Силина Анастасия Викторовна
магистрант
Кушкумбаева Айман Сарсенгалиевна
магистрант
Бачурина Ольга Владимировна
магистрант
ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»
г. Магнитогорск, Челябинская область

РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТОВ ТЕПЛООТДАЧИ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ БАРЬЕРНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОЗОНАТОРА

***Аннотация**: авторы представленной статьи отмечают, что процесс озонобразования в барьерном электрическом озонаторе (БЭО) сопровождается выделением большого количества тепла. Это тепло отводится из разрядного промежутка потоком нагретого газа и охлаждающей жидкостью теплоотдачей через металлический электрод. Данная работа посвящена вычислению коэффициентов теплоотдачи – важной части моделирования тепловых процессов в БЭО.*

***Ключевые слова**: теплоотдача, коэффициент теплоотдачи, подобие тепловых потоков, закон Ньютона-Рихмана, число Нуссельта, число Рейнольдса, число Прандтля, моделирование тепловых процессов, барьерный электрический озонатор.*

Ранее в работах [2, с. 72, 88; 4 с. 11, 12] была построена математическая модель распределения тепла в элементах барьерного озонатора с турбулентным режимом течения газа. Данная модель представляет совокупность шести дифференциальных уравнений второго порядка в частных производных с большим количеством граничных условий. Такая модель не имеет аналитического *решения, поэтому последующие исследования были посвящены построению конечно-разностных схем для решения полученной системы дифференциальных уравнений.*

Однако, некоторую сложность в расчете поля температуры вызывает нахождение коэффициентов теплоотдачи α_X, $\alpha_{ГМ}$, $\alpha_{ГБ}$. В общем виде коэффициент теплоотдачи для пластинчатого озонатора можно найти по формуле:

$$\alpha = \frac{\lambda Nu}{l}, \tag{1}$$

где λ – коэффициент теплопередачи, l – длина электродов, Nu – число Нуссельта.

Число Нуссельта при ламинарном течении газа в пристеночном слое, согласно [5, с. 83], можно взять в виде:

$$Nu = 0{,}33\left(\frac{y}{l}\right)^{-0{,}5} Re_{Г}^{0{,}5} Pr_{Г}^{0{,}33}\left(\frac{Pr_{Г}}{Pr_{СТ}}\right)^{0{,}25}, \tag{2}$$

здесь $Re_{Г}$ – число Рейнольдса для газа, $Pr_{Г}$ и $Pr_{СТ}$ – числа Прандтля для газа и для стенки (электрод или барьер), соответственно. Числа Рейнольдса и Прандтля являются критериями подобия тепловых процессов.

Для системы охлаждения поток жидкости должен быть организован настолько сильно, чтобы режим течения был турбулентным даже на максимально близком к стенке расстоянии, тогда эффективность теплоотвода увеличивается. Поэтому для границы металл-охлаждающая жидкость число Нуссельта для турбулентного режима [5, с. 84] течения жидкости можно взять виде:

$$Nu = 0{,}03\left(\frac{y}{l}\right)^{-0{,}2} Re_{Ж}^{0{,}8} Pr_{Ж}^{0{,}43}\left(\frac{Pr_{Ж}}{Pr_{СТ}}\right)^{0{,}25}, \tag{3}$$

аналогично, $Re_{Ж}$ – число Рейнольдса для жидкости, $Pr_{Ж}$ – число Прандтля для жидкости.

Отрицательная степень при (y/l) показывает, что при движении вдоль пластины коэффициент теплоотдачи уменьшается. Отношение $(Pr_{Г}/Pr_{СТ})^{0,25}$ учитывает изменение свойств теплоносителя (газа или жидкости) по толщине пограничного слоя.

Число Рейнольдса для жидкости и газа практически не зависит от температуры и может быть найдено по формуле:

$$Re = \frac{V\Delta}{\vartheta}\ , \tag{4}$$

где V – скорость жидкости (газа), ν – кинематическая вязкость.

Согласно [3, с.75], зависимость числа Прандтля от температуры (T,°С) можно аппроксимировать следующим образом:

$$Pr(T) = 1{,}74 + 0{,}118(100\text{-}T). \tag{5}$$

Для простоты решения, число Прандтля для охлаждающей жидкости можно считать постоянной, так как температура потока воды практически не меняется. Тогда его можно найти по формуле:

$$Pr_{\text{Ж}} = \frac{\vartheta_{\text{Ж}}\rho_{\text{Ж}}c_{\text{РЖ}}}{\lambda_{\text{Ж}}} \tag{6}$$

Таким образом, граничные условия на линиях L1 (граница металл – охлаждающая жидкость), L2 (газ – металл), L5 (газ – барьер) принимают вид:

$$\begin{aligned}
&L1: \quad \lambda_{\text{М}}\frac{T_{i,2}\text{-}T_{i,1}}{h_x} = 0{,}03\frac{\lambda_{\text{Ж}}}{l}\left(\frac{y}{l}\right)^{\text{-}0{,}2}\frac{Re_{\text{Ж}}^{0{,}8}Pr_{\text{Ж}}^{0.68}}{\left(1{,}74+0{,}118\left(100\text{-}T_{i,1}\right)\right)^{0{,}25}}\left(T_{i,1}\text{-}T_{\text{Ж}}\right);\\
&L2: \quad \frac{\lambda_{\Gamma}}{1}0{,}33\left(\frac{y}{l}\right)^{\text{-}0{,}5} Re_{\Gamma}^{0{,}5}\left(1{,}74 + 0{,}118(100\text{-}T_{i.M+N+1})\right)^{0{,}58} \times\\
&\quad \times\left(1{,}74 + 0{,}118(100\text{-}T_{i.M+N})\right)^{\text{-}0{,}25}\left(T_{i,M+N+1}\text{-}T_{i,M+N}\right) =\\
&\quad = \lambda_M\frac{T_{i,M+N}\text{-}T_{i,M+N\text{-}1}}{h_x} + q_{\text{ГМ}}^*;\\
&L5: \quad \frac{\lambda_{\Gamma}}{1}0{,}33\left(\frac{y}{l}\right)^{\text{-}0{,}5} Re_{\Gamma}^{0{,}5}\left(1{,}74 + 0{,}118(100\text{-}T_{i.M+N+K+P\text{-}1})\right)^{0{,}58} \times\\
&\quad \times\left(1{,}74 + 0{,}118(100\text{-}T_{i.M+N+K+P})\right)^{\text{-}0{,}25}\left(T_{i,M+N+K+P}\text{-}T_{i,M+N+K+P\text{-}1}\right) =\\
&\quad = \lambda_{\text{Б}}\frac{T_{i,M+N+K+P+1}\text{-}T_{i,M+N+K+P}}{h_x} + q_{\text{ГБ}}^*;
\end{aligned} \tag{7}$$

$(2 \leq i \leq S\text{-}1)$

Аналитически выразить $T_{i,1}$ довольно трудно, поэтому решать это трансцендентное уравнение необходимо численно, например, методом деления отрезка пополам [1, с. 190].

Список литературы

1. Волков Е.А. Численные методы: Учеб. пособие для вузов / Е.А. Волков. – СПб: Лань, 2008. – 248 с.

2. Кузнецов В.А. Математическое моделирование процессов в барьерном электрическом озонаторе: Теория и практика / В.А. Кузнецов. – М. – Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2004. – 193 с.

3. Михеев М.А. Основы теплопередачи / М.А. Михеев, И.М. Михеева. – М.: Энергия, 1973. – 319 с.

4. Силина А.В. Совершенствование математической модели тепловых процессов в барьерном электрическом озонаторе с турбулентным режимом течения газа / А.В. Силина, И.А. Лызлова // Наука в глобальном мире: Сборник материалов Междунар. очно-заочн. студ. науч.-исслед. конф. / Науч. Рук. В.С. Севастьянова; ред.-сост. А.В. Бутова, А.И. Дубских. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2015. – С. 10–13.

5. Теплотехника / Под ред. А.П. Баскакова. – М.: Атомиздат, 1991. – 224 с.