

## Повышение эффективности работы радиационного щелевого рекуператора

Соколов Б. А., канд. техн. наук, Абакин Д. А., бакалавр

НИУ “МЭИ”, Москва

Предложено использовать оребрение радиационного щелевого рекуператора со стороны воздуха для повышения эффективности его работы. Представлена математическая модель такого рекуператора, учитывающая влияние оребрения на коэффициент теплопередачи, неравномерность теплового потока по высоте рекуператора и переизлучение из печи. Показано, что оребрение рекуператора может значительно улучшить его характеристики.

**Ключевые слова:** щелевой радиационный рекуператор, оребрение, математическое моделирование, интенсификация теплоотдачи.

Высокотемпературные теплотехнологические установки зачастую характеризуются высокой температурой отходящих из реактора газов. Для повышения их энергетической эффективности теплоту отходящих газов можно регенерировать с топливом или окислителем, использовать для подогрева исходного материала либо с целью получения пара или горячей воды в установках внешнего теплоиспользования. Один из распространенных вариантов — применение радиационных стальных рекуператоров для регенерации теплоты отходящих газов воздухом, идущим на горение топлива.

Радиационные рекуператоры обладают следующими преимуществами: возможностью утилизации теплоты газов с высокой температурой, нециклическим режимом работы, газоплотностью, малым аэродинамическим сопротивлением, низкой загрязняемостью технологическим уносом. Вместе с тем они имеют ряд серьезных недостатков: громоздкость конструкции, большая металлоемкость, относительно низкие температуры подогрева воздуха (до 600 °С), малые коэффициенты те-

плоотдачи со стороны воздуха и, как следствие, высокие температуры стальной стенки, что вызывает необходимость применения дорогостоящих легированных сталей.

Для устранения этих недостатков предлагается выполнить оребрение внутренней поверхности обечайки щелевого рекуператора продольными прямоугольными ребрами (рис. 1). Это позволит интенсифицировать теплоотдачу с внутренней поверхности обечайки как благодаря увеличению площади поверхности теплообмена, так и за счет явления срыва пограничного слоя [1].

Рекуператор (рис. 2) представляет собой два вертикально установленных стальных концентрических цилиндра (1 и 2). Во внутреннем цилиндре 1 снизу вверх движутся горячие газы из печи. В кольцевом зазоре 3 между цилиндрами снизу вверх движется воздух. Для его подачи используется распределительный короб 4. С целью улучшения теплоотдачи со стороны воздуха к внутреннему цилиндру приварены прямоугольные ребра 5. Для защиты рекуператора от излучения подводящего газохода или печного пространства служит водоохлаждаемая горловина [2], выполненная из стальных труб 6 и коллекторов 7. Снаружи рекуператор покрыт слоем теплоизоляции 8, конструкция опирается на стальной каркас 9.

Для описания работы рекуператора составлена математическая модель, с помощью которой рассчитываем следующие процессы:

1. *Теплообмен излучением.* Выполняем зонный расчет с помощью разрешающих угловых коэффициентов излучения по методике, описанной в [3]. Все тела считаем серыми. Степень черноты газов вычисляем по формулам [4] в зависимости от температуры газов и доли трехатомных газов. При расчете раз-

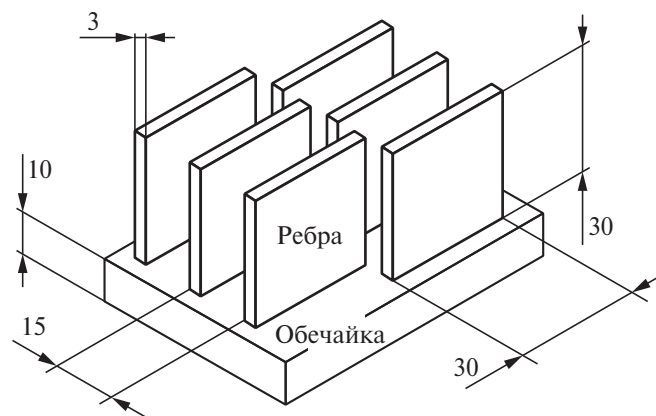


Рис. 1. Оребрение стальной стенки рекуператора

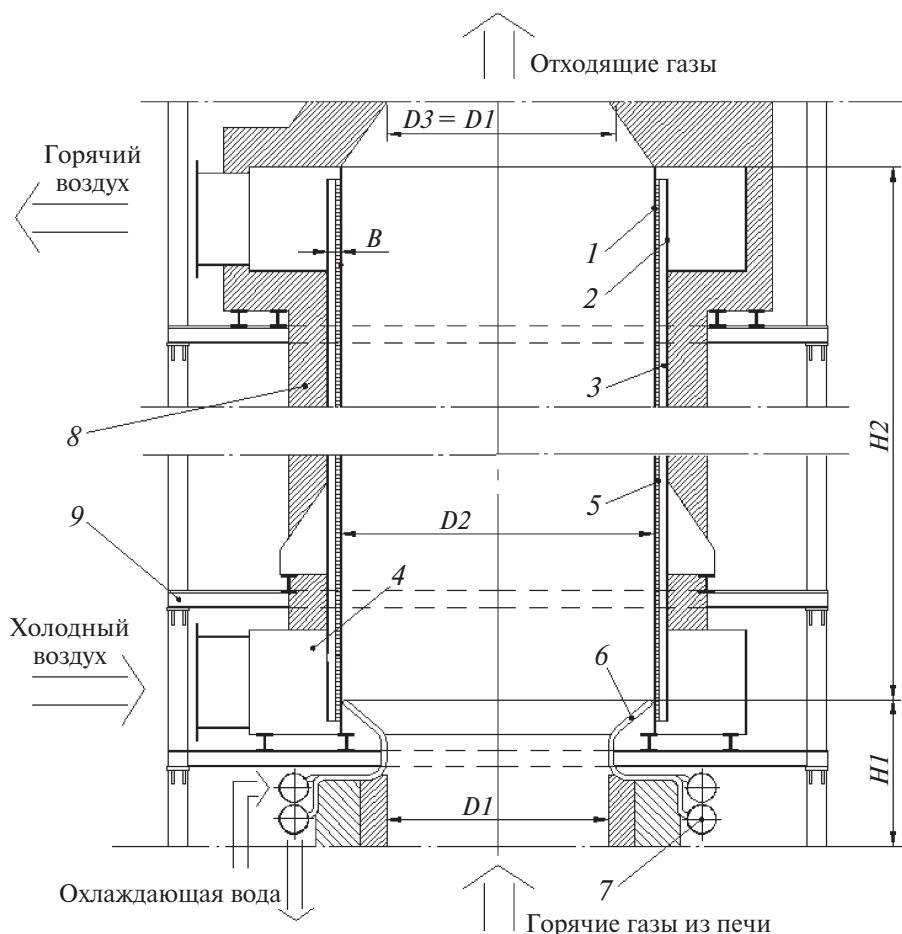


Рис. 2. Схема радиационного рекуператора

решающих угловых коэффициентов используем метод однократного отражения. Геометрические угловые коэффициенты рассчитываем аналитическим методом [5].

2. *Передача теплоты от оребренной поверхности внутреннего цилиндра к воздуху.* Расчет проводим по формулам [1].

3. *Потери теплоты в окружающую среду через изоляцию.* Рассматриваем одномерную задачу. Изоляция — диатомитовая, толщина — 0,2 м.

4. *Потери теплоты через охлаждаемую горловину.* Задаем температуру охлаждаемой поверхности.

Математическая модель реализована в виде программы на языке Visual Basic на основе методов контрольного объема и последовательных приближений. При заданных пользователем геометрических параметрах и входных температурах с помощью программы можно рассчитать поля температур, скоростей и др.

С использованием математической модели был разработан рекуператор для печи, потребляющей  $0,5 \text{ м}^3/\text{с}$  природного газа. Тем-

пература отходящих из печи газов равна  $1700^\circ\text{C}$ . Технологические газы отсутствуют. В результате расчетов получены:

1. *Параметры работы рекуператора:* температура газов на входе —  $1700$ , на выходе —  $1106^\circ\text{C}$ , начальная температура воздуха —  $15^\circ\text{C}$ , температура подогрева воздуха —  $835^\circ\text{C}$ , максимальная температура стальной стенки —  $947^\circ\text{C}$ , скорость воздуха (на входе и выходе) —  $14,7$  и  $41,7 \text{ м/с}$ , скорость газов (на выходе и входе) —  $10,7$  и  $18,9 \text{ м/с}$ , коэффициент теплоотдачи от плоской стенки к воздуху —  $34,4 \div 43$ , коэффициент теплоотдачи с поверхности ребер к воздуху —  $107 - 153 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ , от внутренней поверхности обечайки к воздуху (с учетом оребрения, отнесенный к  $1 \text{ м}^2$  неоребренной стенки) —  $314 \div 394 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ , высота обечайки  $H2 - 10 \text{ м}$ , горловины  $H1 - 0,5 \text{ м}$ , диаметр горловины  $D2 - 1,7 \text{ м}$ , обечайки  $D1 - 1,9 \text{ м}$ , ширина кольцевого зазора для прохода воздуха  $B - 0,09 \text{ м}$  (см. рис. 2).

2. *Тепловой баланс рекуператора, МВт (%):* приход — теплота газов на входе в рекуператор —  $15,29$  (89,2), переизлучение из печи —

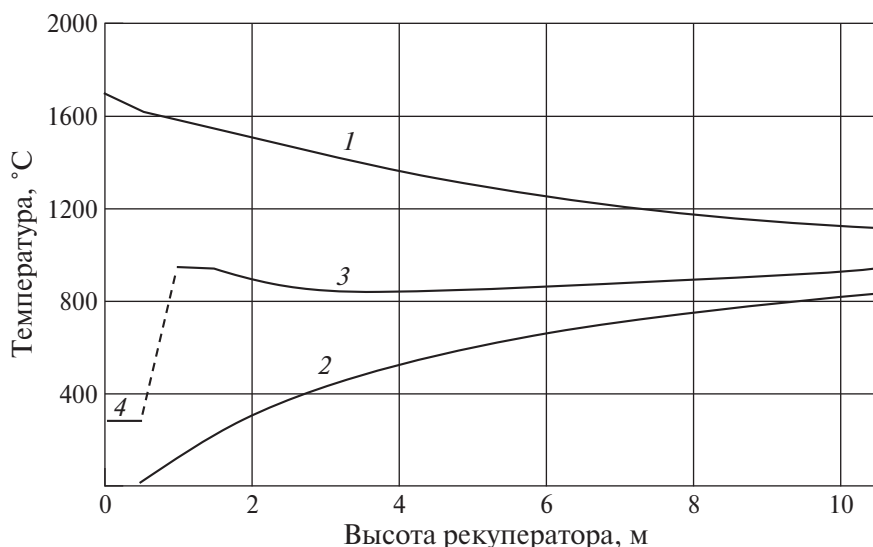


Рис. 3. Графики изменения температур отходящих газов (кривая 1), воздуха (кривая 2), внутренней обечайки (кривая 3) и охлаждаемой горловины (кривая 4) по высоте рекуператора

1,86 (10,8); расход — теплота отходящих из рекуператора газов — 10,01 (58,4), теплота, переданная воздуху, — 6,24 (36,4), потери теплоты с охлаждением нижней части рекуператора — 0,84 (4,9), потери теплоты через наружные ограждения рекуператора — 0,05 (0,3).

3. На рис. 3 показаны графики изменения температур. Результаты расчета свидетельствуют: оребрение стенки рекуператора позволяет на порядок увеличить коэффициент теплоотдачи со стороны воздуха и, следовательно, использовать теплоту газов с более высокой температурой, подогреть воздух до более высоких температур, снизить температуру стенки рекуператора и уменьшить его размеры. Все это подтверждает высокую эффективность оребрения стального радиационного щелевого рекуператора со стороны воздуха.

Разработанная программа расчета может быть использована при проектировании

стальных радиационных рекуператоров для различных промышленных печей.

#### Список литературы

1. Ефимов А. Л., Бережная О. К., Данилина А. В. Расчет и интенсификация теплообмена в промышленных теплообменниках: Учеб. пособие. — М.: Изд-во МЭИ, 2005.
2. Тебеньков Б. П. Рекуператоры для промышленных печей. — М.: Металлургия, 1975.
3. **Высокотемпературные** теплотехнологические процессы и установки: Учеб. для вузов / И. И. Перелетов, Л. А. Бровкин, Ю. И. Розенгарт и др. Под ред. А. Д. Ключникова. — М.: Энергоатомиздат, 1989.
4. **Тепловой** расчет котельных агрегатов (нормативный метод) / Под ред. Н. В. Кузнецова и др. — М.: Энергия, 1973.
5. Исаченко В. П., Осипова В. А., Сукомел А. С. Теплопередача: Учеб. для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоиздат, 1981.

AbakinD@yandex.ru

## Вниманию читателей!

Вы можете приобрести электронную версию журнала «Промышленная энергетика» (до 2014 г.).

Заявки следует присылать по адресу:

**115280, Москва, 3-й Автозаводский проезд, д. 4, корпус 1.  
Телефоны для справок: (495) 234-74-49, 234-74-18, 234-74-20.**