

УДК 681.5.037.4 62-533.66

К ВОПРОСУ ОБ УСТОЙЧИВОСТИ И УПРАВЛЯЕМОСТИ ТГУ НА ПЕЛЛЕТАХ

ЧОРНОИВАН А. А. ^{1*} *зав. лаб., асистент*

ГОЛОЩАПОВ К. О. ^{2*} *студент.*

^{1*} Государственное высшее учебное заведение: "Приднепровской Академии Строительства и Архитектуры", кафедра теплотехники и газоснабжения, ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, e-mail: chernoivan@i.ua ORCID ID: 0000-0003-0406-0601

^{2*} Государственное высшее учебное заведение: "Приднепровской Академии Строительства и Архитектуры", факультета технологий жизнеобеспечения и экологии, специальности теплогазоснабжения и вентиляции, ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, e-mail: mr.lordee@gmail.com ORCID ID: 0000-0002-2327-806X

Аннотация. *Цель.* Рассмотреть различные схемы предлагаемых горелок на пеллетах и другом твердом топливе отечественного и импортного производства. Схемы рассмотрены с точки зрения устойчивости и управляемости. Определить проблемные места и факторы влияющие на процесс горения. Выяснить влияние на процесс горения различных частей конструкции. Найти недостатки схемы управления горелки и устранить её возможные недостатки. *Методика.* Ниже подробно описана практически используемая авторами схема управления работой горелки с введением в контур управления обратной связи. Показано и дано объяснение значительному увеличению зоны устойчивости схемы с ОС по отклонению. В приведенной блок схеме показан также контур управления мощностью горелки. В частном случае контур служит целям поддержания параметров всего комплекса ТГУ – потребитель; например, поддержание температуры в теплице как днем – ночью, так и осень – зима. *Результаты.* Отмечена узость зон устойчивой работы систем из-за сильной нелинейности и взаимовлияния параметров, характеризующих систему. Так большая теплоёмкость корпуса горна горелок определяет фазовую задержку в контуре саморегулирования процесса горения. По-видимому, не добавляют устойчивости такие элементы конструкции как разделение зон горна и зоны основного сгорания горючих газов, также, как и использование общей тяги для формирования потока первичного воздуха, вместо отдельного вентилятора. *Научная новизна и практическая значимость.* С введением обратной связи, нивелирующей действие возмущающих факторов, появляется возможность управления мощностью регулированием тяги, для горелок малой мощности 4-20 кВт, горелки на 50 кВт и более регулируются первичным воздухом, с учетом того что вторичный воздух для таких горелок подается с необходимым избытком. Установка термореле в необходимом по технологии месте дает возможность, ранее недоступную, стабилизировать выходные параметры комплекса ТГУ-объект. При необходимости температуру можно менять по графику, расписанию и пр. Хорошо спроектированная система с таким блоком управления позволяет регулировать мощность в диапазоне до 65%.

Ключевые слова: пеллеты; ТГУ; устойчивость работы; режим горения

ДО ПИТАННЯ ПРО СТІЙКІСТЬ ТА КЕРОВАНІСТЬ ТГУ НА ПЕЛЛЕТАХ

ЧОРНОИВАН А. А. ^{1*} *зав. лаб. асистент.*

ГОЛОЩАПОВ К. О. ^{2*} *студент*

^{1*} Державний вищий навчальний заклад: "Придніпровська Державна Академія Будівництва та Архітектури" кафедра теплотехніки та газопостачання, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, e-mail: chernoivan@i.ua ORCID ID: 0000-0003-0406-0601

^{2*} Державний вищий навчальний заклад: "Придніпровська Державна Академія Будівництва та Архітектури" факультет технологій життєзабезпечення і екології, спеціальності теплогазопостачання та вентиляції, ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, e-mail: mr.lordee@gmail.com ORCID ID: 0000-0002-2327-806X

Анотація. *Мета.* Розглянути різні схеми запропонованих пальників на пеллетах і другому твердому паливі вітчизняного та імпортного виробництва. Схеми розглянуті з точки зору стійкості і керованості. Визначити проблематичні місця та фактори які впливають на процес горіння та усунути її можливі недоліки. Вияснити вплив на процес горіння різних елементів конструкції. Знайти недоліки схеми управління роботою пальника *Методика.* Нижче докладно описана практичне використання авторами схема управління роботою пальника з введенням в контур управління зворотного зв'язку. Показано і дано пояснення значного збільшення зони стійкості схеми з ОС за відхиленням. У наведеній блок схемі показаний також контур управління потужністю пальника. В окремому випадку контур служить цілям підтримки параметрів всього комплексу ТГУ - споживач; наприклад, підтримання температури в теплиці як вдень - вночі, так і осінь -

зима. **Результати.** Відзначено вузькість зон стійкої роботи систем через сильну не лінійність і взаємовпливу параметрів, що характеризують систему. Так велика теплоємність корпусу горна пальників визначає фазову затримку в контурі саморегулювання процесу горіння. Мабуть, не додають стійкості такі елементи конструкції як поділ зон горна і зони основного згоряння горючих газів, також, як і використання загальної тяги для формування потоку первинного повітря, замість окремого вентилятора. **Новизна і практична значущість.** З введенням зворотного зв'язку, що нівелює дію збурюючих факторів, з'являється можливість управління потужністю регулюванням тяги, для пальників малої потужності 4-20 кВт, пальники на 50 кВт і більше регулюються первинним повітрям, з урахуванням того що вторинне повітря для таких пальників подається з необхідним надлишком. Установка термореле в необхідному за технологією місці дає можливість, раніше недоступну, стабілізувати вихідні параметри комплексу ТГУ-об'єкт. При необхідності температуру можна міняти за графіком, розкладом та ін. Добре спроектована система з таким блоком управління дозволяє регулювати потужність в діапазоні до 65%.

Ключевые слова: пелети; ТГУ; стійкість роботи; режим горіння

ON THE STABILITY AND CONTROLLABILITY OF THE TSU ON PELLET

CHORNOIVAN A. A.^{1*} *head of the lab., assist.*
GOLOSCHAPOV K. O.^{2*} *st. gr. HVGE-12-2*

^{1*} State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", Department of Heat Engineering and gas supply, Chernishevskogo str. 24-Am, Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, e-mail chornoivan@i.ua ORCID ID: 0000-0003-0406-0601

^{2*} State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", Faculty of Life and Environment Technology specialty Heating, Ventilation & Gas Supply Engineering & Air Protection, Chernishevskogo str. 24-Am, Dnipropetrovsk 49600, Ukraine e-mail: mr.lordee@gmail.com ORCID ID: 0000-0002-2327-806X

Abstract.Purpose. Consider the various schemes offered pellet burners and second solid fuel domestic and imported. Plans discussed in terms of stability and manageability. Identify problematic places and factors affecting the combustion process and eliminate its possible shortcomings. Clarify influence on the combustion of various elements of the design. Find disadvantages burner control schemes work. **Methods.** The following describes in detail the practical use of the authors of the burner control scheme with the introduction of a control loop feedback. Showing given an explanation and a significant increase in stability zone running scheme for the deviation. The table also shows the block diagram power control circuit burner. In the particular case circuit serves the purposes of the support all complex parameters TSU - the consumer; for example, maintaining the temperature in the greenhouse as during the day - at night, and autumn - winter. **Results.** Noted narrow zones of steady work because of strong non linearity and interference parameters characterizing the system. So great heat capacity of the furnace burners shell determines the phase delay circuit self-regulation of the combustion process. Probably not add stability design elements such as the separation zones and the zone of the furnace main burning combustible gases, as well as the use of common thrust to form a primary air flow, rather than the fan. **The novelty and practical significance.** With the introduction of feedback, which eliminates the effect of disturbances, it is possible to control power adjustable traction burners low power 4-20 kW, 50 kW burners and more regulated primary air, given the fact that such secondary air burners served with necessary excess. Set thermostat at the desired site technology enables previously inaccessible to stabilize the output parameters TSU complex object. If necessary, the temperature can be changed on schedule, schedule and others. A well designed system with the control unit allows you to adjust capacity in the range of 65%.

Keywords: Pellets; TSU; resistance work; combustion mode

Введение

Теплогенерирующие установки (ТГУ) на пеллетах можно рассматривать как систему, состоящую из механизма подачи пеллет [5,6], собственно горелки и узла подачи воздуха.

Как любая система, ТГУ имеет свою область устойчивой работы [2,4]. Причем эта область или диапазон мощностей выдаваемый в теплообменник зависит от внутренних и внешних факторов. К внутренним следует отнести, во-первых, площадь пода, во-вторых, температуру кирпичной кладки горна, далее форму зоны горения, наличие сужения на выходе и др. К внешним факторам отнесем

количество подаваемых пеллет [11,12] во времени [7], непрерывность или количество каждой загрузки при прерывистом режиме. К внешним факторам также относим интенсивность дутья первичного воздуха от специального вентилятора или от общего вентилятора на выходе всего нагревателя [8].

Главным фактором, определяющим мощность ТГУ безусловно является площадь пода. На режим горения также существенное влияние оказывает температура горна. С ростом температуры область устойчивого горения несколько расширяется и смещается в сторону больших мощностей. Наличие сужения на выходе горелки упорядочивает формирование факела горения газов в теплообменнике [13].

Количество подаваемого топлива определяется мощностью горелки и в то же время, в пределах зоны устойчивости, влияет на неё [14,15].

Чаще всего применяется непрерывная подача пеллет в зону горения шнеком, при этом автоматическая регулировка подачи практически исключена. Прерывистый способ позволяет регулировать подачу либо частотой вбрасывания, либо величиной разовой подачи.

Регулирование мощности горелки большинством производителей как отечественных [1,3], так и зарубежных не предусмотрено. Для каждой заданной мощности, на этапе проектирования, подобраны геометрические параметры, величины подачи топлива и воздуха в топку, а также, дополнительно в зону горения производимых газов.

Анализ факторов, определяющих устойчивость системы

Как уже отмечалось, зона устойчивого горения зависит от температуры корпуса горелки, а на неё в свою очередь влияет режим горения [10]. При повышении интенсивности горения, по какой-либо может случайной причине, температура возрастает что стимулирует горение. При этом равномерно поступающее топливо быстрее сгорает и процесс выгорания оказывается быстрее чем остывает печь для саморегулирования.

Наоборот, при превышении дозы топлива над требуемой, процесс горения замедляется из-за перекрытия зоны горения слоями холодных пеллет.

Большая инерционность корпуса горелки (десять минут) по сравнению со скоростью сгорания топлива (1-5 грамм в секунду) делают уязвимой систему от случайных возмущений по равномерности подачи пеллет или стабильности дутья. Величина сбоев, приводящих к зауханию горелки и определяет зону устойчивости.

Не способствует устойчивой работе горелки засорение части площади пода негорючим или расплавляемым мусором [9].

Т.О. устойчивая работа горелки самостоятельно поддерживается в достаточно узком диапазоне режимов подачи пеллет.

Целью регулирования может быть оптимизация в смысле максимальной отдачи тепла для данной конструкции пода и горна.

Режим нормального стабильного горения подразумевает наличие условно трех слоев. В нижнем слое идет догорание пеллет в поступающем первичном свежем воздухе. Средний слой, разогретый снизу выделяет горючие газы, которые в основном будут гореть в теплообменнике смешанные с вторичным воздухом. Верхний слой это свежие пеллеты. При стабильной подаче воздуха диапазон регулирования количеством пеллет не более 20-30%

Прерывистый способ подачи пеллет позволяет регулировать мощность частотой засыпки. При этом получается релейный режим горения, при котором после очередной засыпки порция холодных пеллет

формирует верхний слой в горелке. За время паузы эти пеллеты нагревается до воспламенения. Затем цикл повторяется. Т.О. поддерживается устойчивое горение, при котором показатели содержания СО и nN [13] в пределах допустимых норм. При входе горелки в стационарный режим по температуре, а также поддержании равномерной цикличности подачи пеллет горелка горит стабильно и обеспечивает заданный режим работы всей ТГУ.

Метод расширения зоны устойчивой работы и управляемости горелки

Введение обратной связи в процесс управления работой горелки существенно увеличивает диапазон устойчивой работы.

Блок-схема устройства управления работой горелки приведена на рис. 1

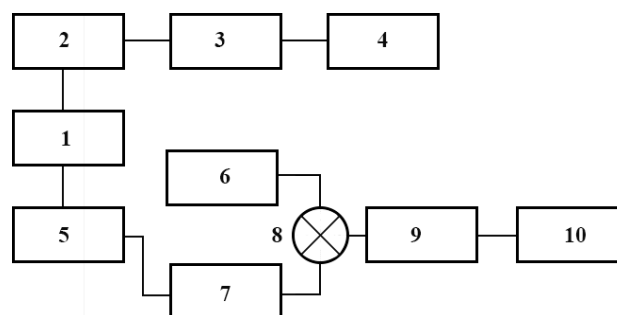


Рис. 1. Блок-схема устройства управления работой горелки / Flowchart of a control unit work of a torch

1-горелка; 2- фотодатчик, ориентированный на поверхность горения; 3-формирователь управляющего импульса (триггер, мультивибратор, реле); 4- исполнительный механизм подачи; 5- теплообменник; 6. – 8. термореле срабатыванием на 30-120°С /20-60°С вода/воздух; 9. усилитель; 10 - исполнительный механизм типа "заслонка".

Новую порцию топлива необходимо подавать в момент воспламенения верхнего слоя. Установив фотодатчик, направленный на площадь горения сверху, получаем возможность вовремя формировать новую порцию пеллет.

Теперь при изменении внешних или внутренних параметров горелки обратная связь обеспечит поддержание нормального стабильного режима трехслойного горения.

Так если по какой-либо причине горение замедлилось (например, уменьшилась тяга), то фотодатчик позже получит необходимую освещенность для срабатывания схемы. И наоборот при форсировании горелки пеллеты будут подаваться чаще, тем самым поддерживая оптимальные условия горения.

Релейный режим управления накладывает свои требования к временным характеристикам как блока управления, так и исполнительного механизма. Так типичная постоянная времени корпуса горелки 30-40 минут сильно затрудняет построение адекватных электронных схем, реагирующих столь медленно. С

другой стороны, время цикла "загрузка-пауза" всего 10 - 18 секунд, что накладывает свои жесткие ограничения на исполнительный механизм дозировки-подачи пеллет.

Отдельные трудности доставляет время 2-3 сек. пока пеллеты передвигаются от дозатора к входному окну горелки. Так фотодатчик получает необходимую освещенность при достижении фазы воспламенения верхнего слоя. Тотчас формируется сигнал "засыпка" и он будет актуален до тех пор, пока свежая порция пеллет покрывает огонь. После этого сигнал "засыпка" снимается, Двигатель стоит, а пеллеты продолжают сыпаться по желобам к окну горелки. Чтобы не было пересыпания пеллет, в контур регулирования введен мультивибратор, задачей которого разбить "засыпку" на части. Теперь в зависимости от интенсивности горения (аппетита) посылается от 2 до 4 импульсов на двигатель дозатора. Таким образом горелка сама определяет не только паузу между засыпками, но и величину порции в каждом отдельном цикле.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ/ REFERENCES

1. Пат. 92674 Украина МПК F24D 10/00 Пристрій для променевого обогріву та нагрівання повітря. Власники та заявники Барсук Р.В., Іродов В.Ф., Чорноиван А.А., (Україна) № u 2014 03524; дата заявки 07.04.2014; опубл. 26.08.2014, Бюл. № 16
2. Air Products, Advantages of oxy-fuel burner systems for aluminium recycling // Published in the UK: 2003 Access mode: URL: <https://www.airproducts.com/~media/Files/PDF/industries/metals-advantages-oxy-fuel-burner-systems-aluminium-recycling.pdf> Date of Access: 28 May 2015.
3. Barsuk R.V., Improving the efficiency of tubular gas heaters using pellets, Наука і техніка: перспективи XXI століття., віддруковано в ТОВ "Роял Принт"., Дніпропетровськ 2014., 6-9 стр., 198 с.В.В. Dally, S. Shim, R.A. Craig, P.J. Ashman and G.G. Szegö, 'On the Burning of Sawdust in a MILD Combustion Furnace', Energy and Fuel, 2010 (in press)
4. Carbontrust, Overview of the Biomass Heat Accelerator // Published in the UK: July 2012. Access mode: URL: <http://www.carbontrust.com/media/147632/ctc809-biomass-heat-accelerator-overview.pdf> Date of Access: 22 May 2015
5. Carbontrust, Biomass sector review for the Carbon Trust // Published in the UK: October 2005. Access mode: URL: http://www.carbontrust.com/media/77236/ctc512_biomass_sector_review_for_the_carbon_trust.pdf Date of Access: 20 May 2015.

Появляется возможность управления мощностью регулированием тяги, для горелок малой мощности 4-20 кВт, горелки на 50 кВт и более регулируются первичным воздухом, с учетом того что вторичный воздух для таких горелок подается с необходимым избытком.

Выводы

Огромную актуальность имеют теплогенерирующие установки, работающие на твердом топливе [9]. К возобновляемым источникам в частности относятся пеллеты, растущая популярность которых привлекает особое внимание. Рассмотренные особенности и возможности управления работой таких горелок значительно расширяет область их применения. Так от тривиальных замены горелок на природном газе для водогрейных котельных возможна установка ТГУ на пеллетах в малых и крупных теплицах, птицефабриках и пр.

6. International Conference on Environment Science and Engineering, Investigation on the application of using hydrogen fuel for furnaces. ACSIT Press, Singapore., 2012.
7. John Granfield, Light Metals 2014. Published John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey., 2014. 1466p.
8. Karlsson J. Final Evaluation of Torrefaction Pilot Plant in Klintehamn Gotland, LTH Department of Chemical Engineering Master Thesis, 2013.
9. Melting glass, Alternative fuels for glass melting // Published in the EUR: 2013 Access mode: URL: http://www.airproducts.co.uk/microsite/uk/glass/pdf/Alternative_Fuels_glass_melting-Glass_International_Article_10-13_EU.pdf Date of Access: 28 May 2015.
10. National Energy Foundation, WoodPellet // Published in the UK: October 2003. Heating Access mode: URL: <http://www.nef.org.uk/knowledge-hub/wood-fuel-logpile/wood-pellet-heating> Date of Access: 15 May 2015.
11. Thomas S, McKnight SJ, Serrano EJ, Mašlejová A, Želinský R, Tomáš J, Vlašič P. Laboratory evaluation of biomass usage for coke and sinter production. Proceedings of METEC InSteelCon, Düsseldorf (Germany), 2011.
12. Utilization of biomass for blast furnace in Sweden. Biomass availability and upgrading technologies // Report Date September 2013 Access mode: URL: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:681739/FULLTEXT01.pdf> Date of Access: 26 May 2015.
13. W. Nimmo, S.S. Daood, and B.M. Gibbs, The effect of O2 enrichment on NOx formation in biomass co-fired pulverised coal combustion, Fuel, 8 September 2010, 2952 p.
14. Yang B, Tucker M. Laboratory Pretreatment System to Understand Biomass Deconstruction, in Aqueous Pretreatment of Plant Biomass for Biological and Chemical Conversion to Fuels and Chemicals (ed Wyman CE), John Wiley & Sons, Chichester (UK) 2013

*Стаття рекомендована до публікації д-ром. техн. наук, проф. А. С. Беліковим (Україна);
д-ром. техн. наук, проф. С. З. Поліщуком (Україна)
Стаття постуила в редколлегию 29.092015*