



Двухзонный тёмный газолучи- стый обогреватель: разработка и совершенство- вание методики расчёта

Рецензия эксперта на статью получена
28.01.2023 [The expert review of the article
was received on January 28, 2023]

В помещениях промышленного и общественного назначения с повышенными влагоизбытками, а также при наличии радиационного охлаждения возможно выпадение конденсата на строительных и ограждающих конструкциях. Как правило, решение подобной проблемы состоит либо в продувке верхней зоны помещения нагретым воздухом, либо в организации дополнительной теплоизоляции перекрытий. Эти технические решения имеют свои достоинства и недостатки при вероятной конденсации влаги на значительной площади.

Однако в случае возникновения локальных зон, например, непосредственно под поверхностями с интенсивным радиационным охлаждением, применение данных решений на практике невыгодно. Бóльший интерес вызывает местное лучистое отопление, способное повышать температуру поверхностей выше точки росы в локальных зонах, что позволяет избежать излишних капиталовложений в теплоизоляцию и оборудование, а также снизить затраты на обработку значительных объёмов продувочного воздуха.

Устройство тёмных газолучистых обогревателей включает линейные греющие элементы в виде прямых или изогнутых труб, снабжённых прямоугольными рефлекторами. Они устанавливаются симметрично вдоль стен или поверхности кровли с направлением действия излучения в обслуживаемую зону. Недостатком данных устройств является возмож-

Местное лучистое отопление повышает температуру поверхностей выше точки росы в локальных зонах, что уменьшает расходы на теплоизоляцию

ность работы излучающей поверхности только в одном направлении. Затраты на сами системы лучистого отопления могут быть сокращены при использовании, например, двухзонных обогревателей. Примером такого устройства может служить разработанная модель двухзонного газолучистого обогревателя, принципиальная схема которой приведена на рис. 1.

УДК 697.7. Научная специальность: 2.1.3 (24.01.23).

Разработка конструкции и совершенствование методики расчёта двухзонного тёмного газолучистого обогревателя для отопления промышленных и общественных помещений

С. В. Чуйкин, к.т.н., доцент, кафедра строительной механики; **Е. С. Аралов**, старший преподаватель, кафедра теплогазоснабжения и нефтегазового дела, [Воронежский государственный технический университет \(ВГТУ\)](#)

Предложена конструкция двухзонного тёмного газолучистого обогревателя для системы отопления промышленных и общественных зданий, отличающаяся от существующих наличием трубчатого излучателя U-образной формы, расположенного в вертикальной плоскости и снабжённого двухсторонним рефлектором с наклонными боковыми поверхностями. Для снижения конвективной составляющей теплообмена и повышения плотности потока излучения к нагревательному элементу предусматривается параболический экран, ось которого совпадает с осью греющей трубы. Благодаря этому обеспечивается двухзонное лучистое отопление обслуживаемых зон и оборудования, а также повышается эффективность работы газового излучателя при обогреве верхней зоны помещения. Разработана программа расчёта коэффициента облучения, приведён пример работы программы. Разработанные устройство и программа расчёта могут применяться при проектировании систем лучистого отопления промышленных и общественных зданий.

Ключевые слова: тёмный излучатель, газолучистое отопление, рефлектор, излучение, коэффициент облучения.

UDC 697.7. The number of scientific specialty: 2.1.3 (24.01.23).

Development of the design and improvement of the calculation methodology of a two-zone dark gas-radiant heater for heating industrial and public premises

S. V. Chuykin, PhD, Associate Professor, the Department of Structural Mechanics; **E. S. Aralov**, senior lecturer, the Department of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Business, [Voronezh State Technical University \(VSTU\)](#)

The design of a two-zone dark gas-radiant heater for the heating system of industrial and public buildings is proposed, which differs from the existing ones by the presence of a U-shaped tubular radiator located in a vertical plane and equipped with a two-way reflector with inclined side surfaces. To reduce the convective component of heat exchange and increase the density of the radiation flux to the heating element, a parabolic screen is provided, the axis of which coincides with the axis of the heating pipe. This ensures two-zone radiant heating of the serviced areas and equipment, as well as increases the efficiency of the gas emitter when heating the upper zone of the room. A program for calculating the irradiation coefficient has been developed, an example of how the program works is given. The developed device and calculation program can be used in the design of radiant heating systems for industrial and public buildings.

Key words: dark emitter, gas-radiant heating, reflector, radiation, irradiation coefficient.

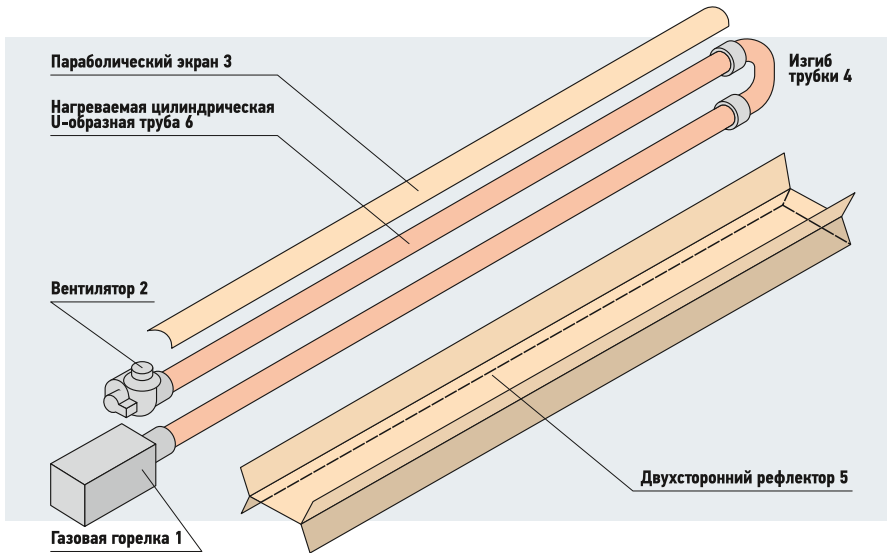


Рис. 1. Принципиальная схема двухзонного тёмного газолучистого обогревателя

Конструкция двухзонного газолучистого обогревателя

Данное излучающее устройство состоит из горелки, трубчатого нагревательного элемента, параболического рефлектора и экрана с высокой отражательной способностью и работает следующим образом. Через нагретую цилиндрическую U-образную трубу 6 при сгорании углеводородов в газовой горелке 1 перемещаются продукты сгорания разнотемпературной смеси с высокой температурой, в результате чего труба нагревается и передаёт лучистую энергию в зону обогрева. Часть тепловой энергии попадает в рефлектор и отражается им в сторону той зоны, которую необходимо обслужить. Продукты сгорания выводятся вентилятором 2. За счёт правильного расположения и U-образной формы греющей трубы излучение направлено на две зоны при помощи двухстороннего рефлектора 5. Зона, находящаяся ниже, нагревается нижним участком устройства, где наблюдается высокая температура газовой среды, после этого

за счёт штампованного отвода продукты сгорания движутся в обратном направлении по второму участку трубы.

Тепловые потоки от нагретых поверхностей, расположенных в верхней части устройства, устремляются вверх и обтекают параболический экран 3, вследствие чего наблюдается появление обратных вихревых течений. Воздух теряет свою скорость в районе соприкосновения с экраном и способствует полной остановке свободного конвективного течения от горизонтально расположенной цилиндрической трубы.

Одной из основных задач, которые необходимо решить при проектировании систем газолучистого отопления, является определение их установочной мощности. Для этого в настоящее время имеется ряд методик, которые можно разделить на две группы: определение тепловых потерь помещения с учётом комфортной или допустимой облучённости и определение комфортной облучённости обогреваемых людей [1].

Плотность лучистого притока теплоты в общем случае определяется по известной зависимости:

$$q_{\text{луч}} = c_n \left[\left(\frac{t_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_2}{100} \right)^4 \right] \Phi, \quad (1)$$

здесь T_1 и T_2 — температуры взаимодействующих поверхностей, К; Φ — коэффициент облучения, который учитывает взаимное расположение поверхностей теплообмена; c_n — приведённый коэффициент излучения, Вт/(м²·К⁴):

$$c_n = \frac{1}{\frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2} - \frac{1}{c_0}}, \quad (2)$$

где c_0 — коэффициент излучения абсолютно чёрного тела, $c_0 = 5,67$ Вт/(м²·К⁴); c_1 и c_2 — коэффициенты излучения серых тел при взаимном облучении, Вт/(м²·К⁴).

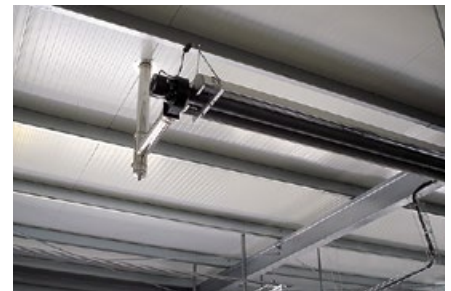
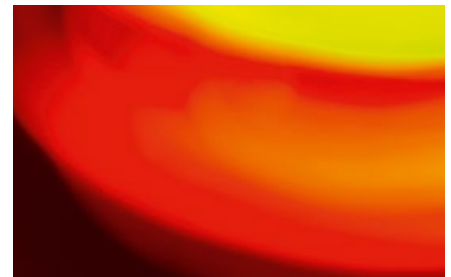


Фото ООО «Газ-тест», gaz-test.ru

Поскольку любое изменение места взаимного расположения облучающей и облучаемой поверхностей приводит к изменению коэффициента облучения, величина лучистого притока может значительно возрасти, что способствует перегреву рассматриваемых поверхностей. Для предотвращения этого необходимо обеспечить как можно более точный расчёт данного интегрального параметра при определении величины плотности лучистого потока.

В общем случае коэффициент облучения определяется с помощью двойного интегрирования по зависимости (3) или по номограммам, приведённым в [1, 4]:

$$\Phi = \frac{1}{F_1 F_2} \int \int \frac{\cos(\beta_1) \cos(\beta_2)}{\pi R^2} dF_1 dF_2, \quad (3)$$

где F_1 и F_2 — площади взаимодействующих поверхностей, м²; R — расстояние между поверхностями, м; β_1 и β_2 — углы падения и излучения, соответственно.



Фото: «Анализит» ООО «Приборы и учёт», analizit.ru

Программа расчёта коэффициента облучения

Подробно решение уравнения (2) было рассмотрено в работе [1], однако оно достаточно громоздкое для практического применения, поэтому становится актуальной разработка и реализация алгоритма автоматизированного расчёта коэффициента облучения с произвольным взаимным расположением поверхностей теплообмена.

Поскольку поиск решения поставленной задачи предполагает большой объём вычислений, использование компьютера позволит сократить временные и трудовые затраты при проектировании систем газолучистого отопления. Реализация программной части выполнялась на высокоуровневом объектно-ориентированном языке программирования Python [10, 11]. Блок-схема предлагаемой программы приведена на рис. 2.

Разработанная программа расчёта позволяет определить коэффициент облуче-

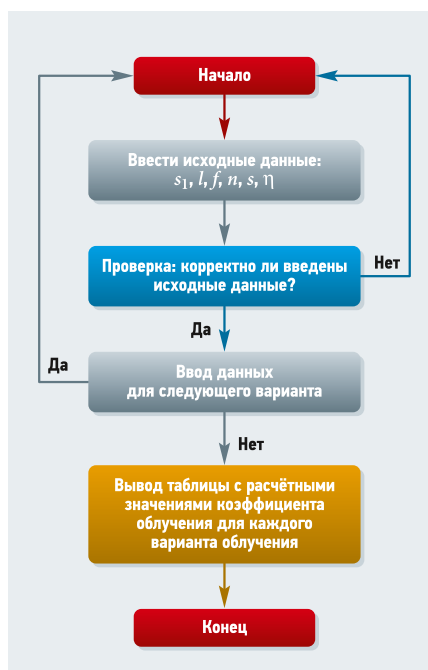


Рис. 2. Блок-схема программы расчёта коэффициента облучения

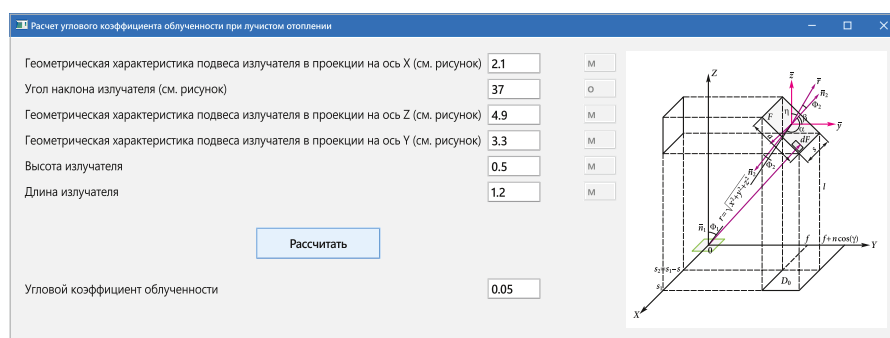


Рис. 3. Вывод расчётных данных программы оптимизации

ния системы «лучистый обогреватель — облучаемая поверхность» при произвольном расположении плоской поверхности облучателя и элементарной площадки обогреваемой поверхности. При расчёте вводятся исходные геометрические дан-

ные, характеризующие взаимное расположение излучателя и площадки, которые показаны на рис. 3.

Далее программа проводит расчёт коэффициента облучения согласно методике, приведённой выше.

Выводы

В качестве заключения можно констатировать, что разработан двухзонный тёмный газовый обогреватель, который за счёт наличия греющей трубы U-образной формы, двухстороннего рефлектора с наклонными боковыми поверхностями и параболического экрана из материала с высокой отражательной способностью позволяет одновременно отапливать рабочую и верхнюю зоны помещения и, следовательно, уменьшить число отопительных приборов в этих зонах.

Параболический экран обогревателя предотвращает беспрепятственное развитие свободных конвективных потоков от нагревательного элемента в верхнюю зону помещения. Фокус экрана совпадает с осью греющей трубы, что повышает её температуру за счёт взаимодействия с отражённым излучением.

Также разработана программа расчёта коэффициента облучения, которая позволяет сократить трудоёмкость и время проектирования систем лучистого отопления при произвольном расположении отопительного прибора и обогреваемой поверхности.

1. Родин А.К. Газовое лучистое отопление. — Л.: Недра, 1987. 191 с.
2. Чуйкин С. В., Змановский Т.А., Бохан А.Р., Григорьева К.А. Газолучистое отопление. Научно-практические проблемы и особенности проектирования // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации, 2019. №4. С. 29–33.
3. Болотских Н.Н. Ленточные инфракрасные газовые обогреватели Schulte для отопления высоких помещений с большой тепловой нагрузкой // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит, 2013. №9. С. 38–45.
4. Богословский В.Н. Строительная теплофизика: учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Высшая школа, 1982. 189 с.
5. Ермолаев А.Н. Повышение эффективности работы высокотемпературных газовых горелок инфракрасного излучения // Главный энергетик, 2019. №6. С. 10–21.
6. Беляева Е.А., Хальметов А.А. Конструкция инфракрасного нагревателя / Проблемы и перспективы развития строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения: Мат. VIII Национальн. конф. с межд. участием (Саратов, 15–16.11.2018). — Саратов: СГАУ, 2018. С. 43–46.
7. Кудрина Е.С., Чадов А.Ю., Мухамедияров Д.О. [и др.] Сравнение различных типов газовых инфракрасных обогревателей // Аспирант, 2020. №4. С. 99–101.
8. Кортюкова Д.О., Измайлова А.Р., Чичирова Н.Д. Инфракрасные обогреватели / Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве: Мат. VI Национальн. науч.-практ. конф. (Казань, 10–11.12.2020). — Казань: КГЭУ, 2020. С. 104–106.
9. Пирамидин Д.В. Повышение энергоэффективности промышленного предприятия за счёт применения газового лучистого отопления // Студенческий вестник, 2022. №21. С. 61–62.
10. Доусон М. Программируем на Python. 3-е изд. / Пер. с англ. — СПб.: Питер, 2014. 416 с.
11. Лутц М. Изучаем Python. 4-е изд. / Пер. с англ. — СПб.: СимволПлюс, 2011. 1280 с.

References — see page 80.



Development of the design and improvement of the calculation methodology of a two-zone dark gas-radiant heater for heating industrial and public premises. Pp. 29–31.

Sergey V. Chuykin, PhD, Associate Professor, the Department of Structural Mechanics;
Egor P. Aralov, senior lecturer, the Department of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Business, [Voronozh State Technical University \(VSTU\)](#)

1. A.K. Rodin. *Gazovoe luchistoe otoplenie* [Gas radiant heating]. Leningrad. Nedra ["Bowels" Publishers]. 1987. 191 p. [In Russian]
2. S.V. Chuykin, T.A. Zmanovskij, A.R. Bohan, K.A. Grigor'eva. *Gazoluchistoe otoplenie. Nauchno-prakticheskie problemy i osobennosti proektirovaniya* [Gas-radiant heating. Scientific and practical problems and design features]. *Gradostroitel'stvo. Infrastruktura. Kommunikatsii* ["Urban planning. Infrastructure. Communications" Magazine]. 2019. No. 4. Pp. 29–33. [In Russian]
3. N.N. Bolotskiy. *Lentochinye infrakrasnye gazovye obogrevateli Schulte dlja otopleniya vysokih pomeschenij s bol'shoj teplovoj nagruzkoy* [Schulte band infrared gas heaters for heating high spaces with a high heat load]. *Jenergoberezenie. Jenergetika. Jenergoaudit* ["Energy saving. Energy. Energy audit" Magazine]. 2013. No. 9. Pp. 38–45. [In Russian]
4. V.N. Bogoslovskij. *Stroitel'naja teplofizika: uchebnik dlja vuzov* [Building thermal physics: A textbook for universities]. 2nd edition, rev. and exp. Moscow. Vysshaja shkola ["Higher education" Publishing House]. 1982. 189 p. [In Russian]
5. A.N. Ermolaev. *Povyshenie jeffektivnosti raboty vysokotemperaturnyh gazovyh gorelok infrakrasnogo izlucheniya* [Improving the efficiency of high-temperature infrared gas burners]. *Glavnyj jenergetik* ["Chief Power Engineer" Magazine]. 2019. No. 6. Pp. 10–21. [In Russian]
6. E.A. Beljaeva, A.A. Hal'metov. *Konstruktsija infrakrasnogo nagrevatelja* [Infrared heater design]. *Problemy i perspektivy razvitiya stroitel'stva, teplogazosnabzheniya i jenergoobespecheniya: Mat. VIII Natsionaln. konf. s mezhd. uchastiem* [Problems and prospects for the development of construction, heat and gas supply and energy supply: Proc. of the VIII National Conference with international participation]. October 15–16, 2018. Saratov. SGAU [Saratov State Vavilov Agrarian University]. 2018. Pp. 43–46. [In Russian]
7. E.S. Kudrina, A.Ju. Chadov, D.O. Muhamedijarov et al. *Sravnenie razlichnyh tipov gazovyh infrakrasnyh obogrevatelej* [Comparison of different types of gas infrared heaters]. *Aspirant* ["Postgraduate student" Magazine]. 2020. No. 4. Pp. 99–101. [In Russian]
8. D.O. Kortjukova, A.R. Izmajlova, N.D. Chichirova. *Infrakrasnye obogrevateli* [Infrared heaters]. *Pri-borostroenie i avtomatizirovannyj elektroprivod v toplivno-jenergeticheskom komplekse i zhilishhno-kommunal'nom hozjajstve: Mat. VI Natsionaln. nauch.-prakt. konf.* [Instrumentation and automated electric drive in the fuel and energy complex and housing and communal services: Proc. of the VI National Scientific and Practical Conference]. December 10–11, 2020. Kazan. KGJeU [Kazan State Power Engineering University]. 2020. Pp. 104–106. [In Russian]
9. D.V. Piramidin. *Povyshenie jenergojeffektivnosti promyshlennogo predpriyatija za schet primenenija gazovogo luchistogo otoplenija* [Increasing the energy efficiency of an industrial enterprise through the use of gas radiant heating]. *Studencheskij vestnik* ["Student newsletter" Magazine]. 2022. No. 21. Pp. 61–62. [In Russian]
10. M. Dowson. *Programmiruem na Python* [Python Programming for the Absolute Beginner]. 3rd edition. Transl. from English. St. Petersburg. Piter ["Piter" Publishers]. 2014. 416 p. [In Russian]
11. M. Lutz. *Izuchaem Python* [Learning Python]. 4th edition. Transl. from English. St. Petersburg. SimvolPljus ["SimbolPlus" Publishers]. 2011. 1280 p. [In Russian]