

УДК 532.5.072.15

И.М. Кихтев, доц., канд. техн. наук

Каменский институт (филиал) ЮРГТУ (НПИ), г. Каменск-Шахтинский, Россия

А.М. Павленко, проф., докт. техн. наук

Днепропетровский государственный технический университет

А.В. Яковлева, асп.

Запорожская государственная инженерная академия

Экспериментальные исследования распределения лучистой энергии от U-образного трубного излучателя

В предлагаемой статье приводится анализ результатов экспериментального исследования распределения лучистой энергии по поверхности пола помещения от промышленного U-образного трубного излучателя. Опытным путем определена плотность теплового потока под излучателем на поверхности пола по длине излучателя и в поперечном направлении. Предложен расчетный вариант численной оценки коэффициента сосредоточенности удельного теплового потока во всех рассматриваемых точках поверхности пола. Экспериментальные значения плотности теплового потока могут быть использованы для проверки адекватности соответствующих математических моделей.

системы газового лучистого отопления, U-образный «темный» трубный излучатель, плотность теплового потока, нормально-полосовой источник, коэффициент сосредоточенности удельного теплового потока

© И.М. Кихтев, А.М. Павленко, А.В. Яковлева, 2012

Введение. Системы газового лучистого отопления широко применяют при отоплении зданий и сооружений большого объема. Обеспечение комфортных условий микроклимата в помещениях, снижение энергозатрат, экологическая чистота, быстрый монтаж установок без остановки производственного процесса, простое техническое обслуживание, полная автоматизация и бесшумность работы привлекают к системам лучистого отопления большое внимание.

В целом, сокращение расхода теплоты на отопление и вентиляцию при применении газовых инфракрасных излучателей обеспечивается за счет возможности понижения температуры воздуха, поддерживаемой в помещении; существенного сокращения объема воздуха, нагреваемого до необходимой температуры при локальном обогреве рабочих мест и отдельных зон помещения; малой инерционности и гибкости управления систем; высокого общего коэффициента полезного действия излучателей. В результате стоимость энергоресурсов, используемых на отопление производственных помещений, может быть сокращена в 2,5 - 3 раза, что в настоящее время является одним из основных обуславливающих факторов.

Постановка задачи. В качестве источника теплоты при газовом лучистом отоплении применяют, среди прочих, U-образные «темные» трубные излучатели. Эти источники можно характеризовать энергетическими показателями: лучистой тепловой мощностью, т.е. количеством теплоты, передаваемой на поверхность отапливаемого помещения и распределением ее по анализируемой поверхности. Указанные

характеристики экспериментально изучены для «светлых» керамических излучателей. Результаты исследований приведены в отечественных и зарубежных монографиях [1-2], публикациях [3-6] и др. Известны лишь отдельные публикации по «темным» трубным излучателям [7], в которой авторы делают попытку применить известные модели лучистого теплообмена «светлых» излучателей к анализу тепловых процессов в «темных» трубных излучателях, но эти попытки приводят к сомнительным результатам. Возникает необходимость более достоверного изучения распределения лучистой энергии по обогреваемой поверхности при газовом лучистом отоплении «темными» излучателями.

Результаты исследований. В предлагаемой статье приводятся результаты экспериментального исследования распределения лучистой энергии по поверхности пола помещения от промышленного U-образного трубного излучателя, разработанного под руководством автора статьи Кихтева И.М. Конструктивно U-образный трубный излучатель выполнен следующим образом (рис. 1).

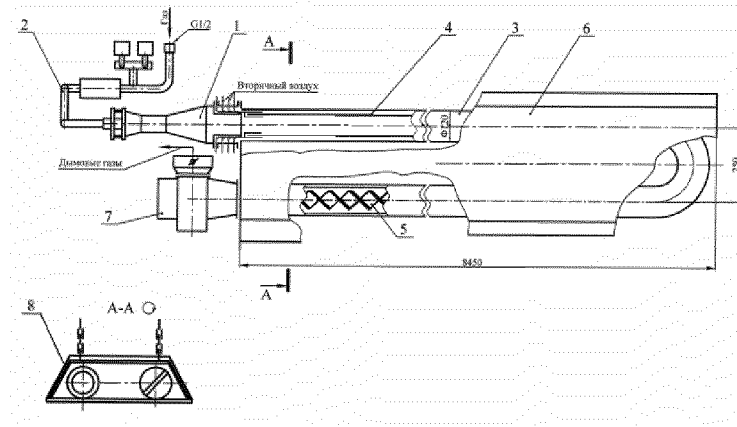


Рисунок 1 - Конструктивная схема U-образного излучателя

Длина излучателя 8660 мм; ширина излучателя в нижней части 680 мм; излучающие трубы выполнены из труб с наружным диаметром $d1' = d1'' = 120$ мм; расстояние между осями горелочной и уходящей ветвей $S = 350$ мм; высота рабочего пространства излучателя $H = 160$ мм; угол наклона боковых стенок отражателя к горизонту $\alpha = 60^\circ$; расстояние от пола до нижней кромки излучателя 1,37 м.

Основные элементы U-образного трубного излучателя приведены на рис.2.

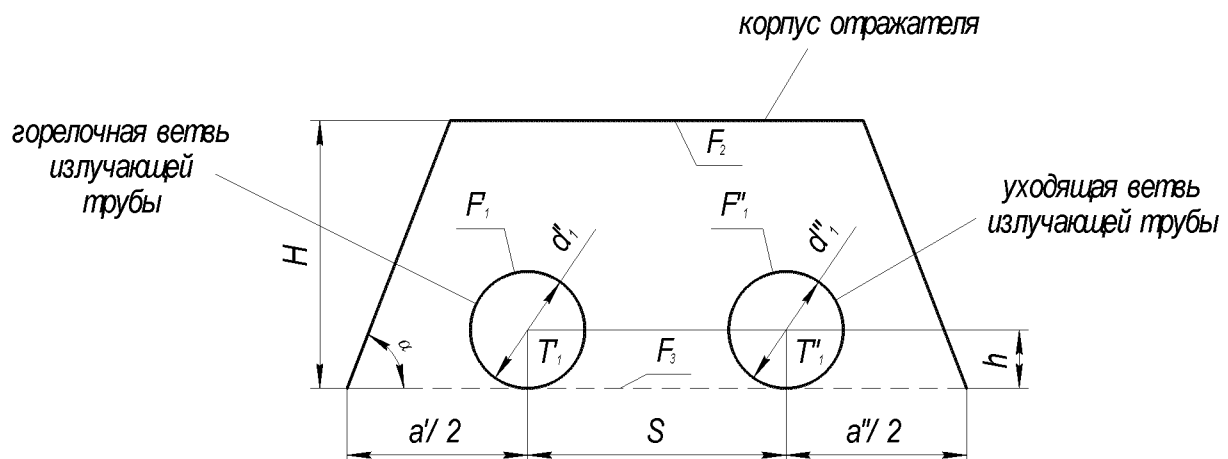


Рисунок 2 – Основные элементы U-образного излучателя (внутренний контур)

Работа излучателя производится следующим образом. В инжекционную горелку поступает природный газ среднего давления из газопровода. За счет инжекции в горелку поступает первичный воздух; в горелке происходит перемешивание газа с первичным воздухом и образование газозвушной смеси, которая воспламеняется на выходе из горелки (на входе в излучающую трубу). Для полного сжигания топлива подается вторичный воздух, который позволяет удлинить (растягивать) факел внутри горелочной ветви излучающей трубы. В конце горелочной ветви продукты сгорания поворачиваются на 180° и двигаются по второй части излучающей трубы – уходящей ветви. В конце уходящей ветви продукты сгорания удаляются дымососом через дымоотводящую трубу за пределы помещения. Сверху горелочной и уходящей ветвей излучающей трубы находится отражатель, выполненный из нержавеющей листа $\delta=1\text{мм}$, слоя теплоизоляционного материала и наружного слоя обшивки из листа углеродистой стали.

В процессе эксперимента излучатель был установлен над уровнем пола на высоте 1,37 м. Плотность теплового потока на уровне пола цеха измеряли радиометром неселективным «Аргус-03», производитель Федеральное Государственное Унитарное Предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт оптико-физических измерений», предназначенного для измерения энергетической освещенности объектов в диапазоне от 1 до 2000 Вт/м² в спектральном диапазоне от 0,5 до 20,0 мкм.

Схема расположения точек, в которых проводили замер плотности теплового потока, приведена на рис. 3. Для этого на поверхность пола помещения была нанесена квадратная сетка с размером ячеек 0,5x0,5 м, плотность теплового потока определялась в узлах сетки. Нумерация узлов сетки приведена на этом же рисунке.

Измерение плотности теплового потока в указанных точках проводилось при стационарном режиме. Наступление стационарного режима принималось при постоянных значениях измерений плотности теплового потока в указанных точках.

Эксперимент проводился при расходе природного газа 5 м³/ч.

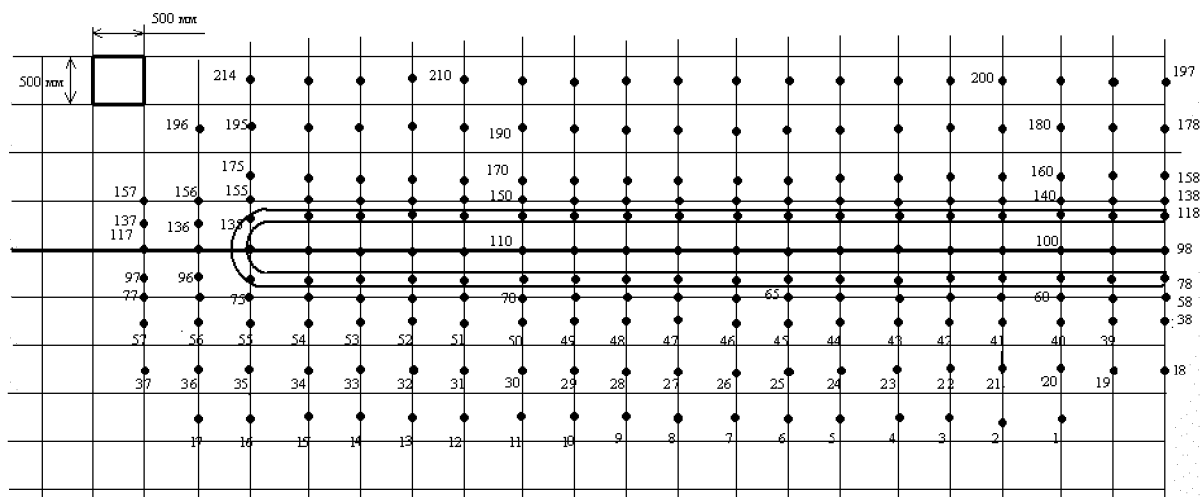


Рисунок 3 - Расположение экспериментальных точек по замеру плотности теплового потока

На рис. 4 представлены экспериментальные значения плотности теплового потока на полу помещения в различных поперечных сечениях по длине излучателя. Ось симметрии графиков совмещена с осью симметрии излучателя. Различные кривые дают представление о распределении плотности теплового потока.

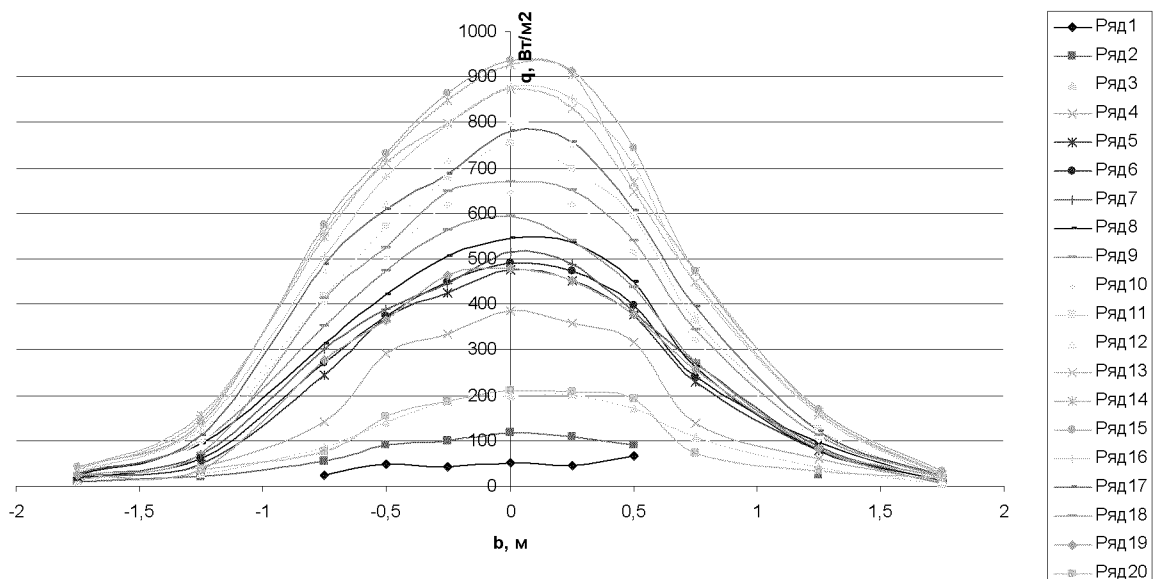


Рисунок 4 - Кривые распределения плотности теплового потока под излучателем в поперечном направлении

Номера кривых соответствуют распределению теплового потока на расстоянии 0, 0,5, 1,0, 1,5 м и т.д. от начала излучателя, где установлена горелка для природного газа. Из приведенных графиков следует, что, с некоторой погрешностью, можно принять симметричное распределение плотности теплового потока и представить это распределение схемой нормально-полосового источника вида

$$q(x) = q(0) \exp(-kx^2), \quad (1)$$

где $q(0)$ - плотность теплового потока источника при $x=0$, Вт/м²;
 $q(x)$ - значение плотности теплового потока в координате x , Вт/м²;
 k - коэффициент сосредоточенности удельного теплового потока, 1/м².

Для теоретического анализа облученности рабочих мест и решения вопроса размещения излучателей над поверхностью пола помещения необходимо дать расчетную оценку коэффициента сосредоточенности (распределения) удельного теплового потока в поперечном направлении.

Из уравнения (1) следует:

$$k = \frac{\ln q(0) - \ln q(x)}{x^2}. \quad (2)$$

По уравнению (2) проведен численный расчет локальных значений коэффициента сосредоточенности (распределения) удельного теплового потока в поперечном направлении k в различных координатах. Результаты расчетов k по рядам, расположенным на расстоянии 1 м друг от друга, представлены в таблице 1. Среднее расчетное значение k ср по всей длине излучателя равно 1,213 [1/м²].

Таблица 1 – Расчетные значения коэффициента сосредоточенности удельного теплового потока k , 1/м²

	Ряд 1	Ряд 2	Ряд 3	Ряд 4	Ряд 5	Ряд 6	Ряд 7	Ряд 8	Ряд 9
k	0 м	1 м	2 м	3 м	4 м	5 м	6 м	7 м	8 м
	2,15	1,43	1,33	1,29	1,29	1,56	1,34	1,38	1,38

	1,50	1,52	1,33	1,55	1,55	1,45	1,51	1,46	1,58
	0,98	0,92	0,90	1,10	1,57	1,18	1,57	1,28	1,02
	0,58	1,01	0,92	0,84	0,92	0,74	1,12	1,09	1,18
	0,90	1,08	1,12	1,18	1,24	1,06	1,14	1,07	1,29
	1,03	1,07	0,98	1,03	1,07	1,05	1,19	1,17	1,33
k ср	1,19	1,17	1,10	1,16	1,28	1,17	1,31	1,24	1,30

На рис. 5 представлены экспериментальные значения плотности теплового потока по длине излучателя.

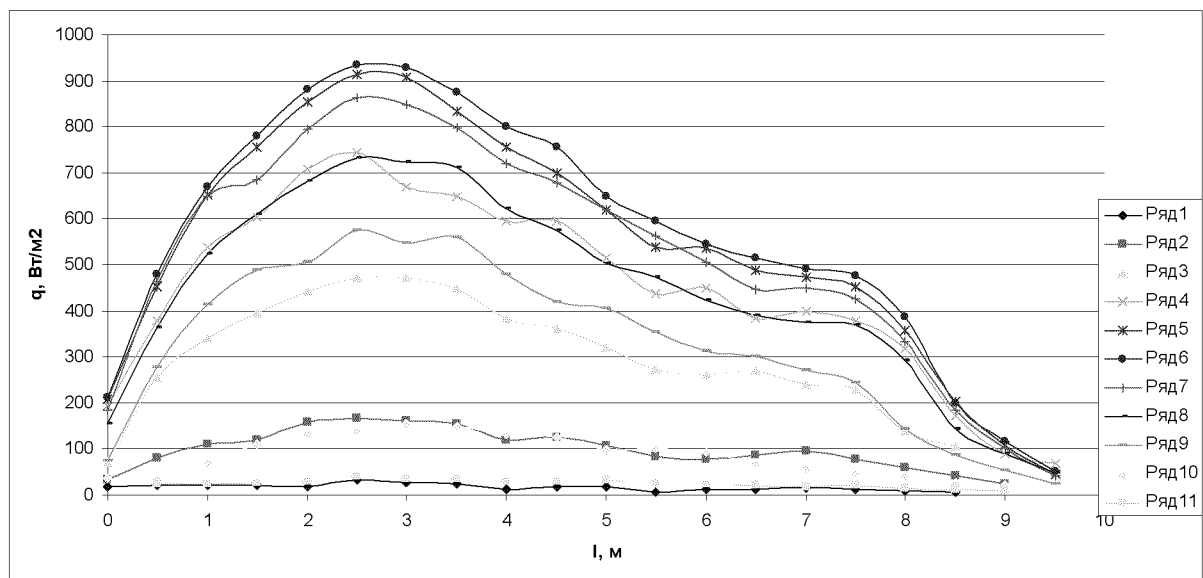


Рисунок 5 - Кривые распределения плотности теплового потока на поверхность пола по длине излучателя

Максимальное значение кривых соответствуют области, где заканчивается процесс горения топлива в огнеупорной вставке (трубе) и начинается процесс теплообмена продуктов сгорания топлива со стенками излучающей трубы (примерно на расстоянии 2,5 м от начала излучающей трубы).

Выводы.

1. Разработана конструкция, изготовлен промышленный образец U-образного трубные излучателя и проведены на нем исследования теплотехнических параметров.

2. Экспериментально определена плотность теплового потока под излучателем на поверхности пола производственного помещения по длине излучателя и в поперечном направлении. Выявлено и предложено:

2.1 Изменение плотности теплового потока от излучателя по поверхности пола помещения в поперечном направлении в различных координатах по его длине предложено принять симметричным и представить уравнением нормального распределения $q(x)=q(0)\exp(-kx^2)$, где k , $[1/м^2]$ - коэффициент сосредоточенности (распределения) удельного теплового потока;

2.2 Распределение плотности теплового потока по поверхности пола помещения в направлении длины излучателя под горелочной и уходящей ветвями идентично, несмотря на то, что температура ветвей по длине различна.

2.3 Предложен расчетный вариант численной оценки коэффициента сосредоточенности удельного теплового потока в отдельных координатных точках пола помещения под излучателем. Проведенные численные расчеты по определению k

справедливы в пределах разработанной конструкции излучателя и, вероятно, зависят от его конструктивного исполнения, типа горелочного устройства и других факторов.

3. Экспериментальные значения плотности теплового потока могут быть использованы для проверки адекватности соответствующих математических моделей.

Список литературы

1. Родин А.К. Газовое лучистое отопление. – Л.: Недра. – 1987. – 191 с.
2. Мачкаши А., Банхиди Л. Лучистое отопление. – М.: Стройиздат. – 1985. – 464с.
3. СТО НП АВОК 4.1.5-2006 – Системы отопления и обогрева с газовыми инфракрасными излучателями / ООО ИИП "АВОК-ПРЕСС". – № 2007. – 12с.
4. Тютюнников А.И., Мосягин В.Ю. О применении газовых инфракрасных излучателей для отопления производственных зданий // Инженерные системы. АВОК. – 2001. – №3. – С.29-31.
5. Шагинян И.Э. Система лучистого отопления помещений // Газовая промышленность. – 1999. – №6. – С.31-32.
6. Шумилов Р. Н., Толстова Ю. Н., Помер А. А. Совершенствование методики расчета лучистого отопления / Материалы юбилейной конференции. Московский государственный строительный университет, 2006. – С.107-112.
7. Крейнин Е.В., Рогинский О.Г., Бондарчук В.Б. Оптимизация системы лучистого отопления помещений // Газовая промышленность. – 2001. -№2. - С.51-53.

І.Кіхтев, А.Павленко, О.Яковлева

Експериментальні дослідження розподілу променевої енергії від U-подібного трубного випромінювача

У запропонованій статті наводиться аналіз результатів експериментального дослідження розподілу променевої енергії по поверхні підлоги приміщення від промислового U-подібного трубного випромінювача. Дослідним шляхом визначена густина теплового потоку під випромінювачем на поверхні підлоги по довжині випромінювача й в поперечному напрямі. Запропоновано розрахунковий варіант чисельної оцінки коефіцієнта зосередженості питомого теплового потоку у всіх даних точках поверхні підлоги. Експериментальні значення густини теплового потоку можуть бути використані для перевірки адекватності відповідних математичних моделей.

I.Kihtev, A.Pavlenko, A.Yakovleva

Experimental studies of radiant energy distribution from the U-shaped pipe radiator

The experimental studies results of the radiant energy distribution on the building's floor surface from the industrial U-shaped pipe radiator is analyzed in the article. With the help of experiment the density of heat flow under the radiator on the floor along the length of the radiator and in the transverse direction was determined. The version of numerical estimate calculation of concentration of specific heat flux in all the points of the floor is proposed. The experimental values of the heat flux can be used to verify the adequacy of mathematical models.

Получено 17.09.12