

11. Recuperator. Fuel Save Systems & Devices (P) Ltd. [Web resource]. — Access mode: <http://www.fuelsavesystems.com/recuperator.htm>
12. Combustor (Burner) series : Recuperator // Beijing Shenwu Environment & Energy Technology Co. Ltd. [Web resource]. — Access mode: http://www.shenwu.com.cn/english/index.php?app=product&act=view&column_id=137&id=187
13. Patent for an invention of Ukraine 101124, MPC9 F 23 L 15/04, F 27 D 17/00. Recuperator. B.S.Soroka, P.Sandor, V.S.Kudryavtsev, N.V.Vorobyov. — Publ. 25.02.2013, Bull. 4. (Ukr.)
14. Soroka B.S. Intensification of thermal processes in the fuel furnaces. Kiev : Naukova Dumka, 1993, 416 p. (Rus.)
15. Metallurgical furnace. Theory and calculations / Ed. V.I.Timoshpolskiy, V.I.Gubinskiy. Minsk : Belarusian Science, 2007, 1, 596 p. (Rus.)
16. Smith E., Chinaruk T., Petpices E., Pongjet P. Thermal characteristics in a heat exchanger tube fitted with dual twisted tape elements in tandem. International Communications in Heat and Mass Transfer, 2010, 37, pp. 39–46.
17. Monin A.S. Turbulence; Kadomtsev B.B. Turbulent flow. Physical Encyclopedic Dictionary. Moscow : Soviet Encyclopedia, 1984, pp. 769–771. (Rus.)
18. Zhukauskas A.A. Convective transfer in heat exchangers. Moscow : Nauka, 1982, 472 p. (Rus.)

Received February 24, 2014

УДК 536.24:537.312.5

Великодный В.А., канд. техн. наук, Пикашов В.С., канд. техн. наук

Институт газа НАН Украины, Киев

ул. Дегтяревская, 39, 03113 Киев, Украина, e-mail: Vel_vldr@lan.com.ua

Влияние радиационных характеристик поверхностей на теплообмен

Приведены результаты анализа различных случаев теплообмена в печах и топках тепловых агрегатов. Наиболее типичные и простые из них представлены в виде моделей теплообмена. Модели разделены между собой в зависимости от стороны подвода теплоты к поверхности, вида теплообмена с излучающей стороны стенки, а также селективности излучения, когда падающее и эффективное излучение поверхности считается серым, или их селективность учитывается. Показано, что в зависимости от видов теплопереноса, их характера и соотношения параметров теплообмена зависимость эффективного излучения поверхности от ее степени черноты имеет неоднозначный характер. *Библ. 15, рис. 1, табл. 1.*

Ключевые слова: печи, камеры сгорания, радиационные характеристики, излучающая поверхность, эффективность сложного теплообмена.

Согласно закону Стефана-Больцмана, собственное излучение поверхности прямо зависит от ее степени черноты (ϵ). На практике этот закон получил широкое распространение при регулировании теплообмена искусственным изменением радиационных характеристик поверхности [1]. Однако в условиях сложного теплообмена излучение поверхности зависит и от собственного излучения, и от отраженного, а также конвективной составляющей и потерь теплопроводностью поверхности в окружающую среду. Поэтому излучение поверхности в таких случаях более сложным образом зависит от ее радиационных характеристик [2]. Так, в пламенных печах, работающих в режиме радиационного те-

плообмена, ранее принималось, что ϵ кладки не оказывает влияния на эффективное излучение, а конвективную составляющую от газов к кладке было принято считать незначительной, и ее приравнивали к потерям кладки в окружающую среду. Более поздними исследованиями было доказано, что за счет селективности излучения повышение ϵ кладки может увеличивать ее эффективное излучение на 3–5 % [3, 4].

Нашими исследованиями впервые было установлено, что в условиях сложного теплообмена в печах с низкой степенью черноты огнеупоров за счет покрытий на них, ее повышающих, можно интенсифицировать теплообмен к нагреваемым поверхностям на 30–40 %. [5].

Типичные простые случаи и соответствующие модели теплообмена

Модель	Подвод теплоты	Вид теплообмена	Характер тепловых потоков	Селективность излучения	Эффективность	Практическая реализация
1	$T_k < T'_k$	радиационный	подвод теплопроводностью, отвод излучением	серое или селективное, $\epsilon_k = a_k$, $\epsilon_k \neq a_k$	повышает	электродпечь сопротивления, радиатор, газовая радиационная труба
2	то же	радиационно-конвективный	подвод теплопроводностью, отвод излучением	серое или селективное $\epsilon_k = a_k$, $\epsilon_k \neq a_k$	повышает	радиационные сушильные установки
3	$T_k \geq T'_k$ *	радиационный	подвод и отвод излучением, адиабатная стенка, $q_{пот} = 0$	серое, $\epsilon_k = a_k$	не влияет	пламенные печи с хорошей теплоизоляцией, работающие в чисто радиационном режиме (в основном прямого направленного и равномерно распределенного теплообмена)
4	то же	то же	подвод и отвод излучением, $q_{пот} > 0$	серое, $\epsilon_k = a_k$	понижает	пламенные печи с плохой изоляцией (например, когда нельзя изолировать по соображениям стойкости или когда ее специально охлаждают)
5	то же	то же	подвод и отвод излучением, адиабатная стенка (кладка), $q_{пот} = 0$	селективное, $\epsilon_k \neq a_k$	повышает	пламенные печи, работающие в режиме чисто радиационного нагрева (в основном косвенного направленного и равномерно распределенного)
6	то же	то же	подвод и отвод излучением, $q_{пот} > 0$	селективное, $\epsilon_k \neq a_k$	повышает или понижает	то же
7	то же	радиационно-конвективный	—	серое, $\epsilon_k = a_k$	а) повышает б) повышает в) не зависит г) понижает	а) излучающие горелки с перфорированной решеткой, сеткой, пористой керамикой; б) пламенные печи в режимах косвенного радиационно-конвективного теплообмена: нефтехимические печи с чашеобразными горелками, нагревательные печи с плоскопламенными или струйными горелками; в) печи с радиационными режимами работы; г) высокотемпературные печи с наружным охлаждением кладки (например, испарительным, воздушным), мартеновские, стекловаренные и др.
8	то же	то же	подвод излучением, отвод излучением и конвекцией: а) $q_{пот} = 0$; б) $q_{пот} \neq 0$	серое, $\epsilon_k = a_k$	а) понижает б) понижает	а) камеры сгорания с эффузионным охлаждением, пламенные печи в режиме прямого направленного теплообмена, солнечные печи, отражательные печи
9	$T_k < T'_k$ $T_k \geq T'_k$	то же	различные варианты подвода и отвода	серое или селективное, $\epsilon_k = a_k$, $\epsilon_k \neq a_k$	—	—

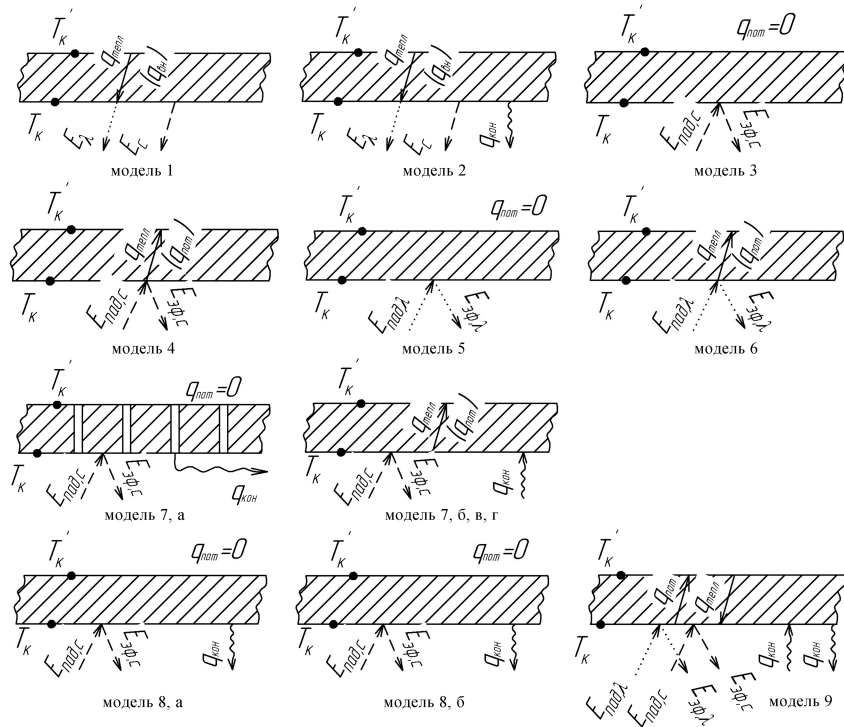
Особую роль в интенсификации теплообмена в печах играет конвективная составляющая к кладке [6].

С целью подтверждения этого положения был разработан состав для нанесения на огнеупоры, поверхность которых имеет низкую ϵ [7]: высокоглиноземистый бетон, шамот, магнезит и др. Как показали эксперименты, покрытие позволяет повышать ϵ от 0,4 до 0,8 при температуре примерно 1050 °С [8].

Были проведены сравнительные опыты по измерению излучения от поверхности чашеобразной и плоскопламенной горелок с рассекателями, вначале с исходной поверхностью, а затем покрытой составом [9]. Изменялись нормальные и полусферические тепловые потоки по радиусу от поверхности при разных расхо-

дах газа. При увеличении расхода газа возрастала конвективная составляющая к поверхности горелки. Получено, что с увеличением расхода от 5 до 35 м³/ч излучение от поверхности возрастает от 3,6 до 24 % для чашеобразной горелки и от 8 до 40 % для плоскопламенной. При этом температура поверхности падала на 15–30 °С. Многочисленными опытами на многих заводах установлено, что нанесение состава на излучающую кладку в печах производства этилена и других, работающих в режиме косвенного направленного теплообмена, позволяет сэкономить топливный газ на 15–30 %.

Были выполнены аналитические исследования зависимости результирующего теплового потока в печах и топках от ϵ кладки, ϵ газов, конвективной составляющей от газов к кладке,



Модели теплообмена к таблице: $q_{\text{тепл}}$ — подвод (отвод) теплоты теплопроводностью; $q_{\text{пот}}$ — потери теплоты теплопроводностью; $q_{\text{вн}}$ — внутреннее выделение теплоты; $q_{\text{кон}}$ — конвективный тепловой поток; штриховые линии E_c — серое излучение; E_λ — селективное излучение; сплошные — теплопроводность; индексы «пад» — падающее, «эф» — эффективное излучение; T_k , T'_k — температуры кладки внутренней и наружной поверхностей.

температурного уровня потерь в окружающую среду [10]. Получено, что повышение ϵ кладки может дать и положительный, и отрицательный эффект, в частном случае, как принималось ранее, не влияя на эффективность теплообмена.

Экспериментально доказано, что повышение ϵ пода в отопительных котлах в летнее время, когда котлы работают периодически, дает отрицательный эффект. Расход топлива увеличивается на 1,5–2 %. В зимний период, когда котлы работают непрерывно, получен эффект 2–3 %. На колшаковой печи для отжига металла, которая работает в нестационарном режиме, повышение ϵ кладки показало отрицательный эффект. Это можно объяснить увеличенным расходом тепла при большей ϵ на нагрев кладки.

Нами выполнен анализ различных моделей, описывающих теплообмен в соответствующих тепловых агрегатах. Рассмотрены возможности управления теплообменом в результате изменения радиационных характеристик поверхностей и показано, что характер влияния ϵ на излучение поверхности неоднозначен.

При анализе считается, что стенка непрозрачна, имеет конечную толщину и постоянную теплопроводность. Для тепловых потоков используется гипотеза аддитивности. Рассматривается излучение одной из поверхностей стен-

ки, которая считается диффузно излучающе-поглощающей.

В общем случае теплота может подводиться или отводиться от поверхности теплопроводностью через стенку, конвекцией от газов и селективным или серым излучением. Однако анализ теплообмена в такой системе достаточно сложен. На практике теплообмен обычно происходит при более простых условиях.

В таблице приведены типичные простые случаи и соответствующие модели теплообмена (рисунок). С точки зрения влияния ϵ кладки на интенсивность теплообмена излучением рассматриваемые модели можно разделить следующим образом.

По подводу теплоты к поверхности — на две группы: когда теплота подводится со стороны, противоположной излучающей, и когда теплота подводится с излучающей стороны. В последнем случае стенка может терять часть теплоты теплопроводностью от излучающей поверхности, но ее температура T_k всегда будет больше температуры T'_k противоположной стенки, в отличие от первого случая, когда $T'_k > T_k$.

По виду теплообмена с излучающей стороны стенки следует различать чисто радиационный теплообмен. При этом могут встретиться два

крайних случаях: когда теплота подводится только конвекцией от диатермических газов, а отводится излучением, и когда теплота к поверхности подводится только излучением через диатермический газ, нагреваемый конвекцией от стенки.

По селективности излучения можно различать модели, в которых падающее и эффективное излучение поверхности считается серым, и модели, в которых учитывается селективность падающего, эффективного и собственного излучения поверхности.

Рассмотрим модели теплообмена в соответствии с нумерацией в таблице.

Первые две модели относятся к случаю, когда теплота подается теплопроводностью с противоположной стороны излучающей поверхности или внутренними источниками (электрическим током, химической энергией и др.), при этом ее температура T'_k выше температуры T_k излучающей поверхности. При чисто радиационном теплообмене (модель 1), сером или селективном спектре, согласно закону Стефана-Больцмана, повышение степени черноты всегда увеличивает излучение поверхности. В технике это радиаторы, электропечи сопротивления, радиационные трубы, где широко используется чернение поверхностей [1].

В модели 2 дополнительно учитывается снижающий температуру излучателя отвод теплоты конвекцией, который необходимо уменьшать. Это может происходить, например, в радиационных сушильных установках и при инфракрасном отоплении больших помещений [11].

Все последующие модели теплообмена относятся ко второму случаю подвода теплоты к поверхности. При сером падающем излучении для серой адиабатной поверхности (модель 3), то есть при равных нулю потерях теплоты теплопроводностью, в работах [2, 8, 12] показано, что эффективное излучение поверхности не зависит от ее ϵ . Действительно, в эффективном излучении адиабатной серой стенки доли отраженного и поглощенного излучения, которое трансформируется в собственное излучение, при изменении степени черноты перераспределяются, но их сумма всегда равна падающему излучению. Такая модель принята в расчетах радиационного теплообмена в печах. Практически она применима к пламенным печам с хорошей теплоизоляцией, работающих в основном в режимах равномерно распределенного и прямого направленного радиационного теплообмена со светящимся факелом [13]. В таких печах тепловые потери через стенку можно не учитывать.

Модель 4 отличается от модели 3 только учетом потерь теплоты через стенку. Хотя на

практике в большинстве случаев стремятся кладку или футеровку хорошо изолировать, однако в высокотемпературных печах, футерованных камерах сгорания, в отражательных и солнечных печах, где материалы находятся при предельных рабочих температурах, их не только не изолируют, но даже специально охлаждаются для снижения температуры. Естественно, чем ниже поглощательная способность, тем выше отражательная и тем большая доля падающего излучения отражается. С увеличением поглощательной способности возрастает поглощенная доля падающего излучения, и температура поверхности увеличивается. Соответственно растут потери теплоты снижается эффективное излучение. Следовательно, в модели 4 повышение ϵ и поглощательной способности поверхности снижает ее эффективное излучение и результирующий тепловой поток в аппарате.

В моделях 5 и 6 учитывается селективность излучения. Теоретическими исследованиями показано, что при селективном излучении газов повышение ϵ кладки может приводить к увеличению эффективного излучения [3, 14]. Объясняется это тем, что для длин волн, в которых газ излучает, повышение поглощательной способности кладки приводит к росту поглощенной энергии и температуры. Для этих длин волн ситуация аналогична серому излучению. Для других длин волн, в которых газ прозрачен, кладка не поглощает излучение газов, а излучает непосредственно на тепловоспринимающую поверхность. Излучение ее возрастает с увеличением ϵ и температуры. Поэтому суммарный результат от увеличения ϵ оказывается положительным.

Все это справедливо для адиабатной кладки (модель 5). При наличии тепловых потерь (модель 6) через стенку ее температура и эффективное излучение снижаются. С ростом тепловых потерь наступает момент, когда снижение температуры стенки не компенсируется положительным эффектом от увеличения ϵ . В этих условиях для повышения эффективного излучения от кладки необходимо снизить ее ϵ (поглощательную способность), повысив тем самым отражательную способность и отраженное излучение. Температура кладки понизится, уменьшатся тепловые потери и повысится КПД аппарата.

К моделям 5 и 6 достаточно близки косвенный направленный и равномерно распределенный радиационный режимы теплообмена печей с несветящимся факелом.

Более сложны модели 7 и 8, в которых теплота подводится к излучающей поверхности одновременно излучением и конвекцией от газов. Такие случаи рассмотрены в работах [5, 10]. За

последнее время разработаны горелочные устройства и печные агрегаты, позволяющие значительно интенсифицировать теплообмен в печах в основном за счет конвективной составляющей подводимого к излучающим поверхностям теплового потока. Такие печи работают в режиме косвенного направленного радиационно-конвективного теплообмена, например, нефтехимические печи с чашеобразными горелками, нагревательные печи с плоскопламенными или струйными горелками.

В модели 7 принято серое излучение, теплота к поверхности подводится излучением и конвекцией от газов. Теплота, подведенная излучением (поглощенное излучение) и конвекцией, трансформируется в собственное излучение поверхности. При этом ε поверхности не влияет на эффективное излучение для теплоты, подведенной излучением, а эффективное излучение, связанное с теплотой, подведенной конвективной составляющей, растет с увеличением ε поверхности [10]. Наибольший эффект от повышения ε кладки, как и в модели 5, достигается при адиабатной стенке (модель 7, а).

Для моделей 3 и 5 при теплообмене только излучением кладку можно считать адиабатной лишь приближенно, поскольку при любой изоляции кладки потери, хотя и небольшие, всегда имеются. Однако существуют такие практически используемые устройства со сложным теплообменом, в которых стенку можно считать строго адиабатной. Они представляют собой одновременно горелочное устройство и пористую или дырчатую стенку. В них вся теплота, отводимая теплопроводностью от излучающей поверхности, возвращается в противоположном направлении потоком газозвушной смеси, проходящей через поры. Газозвушная смесь сгорает в тонком слое пор вблизи излучающей поверхности или в пограничном газовом слое на поверхности ее нагрева [15].

В устройствах, в которых потери теплоты $q_{\text{пот}}$ через стенку имеются (модель 7, б), эффект от чернения по сравнению со случаем адиабатной стенки снижается с увеличением $q_{\text{пот}}$, но оказывает положительное влияние на эффективное излучение пока $q_{\text{пот}} < q_{\text{кон}}$. Когда потери теплоты теплопроводностью через стенку становятся равными теплоте, подведенной конвекцией (модель 7, в), $q_{\text{пот}} = q_{\text{кон}}$, эффективное излучение поверхности становится независимым от ее радиационных характеристик. Этот случай подобен адиабатной кладке при чистом излучении (модель 3). Такая модель получила название модели с псевдоадиабатной кладкой [5] и используется в практических методиках теплового расчета пламенных печей.

При $q_{\text{пот}} > q_{\text{кон}}$ (модель 7, г) повышение ε кладки снижает эффективное излучение [10].

В модели 8 теплота к поверхности подводится серым излучением, а отводится излучением и конвекцией. Здесь могут встретиться два случая: либо потери теплопроводностью равны нулю, а теплота отводится конвекцией и излучением (модель 8, а), либо потери имеются, следовательно, теплота отводится теплопроводностью, излучением и конвекцией (модель 8, б). В обоих случаях повышение ε снижает эффективное излучение поверхности.

Модель 8, а реализуется, например, в камерах сгорания ракетных двигателей с эффузионным охлаждением [15], модель 8, б — в пламенных плавильных печах (мартеновских, стекловаренных), работающих в режиме прямого направленного радиационного теплообмена [12], в солнечных печах, при радиационном отоплении или нагреве изделий [11].

В наиболее сложной из рассмотренных моделей 9 теплота подводится одновременно селективным излучением, конвекцией и теплопроводностью, а отводится селективным излучением и конвекцией. Могут быть и другие сочетания. Анализ таких моделей связан с определенными трудностями, так как при подводе и отводе теплоты различными видами теплопереноса существенно возрастает количество вариантов, которые необходимо рассматривать.

Таким образом, в зависимости от видов теплопереноса, их характера и соотношения увеличение ε поверхности может повышать или понижать эффективное излучение. Поэтому прежде, чем изменять радиационные характеристики поверхности, необходимо выполнить расчеты, используя соответствующую модель теплообмена.

Выводы

Рассмотрена зависимость эффективного излучения теплообменных поверхностей от их радиационных характеристик. Показано, что в пламенных печах, работающих в режиме радиационно-конвективного теплообмена, эффективное излучение кладки существенно зависит от ее степени черноты. особую роль при этом играет конвективная составляющая к кладке.

Экспериментальные исследования по измерению излучения от поверхности чашеобразной и плоскопламенной горелок с исходной и зачерненной специально разработанным составом поверхностями показали, что повышение степени их черноты с одновременным увеличением конвективной составляющей к ним увеличивает излучение от 3,6 до 40 %.

На основе анализа различных моделей описывается теплообмен в соответствующих тепловых агрегатах. Рассмотрена возможность управления теплообменом путем изменения радиационных характеристик поверхностей.

Получено, что повышение степени черноты кладки в зависимости от величины конвективной составляющей к ней и степени черноты газов может влиять на эффективность теплообмена и положительно, и отрицательно, а в частном случае не оказывать влияния.

В результате анализа различных моделей теплообмена установлено, что прежде, чем изменять степень черноты теплообменных поверхностей, необходимо произвести качественную и количественную оценку мероприятия.

Список литературы

1. Абрамович Б.Г., Гольштейн В.Л. Интенсификация теплообмена излучением с помощью покрытий. — М. : Энергия, 1977. — 256 с.
2. Пикашов В.С., Еринов А.Е., Петишкин С.А., Полетаев Я.Б. Сравнительные исследования радиации и конвекции при разных режимах теплообмена в пламенных печах // Пром. теплотехника. — 1979. — Т. 1, № 1. — С. 79–84.
3. Невский А.С. Влияние отражательной способности кладки на величину радиационного теплообмена // Теплофизика высоких температур. — 1973. — Т. 11, № 5. — С. 1031–1036.
4. Мاستрюков Б.С., Кузнецова А.П., Шутов Н.П. Влияние футеровки на радиационный теплообмен в пламенных печах // Теория и практика сжигания газа. — 1981. — Т. 7. — С. 138–146.
5. Пикашов В.С., Еринов А.Е., Великодний В.А., Полетаев Я.Б. Интенсификация теплообмена в пламенных печах путем увеличения степени черноты обмуровки // Пром. теплотехника. — 1980, Т. 2. — № 4. — С. 117–121.
6. Пикашов В.С., Полетаев Я.Б., Еринов А.Е. Исследование косвенного направленного теплообмена в секционной печи // Процессы направленного теплообмена. — Киев : Наук. думка, 1979. — С. 145–150.
7. А. с. 947141 СССР, МКИ³ С 04 В 41/06. Состав для покрытия кладки печей / В.С.Пикашов, А.Е.Еринов, В.А.Великодний. — Оpubл. 30.07.82, Бюл. № 28.
8. Великодний В.А., Пикашов В.С. Исследование радиационных характеристик покрытия для чернения кладки печей // Пром. теплотехника. — 1985. — Т. 7, № 3. — С. 102–105.
9. Пикашов В.С., Еринов А.Е., Великодний В.А., Гориславец С.П., Тимошенко П.Н. Влияние степени черноты огнеупоров на эффективность излучения радиационных горелок // Химическая технология. — 1982. — № 1. — С. 32–35.
10. Пикашов В.С., Еринов А.Е., Великодний В.А. Влияние радиационных характеристик кладки и других параметров пламенного пространства на теплообмен в печах // Пром. теплотехника. — 1986. — Т. 8, № 2. — С. 104–109.
11. Богомоллов А.И., Вигдорчик Д.П., Маевский М.А. Газовые горелки инфракрасного излучения и их применение. — М. : Стройиздат, 1967. — 254 с.
12. Захариков Н.А. К вопросу о теплообмене в мартеновских печах // Труды Института черной металлургии. — 1953. — Т. 1. — С. 87–93.
13. Глинков М.А. Основы общей теории печей. — М. : Металлургиздат, 1962. — 575 с.
14. Кривандин В.А. Пути интенсификации теплообмена в металлургических печах // Теплообмен-6. — Минск : Ин-т теплообмена АН БССР, 1981. — Ч. 2. — С. 66–75.
15. Полежаев Ю.В., Юревич Ф.Б. Тепловая защита. — М. : Энергия, 1976. — 391 с.

Поступила в редакцию 28.01.14

Великодний В.О., канд. техн. наук, **Пикашов В.С.**, канд. техн. наук
 Інститут газу НАН України, Київ
 вул. Дегтярівська, 39, 03113 Київ, Україна, e-mail: Vel_vldr@lan.com.ua

Вплив радіаційних характеристик теплообмінних поверхонь на теплообмін

Наведено результати аналізу різних випадків теплообміну в печах та топках теплових агрегатів. Найбільш типові та прості з них подано у вигляді моделей теплообміну. Моделі розділено між собою у залежності від сторони підводу теплоти до поверхні, виду теплообміну зі сторони стінки, що випромінює, а також селективності випромінювання, коли падаюче та ефективне випромінювання поверхні вважається сірим, або коли їх селективність враховується. Показано, що у залежності від видів теплопереносу, їх характеру та співвідношення параметрів теплообміну залежність ефективного випромінювання поверхні від її ступеню чорноти має неоднозначний характер. *Бібл. 15, рис. 1, табл. 1.*

Ключові слова: печі, камери згорання, радіаційні характеристики, поверхня, що випромінює, ефективність складного теплообміну.

Velikodny V.A., Candidate of Technical Science,
Pikashov V.S., Candidate of Technical Science

The Gas Institute of National Academy of Science of Ukraine, Kiev
 39, Degtyarivska Str., 03113 Kiev, Ukraine, e-mail: Vel_vldr@lan.com.ua

The Effect of Surfaces Radiation Characteristics on Heat Transfer

The results of analysis of different types of heat transfer in commercial furnaces and fire chambers are represented. The most representative and simple ones are represented as a models of heat transfer. Models are separated by depending on the side of heat transfer to the surfaces, type of heat exchange with radiant wall as well as the selectivity of emission, when the incident and effective radiation of surface is considered as gray or it selectivity is not considered. It is shown, that depending on the types of heat transfer, its nature and relation of heat exchange parameters, the dependence of its surface effective radiation from degree of blackness is ambiguous. *Bibl. 15, Fig. 1, Table 1.*

Key words: furnaces, combustion chambers, radiation characteristics, emitting surface, efficiency of complex heat transfer.

References

1. Abramovich B.G., Holshtein, V.L. Intensification Radiative Heat Transfer using coatings. Moscow : Energiya, 1977, 256 p. (Rus).
2. Pikashov V.S., Erinov A.E., Petishkin C.A., Poletaev Ya.B. Comparative studies of radiation and convection heat transfer in different modes of combustion furnaces. *Promyshlennaja teplotekhnika*, 1979, 1 (1), pp. 79–84. (Rus).
3. Nevsky A.S. Influence the reflectivity of the masonry on the amount of radiative heat transfer. *Teplofizika vysokih temperatur*, 1973, 11 (5), pp. 1031–1036. (Rus).
4. Mastryukov B.S., Kuznetsov A.P., Shutov N.P. The influence of the lining on the radiation heat transfer in combustion furnaces. *Teorija i praktika szhiganiya gaza*, 1981, 7, pp. 138–146. (Rus).
5. Pikashov V.S., Erinov A.E., Velikodny V.A., Poletaev J.B. Intensification of heat transfer in combustion furnaces by increasing the emissivity of refractory. *Promyshlennaja teplotekhnika*, 1980, 2 (4), pp. 117–121. (Rus).
6. Pikashov V.S., Poletaev J.B., Erinov A.E. The study of indirect heat exchange in section furnace. In: Directional heat transfer processes. Kiev : Naukova dumka, 1979, pp. 145–150. (Rus).
7. Copyright certificate 947141 (USSR), MKI³ C 04 B 41/06. Composition for coating masonry ovens / V.S.Pikashov, A.E.Erinov, V.A.Velikodny. — Publ. 30.07.82, Bull. 28. (Rus).
8. Velikodny V.A., Pikashov V.S. Investigation of radiation characteristics of blackening coating for masonry stoves. *Promyshlennaja teplotekhnika*, 1985, 7 (3), pp. 102–105. (Rus).
9. Pikashov V.S., Erinov A.E., Velikodny V.A., Gorislavets S.P., Timoshchenko P.N. Influence of the degree of blackness of refractories on radiation of radiation burners. *Himicheskaja tehnologija*, 1982, (1), pp. 32–35. (Rus).
10. Pikashov V.S., Erinov A.E., Velikodny V.A. Effect of radiation characteristics of masonry and other parameters of the flame space on heat transfer in furnaces. *Promyshlennaja teplotekhnika*, 1986, 8 (2), pp. 104–109. (Rus).
11. Bogomolov A.I., Vigdorichik D.P., Majewski M.A. Gas burners infrared radiation and their application. Moscow : Stroyizdat, 1967, 254 p. (Rus).
12. Zakharikov N.A. The problem of heat transfer in open-hearth furnaces. *Trudy Instituta chernoj metallurgii*, 1953, 1, pp. 87–93. (Rus).
13. Glinkov M.A. Basics of general theory of furnaces, Moscow : Metallurgizdat, 1962, 575 p. (Rus).
14. Krivandin V.A. Ways of intensifying heat transfer in metallurgical furnaces. *Teplomassoobmen-6*. Minsk : Institut teplomassoobmena AN BSSR, 1981, Ch.2 pp. 66–75. (Rus).
15. Polezhaev U.V., Yurevich F.B. Thermal protection. Moscow : Energiya, 1976, 391 p. (Rus).

Received January 28, 2014