

жидкой капли при охлаждении. // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ. – 2016.- №6 (76). – С. 72-74.

2. Москаленко Н.И., Мисбахов Р.Ш., Ермаков А.М., Гуреев В.М. Моделирование процессов теплообмена и гидродинамики в кожухотрубном теплообменном аппарате. // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. - 2014. - № 11-12. - С. 75-80.

3. Misbakhov R.Sh., Moskalenko N.I., Gureev V.M., Ermakov A.M. Heat transfer intensifiers efficiency research by numerical methods. // Life Science Journal. - 2015. - Т. 12. № 1S. - С. 9-14.

4. Литвиненко Р.С., Павлов П.П., Гуреев В.М., Мисбахов Р.Ш. Оценка технического уровня сложных систем на этапе разработки. // Вестник машиностроения. 2015. № 6. С. 35-39.

5. Мисбахов Р.Ш., Мизонов В.Е. Ячеечная модель фазового перехода в сферической капле при охлаждении. // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2015. Т. 58. № 8. С. 71-74.

6. Лаптев А.Г., Мисбахов Р.Ш., Лаптева Е.А. Численное моделирование массопереноса в жидкой фазе барботажного слоя термического деаэратора. // Теплоэнергетика. 2015. № 12. С. 76.

7. Reshetnikov A.P., Ivshin I.V., Denisova N.V., Safin A.R., Misbakhov R.S., Kopylov A.M. Optimization of reciprocating linear generator parameters. // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Т. 10. № 12. С. 31403-31414.

8. Safin A.R., Ivshin I.V., Kopylov A.M., Misbakhov R.S., Tsvetkov A.N. Selection and justification of design parameters for reversible reciprocating electric machine. // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Т. 10. № 12. С. 31427-31440.

УДК 621.432.3

Кувишинов Н.Е.

инженер научно-исслед. лаборатории «ФХПЭ»

Казанский государственный энергетический университет

Россия, г. Казань

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНАЯ КРИОТЕМПЕРАТУРА

Аннотация: в статье рассматривается эффективная криотемпература в объемах энерготехнологических агрегатов.

Ключевые слова: Датчики давления, температуры, топочные пространства, генетические излучения.

Kuvshinov N.E., engineer laboratory "FHPE"

Kazan State Power Engineering University

Russia, Kazan

HIGH-EFFICIENCY CRYOTHYMER

Abstract: The paper considers the effective cryotemperature in the volumes of energy-technological aggregates.

Keywords: pressure sensors, temperature, combustion space, genetic radiation.

Во многих случаях непосредственное измерение температур в топочных объемах энерготехнологических агрегатов затруднено. В этой связи большое значение для инженерных расчетов лучистого теплообмена имеют аналитические зависимости, описывающие распределение температур в неизотермических объемах рабочих сред. При описании распределения температур неизотермических сред собственное излучение неоднородной среды заменяется гипотетическим излучением однородного изотермического объема. В топочных пространствах и газоходах вследствие сильной загрязненности поверхностей нагрева граничные поверхности являются отражающими и излучающими. Кроме этого, около поверхностей нагрева всегда имеется слой газа с более низкой по сравнению с центром объема температурой.

В качестве параметра при корректном описании температурного поля неизотермических объемов при расчетах лучистого теплообмена принята эффективная температура $T_{\text{эф}}$. При простейших инженерных расчетах в качестве эффективной температуры принимают среднеарифметическую $T_{\text{са}}$, среднегеометрическую $T_{\text{сг}}$ температуры:

$$T_{\text{са}} = (T_{\text{ст}} + T_{\text{ц}})/2, \quad T_{\text{сг}} = (T_{\text{ст}} \cdot T_{\text{ц}})^{0,5} \quad (1)$$

где $T_{\text{ст}}, T_{\text{ц}}$ – температуры стенки и центра поперечного сечения неизотермического объема газохода.

Более строгий учет селективности свойств газовой среды и не изотермичности при определении эффективной температуры может быть выполнен исходя из решения уравнения переноса монохроматического полусферического излучения в плоском слое неизотермической среды при наличии отражающих и излучающих граничных поверхностей. Удобным является использование понятия приведенной эффективной температуры $\theta_{\text{эф}}$, которое позволяет исключить из рассмотрения при анализе конкретных расчетов длину волны λ . В окончательном виде формула для эффективной приведенной температуры двухфазной среды, полученная К.С. Адзерихо, Е.Ф. Ноговым, В.П. Трофимовым [28], записывается в виде:

$$\theta_{\text{эф}} = \lambda T_{\text{эф}} = c_2 (\ln(1 + 1/A)) - 1, \quad (2)$$

$$\text{где } A = \frac{K}{(1 - \exp(-K\tau_0))} \int_0^{\tau_0} \exp(-K(\tau_0 - \tau)) / (\exp(c_2/\lambda T(\tau)) - 1);$$

$K = 2(1 - S_c)^{0,5}$; c_2 – вторая константа излучения Планка; τ_0, τ' – конечное и текущее значения монохроматической плотности (оптической плотности); S_c – критерий Шустера.

Конкретное распределение температур по поперечным сечениям газоходов для неизотермических объемов может быть описано в зависимости от оптической толщины τ одним из следующих выражений, заданных аналитически: $\theta_i(\tau) = \lambda T_i(\tau)$, $i=1, 2, \dots, 8$.

Первое из этих выражений характеризует собой распределение

температур в установившемся турбулентном потоке (профиль Шлихтинга) (рис. 1):

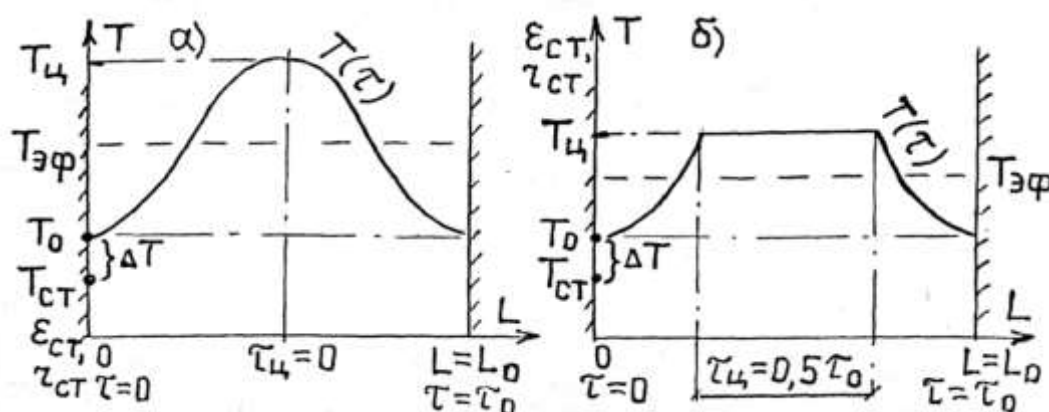


Рис. 1. Распределение температур по поперечным сечениям газопроводов: а – профиль Шлихтинга, б – профиль с центральным изотермическим ядром

$$\theta_1(\tau) = \theta_{ст} + (\theta_{ц} - \theta_{ст}) [1 - (1 - 2\tau/\tau_0)^{1,5}]^{1,6}. \quad (3)$$

Представленные схемы профилей и конкретных экспериментальных распределений температур по поперечным сечениям газопроводов, показывают, что для энерготехнологических агрегатов наиболее характерными являются профили с центральным изотермическим ядром при $T_{ц}/T_{ст} = 1,4-2,6$.

Расчеты с использованием формулы (1), что при $\tau_0 > 5$ с увеличением критерия Шустера Sc от 0 до 0,6 эффективная приведенная температура $\theta_{эф}$ возрастает в среднем на 11 %. При $\tau_0 > 5$ влияние критерия Шустера Sc на $\theta_{эф}$ становится меньше. С ростом полки изотермического ядра $\tau_{ц}$ от 0 до $0,5\tau_0$ при $\tau \geq 5$, $Sc=0$, $\theta_{эф}$ уменьшается на 22%. При дальнейшем увеличении $\tau_{ц}$ уменьшение $\theta_{эф}$ замедляется. Увеличение отношения $\theta_{эф}/\theta_{ст}$ от 1,4 до 2,6 приводит к росту $\theta_{эф}$ в среднем на 5 % при температуре центра $\theta_{ц} = 3 \cdot 10^3$ м·К, где $\theta_{ст}$ – приведенная температура стенки. Для удобства анализа можно представить среднеарифметическую $T_{са}$ и среднегеометрическую $T_{сг}$ температуры в виде условных приведенных температур: $\theta_{са} = \lambda T_{са}$, $\theta_{сг} = \lambda T_{сг}$. Сравнение $\theta_{эф} = \lambda T_{эф}$, с $\theta_{са} = \lambda T_{са}$ и $\theta_{сг} = \lambda T_{сг}$ показывает, что при небольших оптических толщинах τ_0 до 5 и $\theta_{ц}/\theta_{ст}$ в области $3 \cdot 10^{-3}$ м·К величины $T_{са}$ и $T_{сг}$ занижены в среднем на 25 %.

Для оптических толщин $\tau_0 = 15-20$, $Sc=0$, $\tau_{ц}=0$ и $\theta_{ц}/\theta_{ст} > 2$ значения $T_{са}$, $T_{сг}$ являются завышенными на 15–35%. Наименьшие расхождения (в среднем 10%) между $T_{эф}$ и $T_{са}$, $T_{сг}$ в зависимости от размеров центрального ядра наблюдаются в области $\tau_0=5$ при $\tau_{ц}=0$. В области больших оптических толщин $\tau_0=15-20$ и $\theta_{ц}/\theta_{ст}=1,5-2$ значения $T_{са}$ и $T_{сг}$, в зависимости от размеров центрального ядра $\tau_{ц}$, могут быть больше или меньше $T_{эф}$ на 20–45%.

Размер центрального ядра $\tau_{ц}$ наиболее сильно влияет на $\theta_{эф}/\theta_{ц}$ при оптических толщинах около $\tau_0=15$. Как и следовало ожидать, увеличение

$\theta_{ц}/\theta_{ст}$ вызывает снижение $\theta_{эф}$. Сопоставление результатов расчета $T_{эф}$ для конкретных энерготехнологических агрегатов с расчетными данными других авторов для энергетических котлов показывает их хорошее согласование.

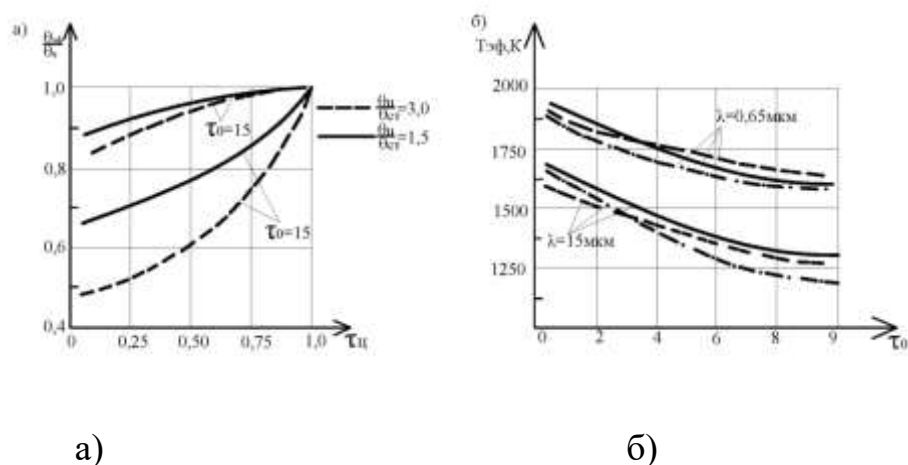


Рис. 2.: а – зависимость $\theta_{эф}/\theta_{ц}$ от центрального ядра $\tau_{ц}$ при $\theta_{ц}=3 \cdot 10^{-3}$ м·К для различных τ_0 и $\theta_{ц}/\theta_{ст}$; б – сопоставление $T_{эф}$ при $T_{ц}=3 \cdot 10^{-3}$ м·К и $T_{ц} = 3 \cdot 10^{-3}$ м·К для $T_{ц}/T_{ст}=2$ с результатами, полученными другими авторами

Использованные источники:

1. Мисбахов Р.Ш., Мизонов В.Е. Моделирование теплопроводности в составной области с фазовыми переходами. // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. 2015. № 4. С. 39-43.
2. Шуина Е.А., Мизонов В.Е., Мисбахов Р.Ш. Влияние поперечной неоднородности потока газа на кривую разделения гравитационного классификатора. // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. 2015. № 5. С. 60-63.
3. Safin A.R., Ivshin I.V., Kopylov A.M., Misbakhov R.S., Tsvetkov A.N. Selection and justification of design parameters for reversible reciprocating electric machine. // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. T. 10. № 12. С. 31427-31440.
4. Kopylov A.M., Ivshin I.V., Safin A.R., Misbakhov R.S., Gibadullin R.R. Assessment, calculation and choice of design data for reversible reciprocating electric machine. // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. T. 10. № 12. С. 31449-31462.
5. Москаленко Н.И., Мисбахов Р.Ш., Ермаков А.М., Гуреев В.М. Моделирование процессов теплообмена и гидродинамики в кожухотрубном теплообменном аппарате. // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2014. № 11-12. С. 75-80.