

Задача следующего сравнительного расчета проверить методику В.Ф. Ратникова для печей с керамо-волокнутой двуслойной футеровкой. Если этот расчет подтвердит возможность использования методики В.Ф. Ратникова для новых футеровок, то данные, полученные из экспериментальных тепловых балансов, позволят создать простую методику расчета аккумуляции теплоты, используя формулу (1). Эта формула может быть применена при условии нахождения среднемассовых t футеровок.

Определение этих t расчетом возможно, если на основании экспериментальных исследований тепловых балансов печей этого типа будет найдена формула расчета среднемассовых t . Тогда можно будет пользоваться простой формулой (1).

В этом и заключается совершенствование методики расчета аккумуляции теплоты волокнутой футеровкой.

Список использованных источников

1. Зобнин Б.Ф. Нагревательные печи «Машиностроение» / Б.Ф. Зобнин. – М., 1964. – 311 с.
2. Теплотехнические расчеты металлургических печей. Изд. 3, переработанное и дополненное: учеб. пособ. для металлург. специальностей вузов / Под общ. ред. канд. техн. наук А.С. Телегина. – М.: Металлургия, 1983. – 368 с.
3. Техническое перевооружение вертикальной камерной печи для термической обработки крупных поковок / Д.И. Спитченко, А.М. Вохмяков, Е.В. Киселев, М.Д. Казяев, Д.М. Казяев // Известия вузов. Черная металлургия. 2013. №9. – С. 38–43.

УДК 536.3

**С. З. Сапожников¹, Н. Е. Кикоть¹, А. В. Бикмулин¹, Ю. В. Андреев²,
В. М. Проскурин¹**

¹ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург, Россия;

² Комитет по топливно-энергетическому комплексу Ленинградской области,
г. Санкт-Петербург, Россия

ГРАДИЕНТНАЯ ТЕПЛОМЕТРИЯ КАК СПОСОБ КОНТРОЛЯ ФАКЕЛЬНОГО СЖИГАНИЯ ТОПЛИВ

Аннотация. В энергетических установках принято измерять температуры в рабочей области. Такой подход не позволяет оценить стабильность рабочего режима. Предлагается контролировать и регулировать тепловые процессы при горении с использованием градиентной теплометрии – нового метода, основанного на использовании гетерогенных градиентных датчиках теплового потока. Метод апробирован при мониторинге процессов в

топке котельного агрегата на ДКВр-10/13. Датчики теплового потока были установлены на экранные трубы по периметру топочного пространства. Кроме того, создан охлаждаемый зонд типа труба-в-трубе с градиентным датчиком теплового потока. Результаты, полученные с датчиков, установленных на трубах в котле и на зонде, показали сходимость результатов. В статье приведены результаты экспериментов на стенде для измерения местной плотности теплового потока и температуры при горении. Рассмотрено тепловыделение от факела, созданного дизельной горелкой фирмы «OILON» типа КР-6 с форсункой «DANFOS» 1.75 60 S, мощностью 84 кВт. Сделаны выводы о применимости градиентной теплотометрии в исследованиях процессов горения. Доказана целесообразность использования охлаждаемого зонда с датчиком теплового потока.

Ключевые слова: градиентная теплотометрия, плотность теплового потока, горение, факельное сжигание, гетерогенные градиентные датчики теплового потока.

Abstract. In power plants, it is customary to measure temperatures in the working area. This approach does not allow assessing the stability of the operating mode. It is proposed to control and regulate thermal processes during combustion using gradient heat metering - a new method based on the use of heterogeneous gradient heat flow sensors. The method was tested during monitoring of processes in the furnace of a boiler unit at DKVr-10/13. Heat flow sensors were installed on screen pipes along the perimeter of the furnace space. In addition, a cooled pipe-in-pipe probe with a gradient heat flow sensor has been created. The results obtained from the sensors installed on the pipes in the boiler and on the probe showed the convergence of the results. The article presents the results of experiments on a stand for measuring the local heat flux density and temperature during combustion. The heat release from a torch created by an OILON diesel burner of the KP-6 type with a DANFOS 1.75 60 S nozzle with a power of 84 kW is considered. Conclusions are drawn about the applicability of gradient thermal logging in the study of combustion processes. The expediency of using a cooled probe with a heat flux sensor is proved.

Key words: gradient heat metering, heat flux density, combustion, flaring, heterogeneous gradient heat flux sensors

Градиентная теплотометрия позволяет измерить местную плотность теплового потока в рабочей области котла [1]. Так, в топке котла ДКВр-10/13 обнаружена некорректная работа горелочного аппарата. Обнаружены пульсации теплового потока в задней части топки, что способствует пережогу экранных поверхностей и снижению ресурса [5]. В металлургических печах контроль такого важного параметра, как плотность теплового потока, наиболее актуален, так как тепловые режимы напрямую сказываются на свойствах продукции [2]. Для проведения оперативной диагностики энергетического оборудования создан измерительный зонд с датчиком теплового потока, позволяющий проводить измерения на объектах без нарушения рабочего режима.

Измерена местная плотность теплового потока при факельном сжигании дизельного топлива. Сложность традиционного расчета заключается в переменном значении степени черноты факела [3]. При непосредственном измерении плотности теплового потока (ПТП) этот параметр можно не учитывать или рассчитать, как результат эксперимента [4].

Измерения проводились при помощи зонда с датчиком теплового потока (рис. 1).

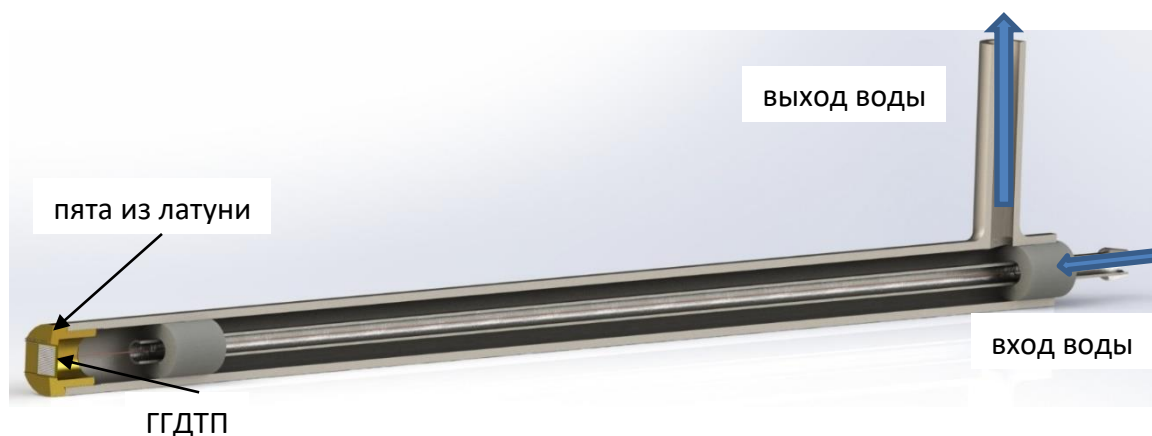


Рис. 1. Измерительный зонд

Для моделирования факела создан экспериментальный стенд (рис. 2).

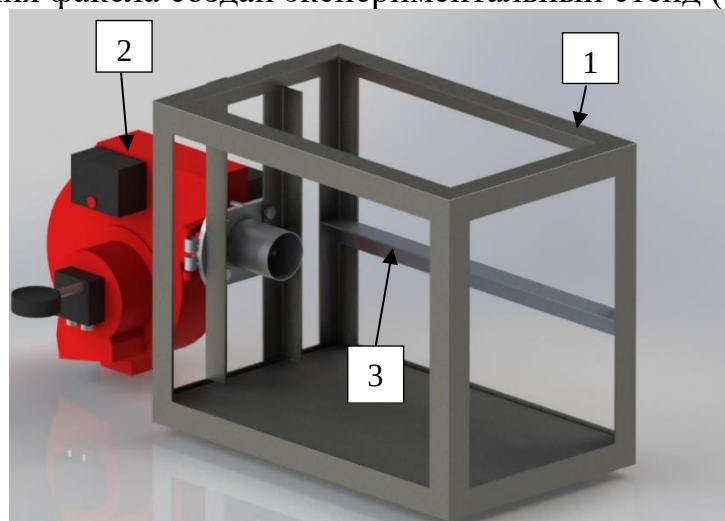


Рис. 2. Экспериментальный стенд для измерения плотности теплового потока при горении:

1 – металлический каркас; 2 – горелка; 3 – перекладина

При такой постановке эксперимента есть возможность рассмотреть тепловой поток от факела в соответствии с его геометрией [6]. Это позволит выявить теплонапряженные области и найти способ их устранения.

Результаты теплотрии представлены на рис. 3. Факел принято разделять на три области [7]

- $25 < x < 100$ мм – холодное пламя (область в которой горение происходит на периферии, основной поток топлива нагревается до рабочей температуры);
- $100 < x < 300$ область активного горения (большая часть топлива нагрелась, испарилась и воспламенилась. Именно на этом участке наблюдается максимальная плотность теплового потока и максимальная температура на оси факела);

- $300 < x$ хвостовая область факела (в этой области наблюдается понижение температуры по всему профилю факела, а также дестабилизация потока, появляются отдельные языки пламени, что объясняет пульсации плотности теплового потока на этом промежутке).

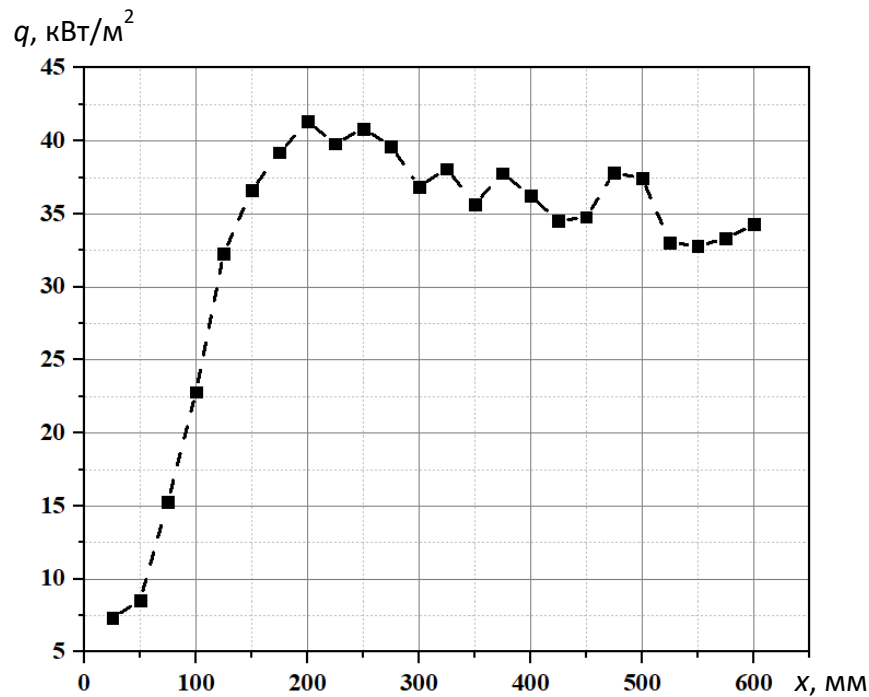


Рис. 3. Плотность теплового потока

Результаты термометрии представлены на рис.4

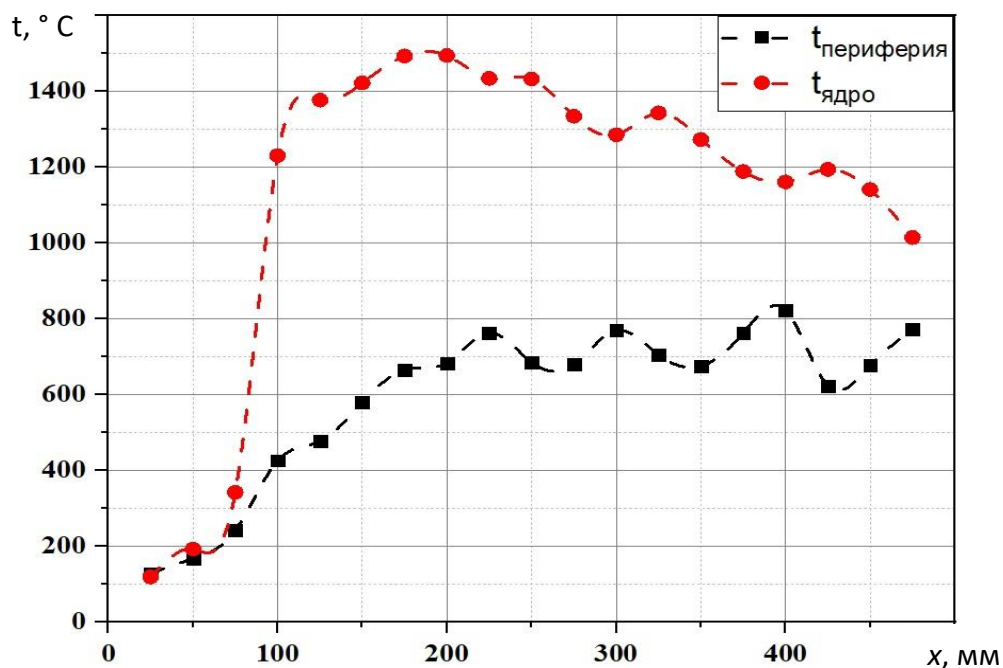


Рис. 4. Значения температуры факела от его длины

Из рисунков видно сходные изменения температуры пламени и плотности теплового потока. В области холодного пламени наблюдается, снижение, как

температуры, так и плотности теплового потока. Эти результаты согласуются с физическими представлениями о процессе. Значения средней плотности теплового потока на данном режиме по эксперименту составляют 32,8 кВт/м². Рассчитанная по закону Стефана-Больцмана средняя по длине факела плотность теплового потока при степени черноты факела, близкой к 1, составляет 32,2 кВт.

Заключение

Градиентная теплотметрия как метод прошла успешные испытания в условиях топочной камеры котельного агрегата и при исследованиях на экспериментальном стенде. Установка гетерогенных градиентных датчиков теплового потока (ГГДТП) на поверхность экранных – труб сложный и трудоемкий процесс. Надежнее и эффективнее применение охлаждаемого зонда с ГГДТП.

Список использованных источников

1. Османов В.В. Совершенствование топочной теплотметрии на основе градиентных датчиков теплового потока // Автореф. дис... канд. тех. наук. СПбГПУ, 2015. – 22 с.
2. Макаров А.Н. Теория и практика теплообмена в электродуговых и факельных печах, топках, камерах сгорания: монография Ч. 1. Основы теории теплообмена излучением в печах и топках // Тверь: ТГТУ. 2007. – С. 184.
3. Санатуллоев Р.Р., Ксенофонтов С.И. Степень черноты диффузионного пламени углеводородного топлива // Вестник ЧГПУ им. И.Я. Яковлева. 2012. №4 (76). – С. 159-163.
4. Sapozhnikov S.Z., Mityakov V.Yu. / Heatmetry. The Science and Practice of Heat Flux Measurement // St.-Petersburg: Springer International Publishing. 2020. – 209 p.
5. Павлов А.В. Измерение локальной плотности теплового потока методом градиентной теплотметрии в топке котла ДКВр-10/13 / А.В. Павлов, А.В. Бикмулин, П.Г. Бобылев, Н.Е. Кикоть, В.М. Проскурин, Ю.В. Андреев // Развивая энергетику будущего, Санкт-Петербург, 2021. 10-11 декабря. Сборник докладов Международной научно-практической конференции для представителей сообщества молодых инженеров ТЭК. Санкт-Петербург. – С. 115-118.
6. Zhang Dalong, Hang Shi, Chenwei Meng, Yuxin Wu, Hai Zhang, Wu Zhou, and Shenming Ran. Measurements on Heat Flux Distribution in a Supercritical Arch-Fired Boiler. // Clean Coal Technology and Sustainable Development -Proceedings of the 8th International Symposium on Coal Combustion. 2015. № 212029. – Pp. 207-212.
7. Снегирев А.Ю. Испарение жидкости и диффузионное горение конденсированных топлив: учеб. пособие / А.Ю. Снегирев, В.А. Талалов, В.В. Степанов // СПб: Изд-во Политехн. ун-та. 2017. – 218 с.