

УДК 621.731.3.322-81:621.314.21.3.042, 681.142

О ВОЗМОЖНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ИСТОЧНИКОВ ТЕПЛА И ТЕМПЕРАТУРЫ ВНУТРИ ПОЛОГО ЦИЛИНДРА ПО ДАННЫМ НА ПОВЕРХНОСТИ

В.Е. Юхнов

Томский политехнический университет

E-mail : juslavse@mail2000.ru

Установлена связь между внутренними источниками тепла и избыточной температурой в полом цилиндрическом элементе конечных размеров.

Известно, что надежность активных элементов электромагнитных установок зависит от их теплового режима работы [1, 2]. Последний может зависеть от ряда факторов: теплофизических свойств материалов, условий охлаждения, тепловыделения и конструктивных особенностей активных частей, многие из которых имеют форму почти полых цилиндров конечных размеров. Например, катушки силовых трансформаторов, обмотки элементов ускорительной техники. Надежность необходимо обеспечить не только в стационарном режиме работы, но и в переходный период. Получение оперативных данных о температуре и тепловыделении внутри активного элемента в начальный период времени нагрева представляет практический интерес. Цель работы состояла в определении распределения внутренних источников теплоты и температуры внутри тела цилиндрической формы в заданный момент времени.

В работе проведен расчет температуры внутри полого цилиндра на основе решения нестационарной двумерной задачи теплопроводности с внутренними источниками тепла.

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{\partial \theta}{\partial Fo} &= \frac{\partial^2 \theta}{\partial X^2} + \frac{1}{R} \frac{\partial \theta}{\partial R} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial R^2} + Po(X, R), \\ Fo > 0, R_1 < R < R_2, \\ 0 < X < 1, \\ \theta(X, R, 0) &= 0, \\ \left. \frac{\partial \theta}{\partial X} \right|_{X=1} &= -Bi_1 \theta(1, R, Fo), \\ \left. \frac{\partial \theta}{\partial X} \right|_{X=0} &= Bi_2 \theta(0, R, Fo), \\ \left. \frac{\partial \theta}{\partial R} \right|_{R=R_2} &= -Bi_3 \theta(X, R_2, Fo), \\ \left. \frac{\partial \theta}{\partial R} \right|_{R=R_1} &= Bi_4 \theta(X, R_1, Fo), \end{aligned} \right. \quad (1)$$

где $\theta(X, R, Fo) = (T(x, r, t) - T_0) / T_0$ – безразмерная температура; $T(x, r, t) - T_0$ – избыточная температура, К; T_0 – температура активного элемента в начальный момент времени, К; $Bi_i = \alpha_i L / \lambda$ – число Био; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); L – длина полого цилиндра, м; r_1, r_2 – внутренний и внешний радиусы полого цилиндра, м; $X = x/L, R_1 = r_1/L, R_2 = r_2/L$ – безразмерные координаты; α_i ($i=1, 2, 3, 4$) – коэффициент теплообмена, Вт/(м²·К); $Fo = \alpha \tau / L^2$ – число Фурье.

Начальное распределение температуры было принято равномерное, а тепловыделение являлось функцией от координат. На поверхности заданы адиабатные условия теплообмена ($Bi_1 = Bi_2 = Bi_3 = Bi_4 = Bi \rightarrow 0$) – случай идеальной тепловой изоляции. Задача решается в безразмерном виде. В системе уравнений (1) выражение для функции Померанцева имеет вид

$$Po(X, R) = Po_0 \cdot C_1(X) \cdot C_2(R),$$

здесь $Po_0 = q_{V0} L^2 / \lambda T_0$ – постоянная составляющая тепловыделения; q_{V0} – внутренний источник тепла, Вт/м³; $C_1(X), C_2(R)$ – функции, учитывающие неравномерность распределения внутренних источников тепла вдоль осей координат. Установлено [3], что тепловыделение в реальных процессах не является величиной постоянной, а изменяется в зависимости от координат. Таким образом, изменение внутренних источников тепла было задано вдоль оси ординат экспоненциальным законом

$$C_1(X) = \exp(-NX),$$

а вдоль оси абсцисс полиномом второй степени

$$C_2(R) = 1 + MR + DR^2,$$

где N, M и D – коэффициенты функций распределения.

Предложенная задача была решена численным методом конечных разностей. Применение неявной разностной схемы переменных направлений [4] позволило получить решение задачи абсолютно устойчивое. Погрешность аппроксимации схемы пропорциональна временному и пространственным шагам $h_{Fo}, (h_X)^2$ и $(h_R)^2$, и равна соответственно $1,1 \cdot 10^{-4}, 1,3 \cdot 10^{-3}$ и $1,2 \cdot 10^{-3}$. В качестве исходных данных для численного расчета были приняты следующие зна-

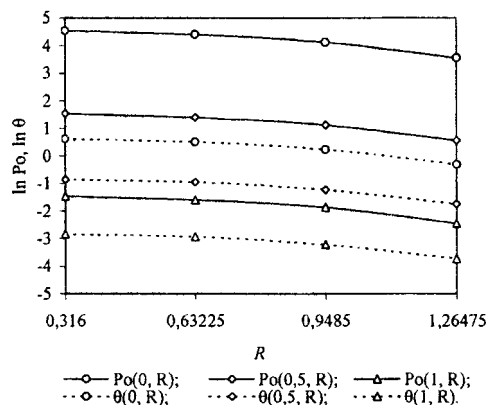


Рисунок. Распределение тепловыделения и температуры в теле при $Fo=0,05$

Таблица. Данные численного расчета распределения функции (2) при $Fo=0,05$

X	R			
	0,316	0,63225	0,9485	1,26475
0	3,923	3,889	3,896	3,866
0,5	2,388	2,351	2,358	2,306
1	1,378	1,338	1,348	1,276

чения: $Po_0=120$, $Bi_{1,2,3,4}=10^{-4}$, $N=6$, $M=0$, $D=-1/R_2^2$, $R_1=0,316$, $R_2=1,581$. В результате численного расчета получены значения тепловыделения (Po) и температуры (θ).

На рисунке изображено изменение тепловыделения и температуры вдоль оси одной из пространственных координат – радиуса в сечении исследуемого полого цилиндра для трех различных областей: $X=0$; 0,5 и 1.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Логинов В.С. Теплообмен в пластине при действии внутренних источников тепла при малых числах Фурье ($Fo < 0,001$) // Известия Томского политехнического университета. – 2003. – Т. 306, № 2. – С. 40–41.
2. Логинов В.С., Молодежникова Л.И., Бучная И.А. К тепловому расчету цилиндрического активного элемента электромагнита // Известия вузов. Электромеханика. – 1988. – № 3. – С. 105–108.
3. Логинов В.С., Дорохов А.Р. Температурные режимы твэлов. Часть 2: Методическое пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 1998. – 92 с.
4. Моделирование тепловыделяющих систем: Учебное пособие / А.Р. Дорохов, А.С. Заворин и др.; под ред. Н.И. Шидловской. – Томск: Изд-во НТЛ, 2000. – 234 с.

УДК 621.436

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛОМАССОБМЕНА ПРИ ИСПАРЕНИИ ТОПЛИВА В ДИЗЕЛЕ

В.В. Гаврилов

Санкт-Петербургский государственный морской технический университет
E-mail: gavrilov@VG5647.spb.edu

Предложена модель неравновесного испарения топлива, предназначенная для решения задач проектирования дизеля. Сложная модель испарения представляет собой систему простых моделей – модели осредненного движения неиспаряющейся струи, регрессионной модели турбулентности и модели конвективного переноса массы и теплоты при испарении. Показано, что учет турбулентных пульсаций особенно важен при расчете тепломассообмена в периферийных зонах поперечного сечения струи. Представлены расчетное и экспериментальное распределения температуры в испаряющейся струе.

Введение

Для обеспечения высоких технико-экономических показателей дизеля при его проектировании необходимы разработка и применение современной математической модели комплекса внутрцилиндровых процессов. Указанный комплекс включает в себя процессы топливоподдачи, распада топливной струи, ее движения и взаимодействия со стенками камеры сгорания, испарения топлива, самовоспламенения и горения топливовоздушной смеси. Требуется, чтобы разрабатываемая модель, с одной стороны, позволяла локально описывать процессы, с другой стороны, – была достаточно простой. Последнее свойство должно обеспечить приемлемое "быстродействие" соответствующей программы рас-

чета при оптимизации конструктивных и регулировочных параметров дизеля.

$$\varphi(X, R) = \ln \frac{Po(X, R)}{\theta(X, R)}. \quad (2)$$

Например, на поверхности полого цилиндра ($X=0$) при изменении радиуса ($R_1 \leq R < R_2$) величина $\varphi(0, R)=3,9$ – постоянна. Следовательно, кривые $\ln Po(0, R)$ и $\ln \theta(0, R)$ – эквидистантны. Это утверждение справедливо и при других значениях X ($0 \leq X \leq 1$) и подтверждено данными таблицы.

Таким образом, на основе полученного уравнения (2) соотношение между тепловыделением и избыточной температурой в полом цилиндре запишется в виде

$$q_v(x, r) = (T(x, r) - T_0) \lambda / L^2 \cdot \exp[\varphi(X, R)].$$

Температура $T(x, r)$ [3] и величина $\varphi(X, R)$ определяется на основе эксперимента по данным тепловыделения и температуры на поверхности.

Испарение топлива в дизеле представляет собой сложный процесс тепломассообмена, протекающий в условиях двухфазного многокомпонентного турбулентного нестационарного струйного течения при существенной неоднородности скоростных, концентрационных и температурных полей.

Можно считать доказанным исследователями вывод о том, что скорость испарения определяется интенсивностью процессов диффузии паров в окружающей среде, а не скоростью испарения из поверхностного слоя жидкости. Также установлено, что в струе распыленного топлива имеет место, в основном, конвективный тепломассообмен, в ко-