Тепловое оборудование. – М. Экономика, 1999. – 559 с.

5. Ануфриев В.Т. Концепция совершенствования газовых пищеварочных котлов // Научный журнал НИУ ИТМО. – Сер. «Процессы и аппараты пищеварочных производств». – 2007. – № 1.

6. 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.

7. Патент №2708097 РФ. СПК А47 27/06. Котёл кормоварочный: опубл. 04.12.2019. Бюл. №34. / Шувалов А.М., Машков А.Н., Чернов Д.С.; заявитель и патентообладатель ФГБНУ ВНИИТиН.

8. Патент №79025 Котёл кормоварочный: опубл. 20.12.2008, бюл № 35 / Шувалов А.М., Иконников А.

9. Трунов С.С., Тихомиров Д.А., Ламонов Н.Г. Методика расчета термоэлектрической установки для осушения воздуха // Инновации в сельском хозяйстве. – №3(32). – 2019. – С. 261 – 271.

References

1. Tihomirov D.A., Tihomirov A.V. Ocenka potrebnostej sel'skogo hozyajstva RF v energoresursah, ih struktura na period do 2030g // Innovacii v sel'skom hozyajstve. – 2018. – №28. – С.101-109.

2. Gosudarstvennaya programma razvitiya sel'skogo hozyajstva na 2013-2020 gody. – М., 2013. – 388 s.

3. SHuvalov A.M., Kalinin V.F., Nabatov K.A. Monitoring energopotrebleniya sel'hozpredpriyatij Tambovskoj oblasti // Energoobespechenie i energosberezhenie v sel'skom hozyajstve: tr. 6-j mezhhdunar. konf. – М.: GNU VIESKH, 2008. – S.260-265.

4. Belyaev M.I. Teplovoe oborudovanie. – М. Ekonomika, 1999. -559 s.

5. Anufriev V.T. Konceptiya sovershenstvovaniya gazovyh pishchevarochnyh kotlov // Nauchnyj zhurnal NIU ITMO. – Ser. «Processy i apparaty pishchevarochnyh proizvodstv». – 2007. – №1.

6. SHuvalov A.M., Mashkov A.N., Tihomirov D.A. Analiz teploenergeticheskikh processov v sisteme energoobespecheniya gazoispol'zuyushchego kormovarochnogo kotla // Elektrotehnologii i elektrooborudovanie v APK. – 2020. – Т. 67, № 1 (38). – S. 71-77.

7. Patent №2708097 RF. SPK A47 27/06. Kotel kormovarochnyj: opubl. 04.12.2019. Byul. №34. / SHuvalov A.M., Mashkov A.N., Chernov D.S.; zayavitel' i patentoobladatel' FGBNU VNIITiN.

8. Patent №79025. Kotel kormovarochnyj: opubl. 20.12.2008, byul № 35 / SHuvalov A.M., Ikonnikov A.

9. Trunov S.S., Tihomirov D.A., Lamonov N.G. Metodika rascheta termoelektricheskoy ustanovki dlya osusheniya vozduha // Innovacii v sel'skom hozyajstve. – № 3(32). – 2019. – S. 261-271.

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 научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: vniiti@mail.ru.

Чернов Денис Серафимович – кандидат технических наук, старший 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.

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.

Chernov Denis – Candidate of Technical Sciences, Senior 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): 22.02.2021

Принята к публикации (Accepted): 26.03.2021

УДК 621.43

DOI: 10.35887/2305-2538-2021-2-61-70

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВПРЫСКА ВОДНО-ДИЗЕЛЬНОЙ СМЕСИ

¹Канищев Александр Сергеевич

²Сазонов Сергей Николаевич

³Родионов Юрий Викторович

¹Ломовских Александр Егорович

¹Борисов Сергей Владимирович

¹ФГКВООУ ВО «ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»

²ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

³ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Реферат. Применение водно-топливных смесей без дорогостоящего эмульгатора весьма актуально. Исследуются процессы образования топливной струи при впрыскивании топлива из распылителя форсунки с использованием стенда Т-9161-115. В качестве образцов использовали дизельное топливо (ДТ) и водно-дизельную смесь (ВДС), приготовленную на его основе с добавлением 17 % водной фазы с применением разработанного роторно-пульсационного аппарата (РПА). При добавлении воды происходит насыщение ДТ воздухом за счет происходящих в РПА процессов кавитации и равномерное распределение микрогетерогенных капелек воды (менее 2 мкм) по всему объему ДТ. Путем лабораторных исследований определяли плотность и фракционный состав данных образцов. Полученные результаты показали преимущество применения ВДС, по сравнению с обычным ДТ. В результате кавитационной обработки в РПА плотность ВДС выше, чем у ДТ. После осуществления 100 циклов впрыска, при одинаковых условиях проведения эксперимента (температура воздуха 15–17 °С, атмосферное давление 745 мм. рт. ст.), при впрыске ВДС цикловая подача увеличилась на 2,22 % по сравнению с обычным ДТ. Визуальное сравнение показало, что при распыле ВДС увеличились: дальнобойность струи на 5-10 %, угол раскрытия конуса струи на 3 – 5 градусов, ширина до 10 %. Наблюдается более насыщенная туманообразность распыливания за счет увеличения объема топливного факела. Проведенные натурные исследования по определению расхода топлива двигателем Д-241 трактора МТЗ-80 при работе на ДТ и на ВДС при проведении транспортных работ по перевозке сахарной свеклой весом 1600 кг показали снижение удельного расхода топлива двигателем Д-241 трактора МТЗ-80 при работе на ВДС до 17 %.