

**РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРУБЧАТОЙ ПЕЧИ****В.А. Ермолаева**, канд. хим. наук, доцент**К.Ю. Семочкина**, студент**Муромский институт Владимирского государственного университета имени А.Г. и Н.Г. Столетовых**  
(Россия, г. Муром)

DOI: 10.24411/2500-1000-2018-10101

***Аннотация.** Проведен расчет технологических характеристик трубчатой печи. Представлено описание устройства и физико-химические превращения в трубчатой печи. Произведен практический расчет процесса горения топлива, теплового баланса, коэффициента полезного действия и расчет камеры радиации, количества продуктов сгорания на 1 кг сжигаемого топлива, полная тепловая нагрузка. Рассчитана температура продуктов сгорания, покидающих топку. Рассмотрена техника безопасности при эксплуатации.*

***Ключевые слова:** трубчатая печь, тепловой баланс, камера радиации.*

Трубчатая печь считается аппаратом, специализированным с целью передачи нагреваемому продукту тепла, выделяющегося при сжигании горючего, непосредственно в данном аппарате. В первоначальный промежуток формирования нефтеперерабатывающей индустрии для нагрева сырья применялись кубы, но они обладали большим количеством значительных недочетов. Работа печи базируется на принципе однократного испарения, что обеспечивает наиболее полный отгон при данной конечной температуре нагрева материала либо заданный отгон при невысокой температуре нагрева. Они обладают высокой тепловой эффективностью [1]. Кроме этого, трубчатые печи - аппараты, имеющие высокую тепловую мощность, показатель полезного действия высок.

**Физико-химические превращения**

Наиболее часто в печах, применяемых в химических отраслях промышленности, проводятся реакции: разложения, обменного разложения, окислительно-восстановительные реакции [2]. Химические процессы сопровождаются плавлением (протекает при постоянной температуре, величина которой зависит от природы элемента и от внешнего давления), испарением (для однокомпонентных систем процесс протекает при постоянной температуре).

**Описание устройства**

Конструкция трубчатой печи позволяет нагревать различные технологические среды. Трубчатая печь включает радиантную камеру с горелками, конвективные камеры, трубные змеевики, воздухоподогреватели, газоходы и дымовую трубу. Змеевик радиантной камеры выполнен трехрядным с каждой стороны и оснащен навесными перегородками, расположенными между первым и вторым рядами труб от оси печи. Конвективные камеры смонтированы в общий блок с воздухоподогревателями, расположены симметрично с двух сторон радиантной камеры [3]. Это снижает размеры печи, уменьшает материалоемкость, упрощает монтаж, повышает коэффициент объемного экранирования, гарантирует более полное выжигание топлива и теплопередачу подогреваемой среде, увеличение коэффициента полезного действия печи (до 0,85) за счет утилизации высокопотенциального тепла радиантной камеры [3].

**Расчет технологических характеристик**

Произведен расчет процесса горения топлива в трубчатой печи по следующим исходным данным: массовая доля в топливе углерода, водорода, серы, кислорода, влаги: С - 75%, Н<sub>2</sub> - 11%, S - 2%, О<sub>2</sub> - 2%, W - 1 %, коэффициент избытка воздуха –

1,25; средняя массовая теплоемкость продуктов сгорания:  $c_{CO_2} = 0,8286$  кДж/кг·К,  $c_{H_2O} = 1,8632$  кДж/кг·К,  $c_{SO_2} = 0,6150$  кДж/кг·К.

Рассчитали низшую теплотворную способность топлива, которая составила 36739,17 кДж/кг. Для расчета воспользовались уравнением:

$$Q_p^H = (81 \cdot C + 246 \cdot H_2 + 26 \cdot (S - O_2) - 6 \cdot W) \cdot 4,1868,$$

где  $C$ ,  $H_2$ ,  $S$ ,  $O_2$ ,  $W$  – содержание в топливе углерода, водорода, серы, кислорода, влаги соответственно.

Рассчитанное теоретическое количество воздуха, необходимого для сгорания 1 кг топлива: 12,42 кг/кг, фактический расход воздуха 15,52 кг/кг.

Количество продуктов сгорания на 1 кг сжигаемого топлива – 16,525 кг/кг. Для этого расчета использовали формулу:

$$G = 1 + \alpha \cdot L_0 + W_{\phi}$$

где  $W_{\phi}$  – расход форсуночного пара;  $L_0$  – количество воздуха, необходимого для сгорания 1 кг топлива,  $\alpha$  – избыток воздуха (коэффициент).

Также определен объемный расход воздуха, для сгорания 1 кг топлива: 9,612 м<sup>3</sup>/кг. Произведен расчет теплосодержания продуктов сгорания на 1 кг топлива при заданных температурах.

Произвели расчет теплового баланса печи и коэффициента полезного действия. КПД печи (0,82) определили по следующей формуле:

$$\eta = q_{\text{пол}}/Q_p^H = 1 - q_{\text{ух}}/Q_p^H - q_{\text{пот}}/Q_p^H$$

где  $q_{\text{ух}}/Q_p^H$ ,  $q_{\text{пот}}/Q_p^H$  – соответственно потери тепла с уходящими дымовыми газами и потери тепла в окружающую среду в долях от низшей теплотворной способности топлива (принимая равными 5 %).

При расчете теплового баланса статьи расхода считаем тепло, пошедшее на нагрев сырья, тепло, теряемое с уходящими из печи дымовыми газами и теряемое при излучении в окружающую среду. Статьями прихода считаем теплоты топлива, воздуха, форсуночного водяного пара, теплоту, образующуюся при сжигании топлива, с учетом теплотворной способности топлива. Полная тепловая нагрузка печи:

$$Q_m = q_{\text{пол}}/\eta = 107,57 \cdot 10^6/0,82 = 131,183 \cdot 10^6 \text{ кДж/ч} = 36,44 \text{ МВт}$$

Была рассчитана температура продуктов сгорания, покидающих топку, ее значение  $T_n = 1572,64$  К, фактическая теплонапряженность поверхности радиантных труб при этом составила  $q_p = 25861,50$  ккал/м<sup>2</sup>·ч.

При расчете камеры радиации определяли температуру продуктов сгорания, покидающих топку, методом последовательного приближения, используя уравнение:

$$T_n = \frac{100}{\sqrt[4]{\frac{1}{\psi} \left[ \frac{1}{C_s} \cdot \frac{H_p}{H_s} \cdot (q_p - q_{\text{рк}}) + \left(\frac{\theta}{100}\right)^4 \right]}}$$

где  $q_p$  и  $q_{\text{рк}}$  – теплонапряженность поверхности радиантных труб (фактическая) и приходящаяся на долю свободной конвекции;  $H_p$  – поверхность нагрева радиантных труб;  $H_p/H_s$  – отношение поверхностей, зависящее от типа печи, от вида и способа сжигания топлива;  $q$  – средняя температура наружной стенки радиантных труб;  $\psi$  – коэффициент для топок со свободным факелом;  $C_s$  – коэффициент лучеиспускания абсолютно черного тела.

$$T_n = \frac{100 \cdot 411,2 \left[ 14,96 \cdot 3,05 \cdot 25861,50 - 2570,13 + (66 \cdot 6100)^4 \right]}{1572,64 \text{ К}}$$

Теплонапряженность (25861,50 ккал/м<sup>2</sup>·ч) находили по формуле:

$$q_p = (Q_{\text{пол}}/H_p) \cdot \mu$$

где  $\mu$  – коэффициент прямой отдачи;  $Q_{\text{пол}}$  – полезная тепловая нагрузка печи;  $H_p$  – поверхность нагрева радиантных труб.

Рассчитано количество тепла, переданное продукту в камере радиации:  $66,52 \cdot 10^6$  кДж/ч.

### Техника безопасности при эксплуатации

Печи должны быть оборудованы дежурными горелками с запальными приборами, персональной системой топливо-снабжения. Обязательно должны быть установлены автоматические запорные аппараты, срабатывающие в концепции блокировок. Перед запуском печи следует удостовериться в отсутствии каких-либо предметов в камере сгорания, дымоходах, проконтролировать плотность закрытия рабочих и контрольных вентилях, люки и

лазы закрыть. Система блокировок и сигнализации должна гарантировать выключение подачи горючего к дежурным и главным горелкам при отклонениях технологического режима. Подготовка к ремонту и осуществление ремонтных работ в печи считаются газоопасными и взрывоопасными работами. Работа в печи обязательно должна быть прервана, в случае если имеется угроза обрушения кладки или обнаружено наличие нефтепродуктов и газов.

#### Библиографический список

1. Ермолаева В. А., Семочкина К. Ю. Материальный и тепловой баланс производства аммиака из азотородной смеси // Наука без границ. – 2018. – № 4 (21). – С. 94-97.
2. Ермолаева В.А., Лаврова Е.В. Технологические параметры сушки криолита в барабанной сушильной печи, Современные научные исследования и разработки. – 2018. – №3 (20). – С. 336-339.
3. Описание устройства трубчатой печи [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://enciklopediya-tehniki.ru/tehnologiya-dobychi-gaza-i-nefti/trubchatye-pechi.html>

### CALCULATION OF THE TECHNOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE TUBULAR FURNACE

V.A. Ermolaeva, *candidate of chemical sciences, associate professor*

K.Y. Semochkina, *student*

Murom institute (branch) Vladimir state university named A.G. and N.G. Stoletovs  
(Russia, Murom)

**Abstract.** *The calculation of the technological characteristics of the tubular furnace. The description of the device and physical and chemical transformations in the tubular furnace is presented. The practical calculation of the combustion process of fuel, heat balance, efficiency and calculation of the radiation chamber, the number of combustion products per 1 kg of fuel burned, the total thermal load. The temperature of combustion products leaving the furnace is calculated. Considered safety in operation.*

**Keywords:** *tubular furnace, heat balance, radiation chamber.*