7. Трухний А.Д., Романюк А.А. Расчет тепловых схем утилизационных парогазовых установок: учеб. пособие М.: Издательский дом МЭИ, 2006. 40 с.

Научный руководитель: А.А. Кудинов, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Тепловые электрические станции», Самарский государственный технический университет».

ОЦЕНКА НЕСТАЦИОНАРНОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА В ПОЛОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩЕЙ СБОРКЕ ПРИ НЕСИММЕТРИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ОХЛАЖДЕНИЯ

О.С. Симонова
Томский политехнический университет
ИНК, лаборатория № 51

Пуск, аварийная остановка энергетического оборудования (трубопроводы тепловых сетей, нефтегазопроводы, ядерные реакторы, ускорители заряженных частиц и т.д.) при эксплуатации происходит при нестационарных условиях.

В [1] операционным методом Лапласа решены задачи теплопроводности для начальной стадии теплового процесса (Fo>0,01), представленные в виде сумм рядов из специальных функций ошибок Гаусса. Такие решения сложны для практического анализа для не специалистов. Поэтому в [2] показан приближенный метод оценки на начальной стадии развития теплового состояния в тепловыделяющих элементах классической формы (пластина, цилиндр, шар).

Проведем оценку нестационарного температурного режима полой цилиндрической сборки при несимметричных условиях охлаждения в широком диапазоне чисел Фурье.

Система уравнений, описывающая процесс теплопроводности в такой сборке имеет вид

$$\frac{\partial\theta}{\partial Fo}=\frac{1}{R}\frac{\partial}{\partial R}\left(R\cdot\frac{\partial\theta}{\partial R}\right)+Po(R,Fo),\quad Fo>0,\ 1<R<R_0; \tag{1}$$

$$\theta(R,0)=-1; \tag{2}$$

$$\frac{\partial\theta(1,Fo)}{\partial R}-Bi_1\cdot\theta(1,Fo)=0; \tag{3}$$

$$\frac{\partial\theta(R_0,Fo)}{\partial R}+Bi_2\cdot(\theta(R_0,Fo)+\theta_{ж})=0. \tag{4}$$

Здесь $\theta(R,Fo)=\dfrac{T(r,\tau)-T_{;ж1}}{T_{ж1}-T_0}$ - безразмерная температура; $Po(R,Fo)=\dfrac{q_v(r,\tau)\cdot r_2^2}{\lambda\cdot(T_{ж1^1}-T_0)}$ – безразмерная функция Померанцева; $\theta_{ж}=\dfrac{T_{ж1}-T_{ж2}}{T_{ж1}-T_0}$; $Bi_1=\dfrac{\alpha_{эфф1}\cdot r_2}{\lambda}$, $Bi_2=\dfrac{\alpha_{эфф2}\cdot r_2}{\lambda}$ - числа Био; $R=\dfrac{r}{r_2}$, $R_0=\dfrac{r_3}{r_2}$ - безразмерные радиусы; $Fo=\dfrac{a\tau}{r_2^2}$ - число Фурье.

Стационарный температурный режим $(\dfrac{\partial\theta}{\partial Fo}=0)$**.**

Общее решение дифференциального уравнения (1) имеет вид
$\theta_{стац}(R)=\varphi(R)+A_1\ln(R)+A_2$,

где A_1, A_2 – постоянные интегрирования;

$$\psi(R)=-\int Po(R)RdR. \tag{5}$$

После нахождения из граничных условий (3) , (4) и подстановки в общее решение запишем окончательное решение задачи (1), (3), (4):

$$\theta_{стац}(R)=\varphi(R)-\varphi(R_0)+A_1[\ln(R/R_0)-\frac{1}{Bi_2R_0}]-\frac{\psi(R_0)}{Bi_2R_0}-\theta_{ж}, \tag{6}$$

здесь

$$A_1=-\frac{[\theta_{ж}+\varphi(R_0)-\varphi(1)+\dfrac{\psi(1)}{Bi_1}+\dfrac{\psi(R_0)}{Bi_2R_0}]}{\ln(R_0)+1/Bi_1+1/(Bi_2R_0)}.$$

Решение (6) строго удовлетворяет всем условиям задачи (1), (3), (4).

Нестационарный режим.

Решение задачи (1) будем искать в виде $\theta(R,Fo)=\theta_{стац}-\phi(R,Fo)$, где функция $\phi(R,Fo)$ подчиняется условиям:

$$\frac{\partial\phi(R,Fo)}{\partial Fo}=\frac{1}{R}\frac{\partial}{\partial R}(R\frac{\partial\phi}{\partial R}),\quad Fo>0,\quad 1<R<R_0;$$

$$\phi(R,Fo=0)=1+\theta_{стац}(R),\quad \frac{\partial\phi(1,Fo)}{\partial R}-Bi_1\phi(1,Fo)=0,$$

$$\frac{\partial\phi(R_0,Fo)}{\partial R}+Bi_2\phi(R_0,Fo)=0. \tag{7}$$

Задачу (7) решим приближенным методом конечных интегральных преобразований. С физической точки зрения считаем, что ядро конечного интегрального преобразования – решение стационарной задачи теплопроводности для полого цилиндрического твэла с тепловыделением равным единице. Тогда его выбор подчиняется следующим условиям:

$$\begin{cases} \frac{1}{R}\frac{d}{dR}(R\frac{dK}{dR}) = -1, \\ \frac{dK(1)}{dR} - Bi_1 K(1) = 0, \\ \frac{dK(R_0)}{dR} + Bi_2 K(R_0) = 0. \end{cases} \tag{8}$$

Решение задачи (8) запишем так

$$K(R) = \frac{1}{2}\cdot\{\frac{1}{2}\cdot(R_0^2 - R^2) + R_0 / Bi_2 + 2\cdot A_{11}\cdot[\ln(R/R_0) - 1/(Bi_2 R_0)]\}$$

- приближенное ядро конечного интегрального преобразования;

$$A_{11} = \frac{1}{2\cdot m_0}\cdot[(R_0^2 - 1)\cdot\frac{1}{2} + 1/Bi_1 + R_0/Bi_2], \quad m_0 = \ln(R_0) + 1/Bi_1 + 1/(Bi_2\cdot R_0).$$

Далее следуя [1,3,4] получим окончательное решение задачи (1)-(4):

$$\theta(R, Fo) = \theta_{стац}(R) - \phi(R, Fo). \tag{9}$$

$$\overline{T(Fo)} = \overline{T_H}\cdot\exp(-p^2\cdot Fo) + \exp(-p^2\cdot Fo)\times$$

$$\times\int_0^{Fo}\exp(p^2 Fo')\cdot dFo'\int_1^{R_0} Po(R, Fo)K(R)RdR$$

где ,

n(R) - корректирующая функция, зависящая от радиуса.

$$\overline{T_H} = -\int_1^{R_{00}} K(R)RdR$$

$$\int_1^{R_0} K(R)RdR = \frac{1}{4}\cdot[(2 + Bi_2\cdot R_0)\cdot R_0^2\cdot K(R_0) + (Bi_1 - 2)\cdot K(1) - \frac{1}{4}\cdot(R_0^4 - 1)];$$

$$T_H = (R_0 - 1)\cdot\left[\frac{-Po_0}{2}\left[R_0^3\cdot\left(\frac{1}{3} + \frac{R_0^2}{10}\cdot B\right) - \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{10}\cdot B\right)\right]\right] + A_1\left[R_0\cdot\left(\ln(R_0) - 1\right)\right] -$$

$$-\left[\varphi r_0 + A_1\cdot\left(\ln(R_0) + \frac{1}{Bi_2\cdot R_0}\right) + \frac{\psi r_0}{Bi_2\cdot R_0} + \Theta_{ж}\right]\Bigg].$$

Выводы:

1. При стационарном тепловом режиме и максимальном перепаде тепловыделения по радиусу в 3 раза изменение температуры не превышает 3,3 % по сравнению с температурами постоянного тепловыделения.
2. Введение корректирующей функции, зависящей от радиуса полого цилиндра, позволяет удовлетворить начальному условию задачи и получить ее приближенное решение.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Лыков А.В. Теория теплопроводности. – М.: Высшая школа, 1967. – 600 с.
2. Логинов В.С., Симонова О.С., Симонов Д.А. Приближенная оценка теплового состояния активных элементов при малых числах Фурье (Fo<0,01)// Известия РАН. Энергетика. -2014.- № 1.- С.112 – 117 .
3. Касьянов В.А., Логинов В.С., Симонов Д.А. Нестационарный температурный режим полого цилиндрического тепловыделяющего элемента// Известия вузов. Электромеханика. -2013.-№ 5.- С.14-17.
4. Карташов Э.М. Метод интегральных преобразований в аналитической теории теплопроводности твердых тел// Известия РАН. Энергетика.- 1993. -№2. -С.99 – 127.

Научный руководитель: В.С. Логинов, д.ф.-м.н, профессор кафедры ТПТ ЭНИН ТПУ.