

Компьютерное моделирование прогрева капли воды в условиях охлаждения шлакового поля

Д.С. Ревякина

Научный руководитель - Н.Н. Синицын, доктор технических наук, профессор.

Череповецкий государственный университет

Для оценки температуры капли воды в системе охлаждения шлакового поля необходимо разработать математическую модель теплообмена капли воды при орошении поверхности расплавленного шлака. При этом необходимо учитывать так же и испарение воды.

Математическая модель прогрева капли воды с учетом испарения.

В настоящий момент времени при $\tau = 0$ во всех точках капли одинаковая температура T_0 . Вводим допущение о сферической форме капли с радиусом r_0 . Капля после попадания в газодход начинает прогреваться за счет лучистого и конвективного теплообмена.

Сначала идет прогрев капли, но как только температура ее поверхности достигнет температуры фазового перехода воды, резко интенсифицируется испарение влаги с возникновением фронта испарения, который по мере прогрева капли перемещается к ее центру. Этот процесс происходит в условиях неоднородного поля температур по сечению капли. Поэтому прогрев капли описывается нестационарным уравнением теплопроводности с переменными коэффициентами температуропроводности, зависящими от температуры, и переменными граничными условиями.

Для сферической изотропной частицы (капли) процессы прогрева с изменением агрегатного состояния воды можно описать следующими уравнениями ($Bi > 0, 1$): [1]

на стадии прогрева до температуры поверхности 100°C :

$$c\rho \frac{\partial T(r, \tau)}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial r} \left[\lambda \frac{\partial T(r, \tau)}{\partial r} \right] + \frac{2\lambda}{r} \cdot \frac{\partial T(r, \tau)}{\partial r} \text{ при } 0 < r \leq r_0; \quad (1)$$

на стадии испарения:

$$c\rho \frac{\partial T(r, \tau)}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial r} \left[\lambda \frac{\partial T(r, \tau)}{\partial r} \right] + \frac{2\lambda}{r} \cdot \frac{\partial T(r, \tau)}{\partial r} \text{ при } 0 \leq r \leq \xi = R,$$

где $T(r, \tau)$ - текущая температура; r - текущая координата; ξ - текущая координата фронта испарения; $\lambda = \lambda(T)$ - коэффициент

теплопроводности капли; r_n - теплота парообразования; $q_{нов}$ - плотность теплового потока на поверхности капли; $c = c(T)$ - теплоемкость капли; R - текущий размер капли; r_0 - начальный размер капли.

Начальное уравнение: $T(r, 0) = T_0$, где T_0 - начальная температура капли.

В качестве граничных принимаем условия, учитывающие лучистый и конвективный теплообмен капли с потоком газа:

при прогреве капли:

$$\lambda \frac{\partial T(R, \tau)}{\partial r} = q_{нов};$$

при $r = 0$

$$\frac{\partial T(R, \tau)}{\partial r} = 0;$$

$$q_{нов} = \alpha_\kappa [T_0 - T(R, \tau)] + \sigma_0 a_\phi \varepsilon [T_\zeta]^4 - \sigma_0 \varepsilon [T(R, \tau)]^4;$$

при испарении капли:

$$\lambda \frac{\partial T(R, \tau)}{\partial r} = \rho r_n \frac{d\xi}{d\tau} + q_{нов} \quad (2)$$

при $0 < r = R \leq \xi$;

$$T(\xi, \tau) = T_{исп} = const = 100^\circ C;$$

$$q_{нов} = \alpha_\kappa [T_\zeta - T(R, \tau)] + \sigma_0 a_\phi \varepsilon [T_\zeta]^4 - \sigma_0 \varepsilon [T(R, \tau)]^4 + c_{pm} [T_\zeta - T(R, \tau)] G_n / F;$$

где α_κ - коэффициент теплоотдачи конвекцией; T_ζ - температура потока, обтекающего частицу (каплю); a_ϕ - степень черноты газового потока; σ_0 - коэффициент Стефана-Больцмана; ε - степень черноты воды; $T(R, \tau)$ - температура поверхности капли; c_{pm} - изобарная теплоемкость пара; G_n - плотность потока пара с поверхности капли; F - площадь поверхности капли.

Результаты численного расчета траектории движения капли во время кипения воды сравнивали с результатами, полученными при расчетах по закону Б.Н.Срезневского. Относительная погрешность расчета не превышает 0,3% [1].

Для определения траекторий движения частиц численно решалась система уравнений теплового и материального баланса на стадии прогрева и кипения и уравнений движения.

На рис.1. представлена схема к расчету траектории движения капель воды с учетом изменения их массы в начальный момент времени. Ось ou направлена вдоль оси форсунки [1].

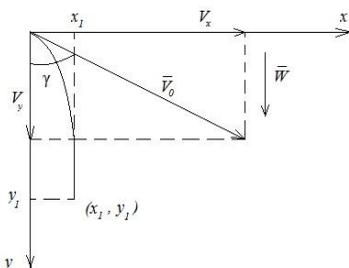


Рис.1. Схема к расчету траектории движения капель.

\vec{W}, \vec{V}_0 - векторы скоростей газа и капли; γ - угол вылета капли; V_x, V_y - проекции вектора скорости на оси координат; x_1, y_1 - конечная точка траектории.

При расчете диапазон начальных скоростей частиц и газа задается исходя из условия диспергирования материала.

Угол вылета капель варьируется в пределах от 0° до 180° , скорость вылета капель варьируется в пределах от 1 м/с до 70 м/с, начальный диаметр капель принимается от 0,00005м до 0,001м.

Результатом расчета по программе является совокупность данных, которые затем могут быть использованы для построения траекторий движения капель распыленной жидкости в потоке газа.

На рис.2 представлены распределения температур по сечению капли воды в различные моменты времени. Проведенное тестирование программы показывает хорошие совпадения результатов расчета при количестве узлов расчетной сетки $N=128$.

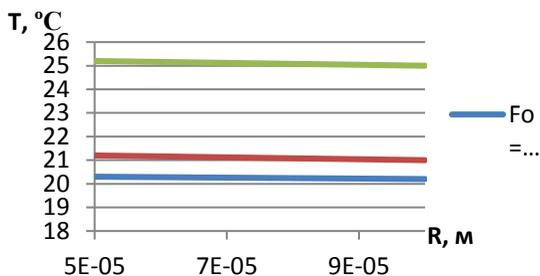


Рис.2 Температурные поля при прогреве частиц воды диаметром 2 мм в различные моменты времени.

Таким образом, математическая модель описывает процессы теплообмена капли воды при ее движении в газовом потоке с учетом фазовых переходов. Математическая модель теплообмена капли

учитывает ее прогрев с учетом градиента температур, а также испарение капли при ее движении в газовом потоке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Синицын, Н.Н.* Исследование теплообмена капли воды в высокотемпературном потоке газа системы газоочистки кислородного конвертера [Текст] / *Н.Н.Синицын, Л.А.Полехова.* // Вузовская наука – региону: материалы IV Всероссийской науч.-техн. конф. – Вологда: ВоГТУ, февраль, - 2006 – С.121-124.