Author credentials**Affiliations**

Simonov Gennady – Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher of Federal State Budgetary Institution of Sciences “Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences”, Russia, Vologda, e-mail: sznii@list.ru.

Nikivorov Vladislav – Senior Researcher of Federal State Budgetary Institution of Sciences “Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences”, Russia, Vologda, e-mail: sznii@list.ru.

Filippova Olga – Candidate of Biological 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: filippova175@yandex.ru.

Поступила в редакцию (Received): 20.07.2019 Принята к публикации (Accepted): 20.08.2020

УДК 631.017.3: 621.181

DOI: 10.35887/2305-2538-2020-4-62-67

**ОБОСНОВАНИЕ ПРИНЦИПА САМОРЕГУЛИРОВАНИЯ МОЩНОСТИ
КОРМОВАРОЧНОГО КОТЛА НА ГАЗОВОМ ТОПЛИВЕ**

¹Шувалов Анатолий Михайлович

¹Машиков Алексей Николаевич

¹Чернов Денис Серафимович

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

Реферат. В условиях постоянного роста тарифов на потребляемую энергию и конкуренции на внутреннем рынке у сельских товаропроизводителей существует проблема по снижению энергозатрат, так как они составляют существенную долю в себестоимости продукта. Особенно велики энергозатраты в тепловых процессах личных подсобных и фермерских хозяйств на отопление, приготовление кормов, пищи и др. Снизить энергозатраты на тепловые цели можно применением вместо дорогостоящей электроэнергии природного газа. Кроме того дополнительно экономии энергии можно добиться применением систем энергообеспечения тепловых процессов с автоматическим регулированием расхода газа пропорционально потребляемому тепловому потоку. Для обоснования целесообразности применения автоматического регулирования расхода газа в тепловом процессе приготовления кормов приведены расчеты составляющих теплового баланса в различных режимах работы кормоварочного котла и определены расходы энергии на эти цели. Так как в процессе разогрева корма разность температур между паром в паровой рубашке и температурой содержимого варочной ёмкости (тепловой напор) уменьшается, то полезный расход энергии так же уменьшается пропорционально тепловому напору. Результаты расчета расхода энергии на приготовление корма показывают, что применением средств автоматизации расхода газа пропорционально потребляемому тепловому потоку можно достигнуть экономии до 53,4 %.

Ключевые слова: газ, кормоварочный котел, саморегулирование, мощность.

**SUBSTANTIATION OF THE PRINCIPLE OF SELF-REGULATION OF THE POWER
OF THE FEEDING BOILER ON GAS FUEL**

¹Shuvalov Anatoliy

¹Mashkov Alexey

¹Chernov Denis

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

Abstract: In conditions of constant growth of tariffs for consumed energy and competition in the domestic market, rural producers face the problem of reducing energy costs, since they constitute a

significant share in the cost of the product. Especially high energy consumption in the thermal processes of personal subsidiary and farm households for heating, preparation of feed, food, etc. Energy consumption for heating purposes can be reduced by using natural gas instead of expensive electricity. In addition, additional energy savings can be achieved by using energy supply systems for thermal processes with automatic gas flow control in proportion to the consumed heat flux. To substantiate the feasibility of using automatic control of gas consumption in the thermal process of preparing feed, calculations of the components of the heat balance in various operating modes of the feed boiler are given and energy consumption for these purposes is determined. Since in the process of heating the feed, the temperature difference between the steam in the steam jacket and the temperature of the contents of the brewing vessel (heat head) decreases, the useful energy consumption also decreases in proportion to the heat head. The results of calculating the energy consumption for the preparation of feed show that the use of automation means of gas consumption in proportion to the consumed heat flow can achieve savings of up to 53.4%.

Keywords: *gas, feed boiler, self-regulation, power.*

Введение. В нашей стране с 2013 по 2020 годы реализуется государственная программа по поддержке животноводческих ферм, начинающих фермеров, личных подсобных хозяйств [1]. Одним из главных условий успешного функционирования животноводческой отрасли является применение современных технических средств для приготовления кормов. В себестоимости животноводческой продукции затраты на корма составляют 50 – 70 % [2]. Следует отметить, что крупные животноводческие фермы для приготовления кормов имеют широкий спектр высокотехнологического оборудования. В то же время мелкие производители такие, как ЛПХ и фермерские хозяйства, практически не обеспечены подобным оборудованием [2 – 4].

Сегодня в условиях постоянного роста тарифов на потребляемую энергию и конкуренции на внутреннем рынке, перед каждым сельским товаропроизводителем стоит вопрос по снижению себестоимости животноводческой продукции. В этой связи возникает потребность в экономном использовании энергии в каждом технологическом процессе. Особенно велики резервы по снижению энергозатрат в тепловых процессах, так как по-прежнему в личных подсобных хозяйствах (ЛПХ) и фермерских хозяйствах в тепловых процессах приготовления кормов и пищи используют в основном дорогостоящую электроэнергию вместо природного газа.

В ЛПХ и фермерских хозяйствах наиболее энергоёмким процессом является тепловая обработка (запаривание) кормов для животных и птицы. Кроме того в холодный период года тепловая энергия расходуется на подогрев воды для их поения. Из результатов мониторинга, проведённого в ЛПХ Знаменского района, следует: энергозатраты на содержание свиней составляют 14,5 %, крупного рогатого скота – 6,13 %, всего 20,63 % от общих энергозатрат. При этом энергозатраты на тепловые процессы составляют 43 %, на социально – бытовые цели (освещение, холодильники, телевизор и др.) – 36,37 % [5]. Следует отметить, что снизить расход дорогостоящей электроэнергии в тепловых процессах приготовления кормов и тёплой воды можно использованием самого дешевого энергоносителя – природного газа. Существует широкий спектр варочных котлов различных по используемому энергоносителю (газ, электроэнергия), производительности и конструктивному исполнению. Общим недостатком их является отсутствие регулирования расхода энергии пропорционально потребляемому тепловому потоку, что приводит к излишнему её расходу [6].

Информационно-патентные исследования показывают, что существующая газовая автоматика применяется в основном для обеспечения безопасности процесса сжигания газозвоздушной смеси в газогорелочном устройстве и для обеспечения нормальной работы котла. С точки зрения энергообеспечения варочного котла особенностью его является постепенное снижение потребляемого теплового потока пропорционально повышению температуры нагреваемого продукта в варочной емкости. Однако в существующих варочных котлах предусмотрены средства автоматизации со ступенчатым режимом регулирования мощности («включено-выключено»). Следует отметить, что при таком режиме регулирования мощности и при повышении температуры содержимого варочной емкости близко к закипанию продукта значительно увеличивается частота включения и отключения газогорелочного устройства. Такой режим работы газовой горелки снижает надежность работы, происходит повышенный износ средств

автоматизации и устройств горелки, а также при частом включении возможен срыв пламени или неправильный розжиг, что может привести к тяжелым последствиям. И конечно, отсутствие плавного регулирования мощности горелки пропорционально потребляемому тепловому потоку сопровождается перерасходом газа. Кроме того для поддержания «тихого» кипения оператор должен дополнительно настраивать ручную топочное устройство, что увеличивает трудозатраты обслуживающего персонала. В этой связи является актуальным проведение научно-исследовательской работы по обоснованию газоиспользующей системы энергообеспечения кормоварочного котла с саморегулированием мощности пропорционально температуре нагреваемого продукта в варочной ёмкости. К тому же в настоящее время в институте ведутся работы по созданию кормоварочного котла с регулированием расхода газа пропорционально потребляемому тепловому потоку [7, 8].

Результаты и их обсуждение. С целью обоснования целесообразности регулирования расхода газа пропорционально потребляемому тепловому потоку варочного котла проведен численный расчет составляющих теплового баланса в различных режимах его работы. В расчетах принято следующее допущение: КПД разрабатываемого варочного котла принят таким же как и для серийно выпускаемых котлов ($\eta=0,8$). И так как в крестьянских хозяйствах часто потребность в кормах в течение летнего и зимнего периода, а также в зависимости от количества скота в различные периоды года, наличия различного сырья для переработки на корм, загрузка варочной ёмкости будет различной. В этой связи для анализа результатов расчета примем два варианта загрузки котла: 1. варочная ёмкость заполнена 100 % и вариант 2 – на 50 %.

В начальный период, когда металлоконструкции парогенератора, корпуса котла, варочной емкости холодные, то тепловой напор на всех нагревательных участках максимальный и потребляемый тепловой поток тоже максимальный (точка а рисунок 1).

Рисунок 1 – Изменение мощности варочного аппарата при различных режимах регулирования мощности и загрузки варочной ёмкости

$$\sum Q_{\max} = Q_{\text{м}}^{\text{ПГ}} + Q_{\text{м}}^{\text{Корп}} + Q_{\text{м}}^{\text{Вар.емк}} + Q_{\text{воды}}^{\text{ПВ}},$$

где $Q_{\text{м}}^{\text{ПГ}}$, $Q_{\text{м}}^{\text{Корп}}$, $Q_{\text{м}}^{\text{Вар.емк}}$ – максимальный тепловой поток на разогрев металлоконструкций парогенератора, корпуса котла, варочной емкости, кВт; $Q_{\text{воды}}^{\text{ПВ}}$ – потребляемый тепловой поток в начальный период нагрева воды в пароводяной рубашке, кВт.

При нагреве металлоконструкции до максимума и воды (промежуточного теплоносителя) в водяной рубашке до закипания осуществляется частичное снижение потребляемого теплового потока (точка в рисунок 1).

В это время пар водяной рубашки начинает омывать поверхность варочной емкости, температура содержимого варочной емкости постепенно повышается от минимальной ($t_{\text{в}}^{\min}$) до

максимальной (t_b^{max}), а температурный напор в паровой рубашке будет снижаться от максимума до минимума. При этом потребляемый полезный тепловой поток на разогрев продукта через стенку варочной емкости будет изменяться от максимума (точка b)

$$Q_{пол}^{max} = k \cdot F \cdot (t_{пара} - t_b^{min});$$

до минимума (точка c рисунок 1)

$$Q_{пол}^{min} = k \cdot F \cdot (t_{пара} - t_b^{max});$$

где k — коэффициент теплопередачи, кВт/м²·°C; F — теплопередающая поверхность варочной емкости, м²; t_b^{min} и t_b^{max} — минимальная и максимальная температура в варочной емкости, °C.

На основе выше приведённых формул определена мощность котла в различных режимах, результаты расчета представлены на графике (рисунок 1). Из графика следует, что в начальный период разогрева продукта мощность котла одинаковая для всех режимов (линия a-b). Когда температура продукта повышается, то температурный напор между паром и продуктом уменьшается, следовательно и уменьшается потребляемый тепловой поток в режиме саморегулирования мощности (на графике линии: b-c и b-c'). В ручном режиме мощность котла постоянная в процессе приготовления корма (линия a-f), при двухступенчатом регулировании мощность изменяется по ломанной линии a-b-e-c-d. Если загрузка варочной ёмкости составляет 50 % (то есть 50 л), то мощность достигает минимума при температуре продукта 60 °C (точка c), если же загрузка составляет 100 л, то минимум мощности наступит при 90 °C (точка c' рисунок 1).

В процессе кипения содержимого варочной ёмкости температура его будет постоянной и незначительно отличаться от температуры пара в паровой рубашке (2-3 °C), то есть в этом случае потребляемый тепловой поток тоже минимальный (линия c-d на рис. 1). И так как при разогреве котла и продукта мощность уменьшается пропорционально снижению теплового напора, то при нерегулируемом режиме излишки теплоты будут выбрасываться вместе с отработанными газами. Как следует из графика тепловой поток и при ручном и при двухступенчатом регулировании всегда больше, чем при пропорциональном регулировании (линия a-b-c-d), следовательно и расход газа больше.

Расчеты показывают, что за счет применения плавно регулируемой системы энергообеспечения газоиспользующего кормоварочного котла достигается экономия энергии 53,4 % при 100 % загрузке варочной емкости и 58,2 % при 50 % загрузке.

Следовательно, с целью экономии энергии от сжигаемого газа необходимо применять систему автоматического регулирования расхода газа пропорционально потребляемому тепловому потоку в процессе разогрева и варки продукта.

Здесь следует добавить, что процесс приготовления продукта не заканчивается доведением жидкости в варочной емкости до кипения, а продолжается его варка, например, мяса $\tau_{доп} = 1,5 - 2$ часа. Следовательно, потери энергии при нерегулируемом процессе с учетом времени варки увеличиваются еще в 1,5 – 2 раза.

Широко применяют в сельской местности для приготовления продукта в столовых газовые плиты, на которые ставят металлические бачки. Здесь дополнительные потери тепловой энергии от поверхности не теплоизолированного бачка в окружающую среду. Это в летний период значительно повышает температуру воздуха в служебных помещениях и создает невыносимые условия для обслуживающего персонала. Обслуживающий персонал открывает окна, образуется сквозняк и начинаются простудные заболевания [9].

Не менее важно отметить, что если в саморегулируемой системе энергообеспечения применить дополнительную цифровую автоматику для дистанционного включения в работу газовой горелки и программного отключения после завершения приготовления продукта, то будет достигнута значительная экономия затрат труда сельских работников.

Выводы:

1. Тепловой поток, потребляемый в процессе приготовления корма, всегда меньше в режиме саморегулирования, при 50% загрузки варочной ёмкости минимум мощности достигается через 58 минут, при 100% загрузки – через 90 минут.

2. Применение в кормоварочном котле на газовом топливе энергетической системы с регулированием мощности газовой горелки пропорционально потребляемому тепловому потоку позволяет сократить расход газа в процессе приготовления корма на 53,4 % по сравнению с ручным управлением.

Список литературы

1. Государственная программа развития сельского хозяйства на 2013 – 2020 годы. – М., 2013. – 388с.
2. Хохрин С.Н. Корма и кормление животных. – Спб.. Лань, 2002. – 512с.
3. Мишуров Н.П. Приготовление кормов в фермерских хозяйствах. – М.. Росинформагротех, 2002. -58с.
4. Беляев М.И. Тепловое оборудование. – М.. Экономика, 1999. -559с.
5. Шувалов А.М., Калинин В.Ф., Набатов К.А. Мониторинг энергопотребления сельхозпредприятий Тамбовской области. Труды 6-й международной конференции. Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве. – М.. ГНУ ВИЭСХ, 2008. – с. 260-265.
6. Антуфьев В.Т. Концепция совершенствования газовых пищеварочных котлов. Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищеварочных производств», 2007. -№1.
7. Патент РФ № 2708097. СПК А47 27/06. Котёл кормоварочный/ Шувалов А.М., Машков А.Н., Чернов Д.С.; заявитель и патентообладатель ФГБНУ ВНИИТиН опубл. 04.12.2019. Бюл. №34.
8. Шувалов А.М., Машков А.Н., Чернов Д.С., Шулаев Г.М., Вотановская Н.А. Стерилизация молочной ёмкости парогенератором с саморегулированием мощности. В сборнике: Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции – новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства. 18-я Международная научно – практическая конференция. 2015. – С.184 – 188.
9. Шувалов А.М., Машков А.Н., Чернов Д.С. Улучшение охраны труда и технической безопасности при приготовлении пищи и кормов в сельхозпредприятиях. ТрудыГОСНИТИ, 2015. Т.120. – С.102 – 104.

References

1. Gosudarstvennaja programma razvitiya sel'skogo hozjajstva na 2013 – 2020 gody. – М., 2013. – 388s.
2. Hohrin S.N. Korma i kormlenie zhivotnyh. – Spb.. Lan', 2002. – 512s.
3. Mishurov N.P. Prigotovlenie kormov v fermerskih hozjajstvah. – М.. Rosinformagroteh, 2002. - 58s.
4. Beljaev M.I. Teplovoe oborudovanie. – М.. Jekonomika, 1999. -559s.
5. Shuvalov A.M., Kalinin V.F., Nabatov K.A. Monitoring jenergopotreblenija sel'hozpredpriyatij Tambovskej oblasti. Trudy 6-j mezhdunarodnoj konferencii. Jenergoobespechenie i jenergosberezhenie v sel'skom hozjajstve. – М.. GNU VIJeSH, 2008. – s. 260-265.
6. Antuf'ev V.T. Konceptija sovershenstvovanija gazovyh pishhevarochnyh kotlov. Nauchnyj zhurnal NIU ITMO. Serija «Processy i apparaty pishhevarochnyh proizvodstv», 2007. -№1.
7. Patent RF № 2708097. SPK A47 27/06. Kotjol kormovarochnyj/ Shuvalov A.M., Mashkov A.N., Chernov D.S.; zajavitel' i patentoobladatel' FGBNU VNIITiN opubl. 04.12.2019. Bjul. №34.
8. Shuvalov A.M., Mashkov A.N., Chernov D.S., Shulaev G.M., Votanovskaja N.A. Sterilizacija molochnoj jomkosti parogeneratorom s samoregulirovaniem moshhnosti. V sbornike: Povyshenie jeffektivnosti ispol'zovanija resursov pri proizvodstve sel'skhozajstvennoj produkcii – novye tehnologii i tehnika novogo pokolenija dlja rastenievodstva i zhivotnovodstva. 18-ja Mezhdunarodnaja nauchno – prakticheskaja konferencija. 2015. – S.184 – 188.
9. Shuvalov A.M., Mashkov A.N., Chernov D.S. Uluchshenie ohrany truda i tehniceskoy bezopasnosti pri prigotovlenii pishhi i kormov v sel'hozpredpriyatijah. TrudyGOSNITI, 2015. T.120. – S.102 – 104.

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): 20.07.2020 Принята к публикации (Accepted): 20.08.2020

УДК 620.197.7:631.17

DOI: 10.35887/2305-2538-2020-4-67-76

ОЦЕНКА РАСХОДА CORTEC VPCI-368 И CORTEC VPCI-369 ДЛЯ ПРОТИВОКОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИТЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ ОТ АТМОСФЕРНОЙ КОРРОЗИИ

¹Князева Лариса Геннадьевна

¹Дорохов Андрей Валерьевич

¹Курьято Николай Алексеевич

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

Реферат. Расход консервационных материалов (КМ) влияет на стоимость противокоррозионной защиты и зависит от толщины защитной пленки. Изучали теоретический расход КМ на основе минеральных масел: индустриального И-20А, трансформаторного ТКп, моторного М10Г₂(к)(товарного и отработанного - ММО) и ингибиторов коррозии Cortec VpCI-368 и Cortec VpCI-369 в концентрации 3, 5, 7, 10 масс.%. Покрывали образцы из стали Ст3 в КМ и последующим формированием в течение суток. Толщину пленки определяли гравиметрически. Максимальные величины для толщины пленок получили из составов на основе ММО, что соответствовало и максимальному защитному эффекту, минимальные - из трансформаторного масла. Значения толщины пленок получаемых из составов на основе И-20А и М10Г₂(к) оказались близкими по величине. Наблюдали уменьшение толщины пленок всех исследуемых КМ на стали с ростом температуры их нанесения и уменьшением концентрации ингибиторов. Зависимости толщины пленок минеральных масел от температуры носила практически линейный характер в диапазоне 40 – 70 °С. По экспериментальным зависимостям, связывающим толщину пленок с кинематической вязкостью составов в логарифмических координатах, удовлетворительно соответствующим упрощенной формуле уравнения Левица, получены эмпирические уравнения. Установлено, что теоретический расход КМ из расчета получения покрытия заданной толщины на единицу площади без учета безвозвратных потерь мало зависит от природы исследованных ингибиторов коррозии и не превышает 20 – 21 г/м², а расход ингибитора не превышает 1,0 – 1,1 г/м².

Ключевые слова: расход, консервационный материал, толщина, кинематическая вязкость