

**МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ АКТИВНОЙ ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ ПРИ
РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ НА ПОВЕРХНОСТЬ КОРПУСА
ГИПЕРЗВУКОВОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА**

В работе получены аналитические формулы, позволяющие провести расчет распределения температуры по длине основного элемента активной тепловой защиты - термохимического реактора при различных формах внешнего теплового нагружения. Точность полученных формул подтверждается сопоставлением с численным расчетом.

Система связанных уравнений в частных производных, описывающая сопряженный тепломассоперенос в термохимическом реакторе (ТХР), в общем случае имеет вид:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{\partial T}{\partial t} + \bar{w}\nabla T = \frac{\lambda}{c_p r} \nabla^2 T + \frac{DQ^*}{c_p} \nabla^2 \rho_0 - \frac{h_0 - h_1}{c_p r} I_0 + \frac{q}{c_p r}, \quad (1)$$

$$\frac{d\rho_0}{dt} = \frac{\partial \rho_0}{\partial t} + \bar{w}\nabla \rho_0 = \frac{k_T D}{T} \nabla^2 T + D \nabla^2 \rho_0 - \frac{I_0}{r} \quad (2)$$

$(h_0 - h_\Sigma \approx c_x T)$

Рассматривается двухкомпонентная смесь, в которой одним из компонентов является метан, а второй компонент является смесью всех остальных компонентов, участвующих в реакции в ТХР. Искомые функции - температура и относительная плотность компонента смеси с номером "0" ρ_0 . Такой прием используется достаточно часто и позволяет вести поэтапное уточнение получаемых решений. В явном виде температура и относительная плотность зависят от времени t и координат, зависимость от других величин, входящих в уравнения (1) и (2), удобнее формулировать при решении частных задач. Введены следующие обозначения: \bar{w} - скорость движения газовой смеси в ТХР, [м/с]; λ - коэффициент теплопроводности, [Вт/(м К)]; r - плотность, [кг/м³]; c_p - удельная теплоемкость при постоянном давлении [Дж/(кг К)]; D - коэффициент взаимной диффузии, [м²/с]; Q^* - удельная теплота изотермического процесса [Дж/кг]; h_0 и h_1 - удельная энтальпия метана и второго компонента смеси (пара) соответственно [Дж/кг]; I_0 - мощность источника массы метана [кг/(м³ с)]; q - объемная мощность источника тепла [Вт/м³]; k_T - коэффициент термодиффузии, $\frac{h_0 - h_1}{c_p}$ вычисляется по табличным данным для энтальпий метана h_0 и водяного пара h_1 .

Падающий на поверхность S тепловой поток можно характеризовать величиной мощности, приходящейся на единицу площади q_0 , так что параметр $q = \frac{q_0}{h_r} \psi(x)$.

Распределение интенсивности пришедшего на поверхность теплового потока по длине термохимического реактора L характеризуется функцией $\psi(x)$ такой, что

$$\int_0^1 \psi(x) dx = 1. \quad (3)$$

Для линейного закона распределения теплового потока по поверхности ТХР:

$$\psi(x) = N_L (1 - \varepsilon_L x), \quad N_L = (1 - \varepsilon_L / 2)^{-1}, \quad (4)$$

Для экспоненциального распределения

$$\psi(x) = N_e \exp(-\varepsilon_e x), \quad N_e = \frac{\varepsilon_e}{1 - e^{-\varepsilon_e}} \quad (5)$$

Для гауссовского распределения теплового потока

$$\psi(x) = N_g e^{-\frac{(x-g)^2}{d}}, \quad N_g = \frac{2}{d\sqrt{\pi} \left[\operatorname{erf}\left(\frac{g}{d}\right) - \operatorname{erf}\left(\frac{g-1}{d}\right) \right]} \quad (6)$$

и для синусоидального распределения теплового потока

$$\psi(x) = N_s [1 + a_s \sin(p_s x + d_s)], \quad N_s = \left[1 + \frac{2a_s}{p_s} \sin\left(\frac{p_s}{2} + d_s\right) \sin\left(\frac{p_s}{2}\right) \right]^{-1} \quad (7)$$

На рис. 1 приведено сравнение распределений температуры по длине термохимического реактора при различных формах тепловых нагрузений (при этом полная мощность внешнего теплового потока взята одинаковой). Из рис. 1 следует, что наибольшую опасность представляет собой гауссовское распределение внешнего теплового потока. Максимальная ошибка вычислений по аналитическим формулам (более 1%) получается также для гауссовского распределения.

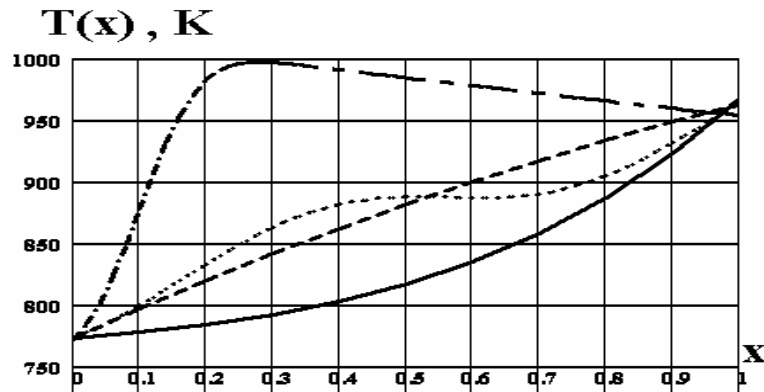


Рис. 1. Распределение температуры по длине термохимического реактора при различных формах внешнего теплового потока. Сплошная линия - экспоненциальное распределение (5), пунктир - линейное (4), штрих-пунктир - гауссовское (6), точечная кривая - синусоидальное распределение (7)