

ПРОГРАММА РАСЧЕТА НЕСТАЦИОНАРНЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ В ЭЛЕКТРОМАГНИТЕ УСКОРИТЕЛЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

Ю.Б. Антонов, В.С. Логинов

Разработана программа расчета нестационарных температур электротехнического устройства с произвольным числом охлаждающих каналов.

В [1] сформулирована задача о сложном теплообмене в электромагните (Э), состоящем из произвольного числа активных цилиндрических элементов и охлаждающих каналов. В качестве инструмента исследований была рассмотрена модель, в основу которой положены нестационарные уравнения энергий с известными теплофизическими свойствами материалов. Хладоагент является однофазной средой с постоянными теплофизическими свойствами. Течение среды в охлаждающих каналах – стержневое. Внутренние источники теплоты в каждом активном элементе известны и являются функциями, зависящими от координат и времени. На первой стадии расчета они не зависят от температуры. Начальные условия описывают распределение температур в начальный момент времени. При этом функции распределения температур являются непрерывными и дважды дифференцируемыми функциями по координатам. На границах раздела структур, составляющих систему тел, задаются граничные условия четвертого рода.

Система уравнений, описывающая тепловое состояние электромагнита в безразмерной форме имеет вид:

в активных и неактивных элементах

$$\frac{\partial \theta_k}{\partial Fo} = \frac{1}{Pe_k} \cdot \left(\frac{\partial^2 \theta_k}{\partial R^2} + \frac{1}{R} \cdot \frac{\partial \theta_k}{\partial R} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial Z^2} + Po_k(R, Z, Fo) \right), k=1,2,3, \quad (1)$$

для охлаждающих каналов

$$\frac{\partial \theta_k}{\partial Fo} + \frac{\partial \theta_k}{\partial Z} = \frac{1}{Pe_k} \cdot \left(\frac{\partial^2 \theta_k}{\partial R^2} + \frac{1}{R} \cdot \frac{\partial \theta_k}{\partial R} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial Z^2} \right), k=4, \quad (2)$$

Начальные условия:

$$\theta_k \Big|_{Fo=0} = \phi(R, Z). \quad (3)$$

Граничные условия:

$$\begin{aligned} \theta_k \Big|_{Z=0} = 1, \quad \frac{\partial \theta_k}{\partial Z} \Big|_{R=0} = 0, \\ \frac{\partial \theta_1}{\partial R} \Big|_{R_n=r_n/L} = 0, \dots, \theta_i \Big|_{\Gamma} = \theta_j \Big|_{\Gamma}, \quad (4) \\ \lambda^* \cdot \frac{\partial \theta_i}{\partial R} \Big|_{\Gamma} = \frac{\partial \theta_j}{\partial R} \Big|_{\Gamma}, i, j = \overline{1,4}. \end{aligned}$$

Поставленная задача решалась численно неявным методом чередующихся направлений [2] с учетом [3].

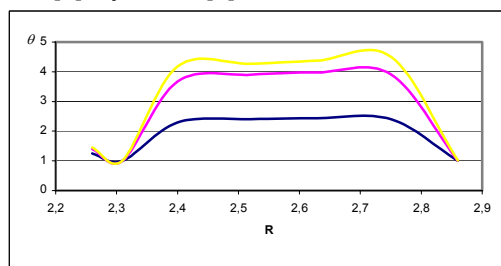


Рис. Изменение безразмерной температуры по радиусу электромагнита в системе охлаждающий канал – катушка в зоне максимального тепловыделения: 1- Z=0,2, 2-Z=0,6, 3 - Z=1

На основе предложенного численно-аналитического метода расчета [3], тестирования известных аналитических решений была разработана программа расчета нестационарных температурных полей в Э малогабаритного ускорителя заряженных частиц. Она позволяет: 1) на ранней стадии разработки Э провести моделирование с выявлением областей максимальных температур в конкретных активных элементах; 2) среди множества режимов работы Э выбрать конкретный температурный режим с точки зрения минимальных энергозатрат; 3) оптимизировать массогабаритные размеры Э при заданном повторно-кратковременном режиме его работы.

При этом от пользователя такой программы не требуется навыков в составлении программ расчета для ЭВМ. Важно только

правильно ввести в программу исходные данные.

В качестве примера был рассмотрен Э малогабаритного бетатрона.

Начальные данные:

1. Число охлаждающих каналов $N=3$.
2. Эффективные радиусы: $r_1=0,085$, $r_2=0,09$, $r_3=0,096$, $r_4=0,103$, $r_5=0,109$, $r_6=0,124$, $r_7=0,129$, $r_8=0,144$, $r_9=0,184$, $L=0,043$ м.
3. Скорость охлаждающей среды $\omega_0=10$ м/с.
4. Температура окружающей среды – $T_{cp}=T_{вх}=308,6$ К.
5. Числа Пекле для охлаждающих каналов $Pe_1=2547,8$, $Pe_2=6369,4$, $Pe_3=2123,1$.
6. Характеристики источников тепловыделения, коэффициентов теплопроводности.

Материал	q_v , Вт/м ³	λ , Вт/(м.К)
Сердечник	113000	5,4
Катушка №1	272000	0,9
Катушки №2	318000	"
Катушки № 3	300000	0,9
Стойка	76000	5,4
Канал охлаждения	0	0,027
Прокладка	0	0,027

Размерности всех величин даны в системе СИ. В результате расчета найдены координаты $R^*=2,75$ и $Z^*=1$ максимальной температуры в электромагните через $\tau=1638$ с, $\theta=4,504$ ($t^*=69,7$ °C).

$\theta_k = (T_k - T_0)/(T_{ex} - T_0)$ - безразмерная температура; $R=r/L$, $Z=z/L$ - безразмерные координаты; $Po_k(R,Z, Fo) = q_v L^2 / (\lambda_k \cdot T_m)$ - функциональная зависимость числа Померанцева; $Fo = \tau \omega_0 / L$ - безразмерное время; $Pe_k = w_0 \cdot L / a_k$ - число Пекле; L - длина охлаждающего канала; w_0 - постоянная охлаждающего канала; $T_m = T_{вх} - T_0$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антонов Ю.Б., Логинов В.С. Модель расчета нестационарного температурного поля в электромагните// Известия вузов. Электромеханика, 1991. № 1.- С.97- 101.
2. Роч П. Вычислительная гидродинамика.- М.: Мир, 1980. -617 с.
3. Антонов Ю.Б. Численно – аналитический метод расчета стационарного температурного поля электромагнита с принудительным охлаждением// Известия вузов. Электромеханика, 1992. № 2.- С.33- 37.