

являющееся членом ряда. Если при μ_n член ряда по модулю оказывается меньше некоторой наперед заданной точности, суммирование ряда прекращаем, подсчитываем значение $T(r, \tau)$ и осуществляем переход к следующему набору аргументов $t_c, X, \frac{r}{R}, \tau$.

После исчерпания всех значений аргументов решение считается законченным. На печать в каждой строчке выдаются значения аргументов и $t(r, \tau)$. Распечатка результатов решения представлена в виде графиков $t(r, \tau) = f(t_c)$ на рис. 2.

Л и т е р а т у р а

1. Лыков А.В. Теория теплопроводности. М., 1967.

В.И. Емельянчиков, Е.И. Олейник

ОБ ОДНОМ СПОСОБЕ ИЗМЕРЕНИЯ ЛОКАЛЬНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОТДАЧИ КОНВЕКЦИЕЙ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНОМ ТЕПЛОВОМ РЕЖИМЕ

При автоматизации процессов пуска и останова теплоэнергетического оборудования возникает необходимость в поддержании оптимальными значений термических напряжений в металле отдельных элементов, лимитирующих скорость пуска и останова. Это требует измерения локальных коэффициентов теплоотдачи между поверхностью элементов оборудования и омывающей средой, температура, плотность и скорость которой меняются в широком диапазоне.

Известные способы определения коэффициента теплоотдачи конвекцией при нестационарном тепловом потоке как для регулярного, так и для иррегулярного режимов [1, 2] обладают рядом недостатков: они применимы в условиях постоянных значений коэффициента теплоотдачи и параметров среды; для их осуществления требуется значительное время; не позволяют достаточно просто получить измерительный сигнал, пропорциональный коэффициенту теплоотдачи, а также ввести его в систему автоматического управления.

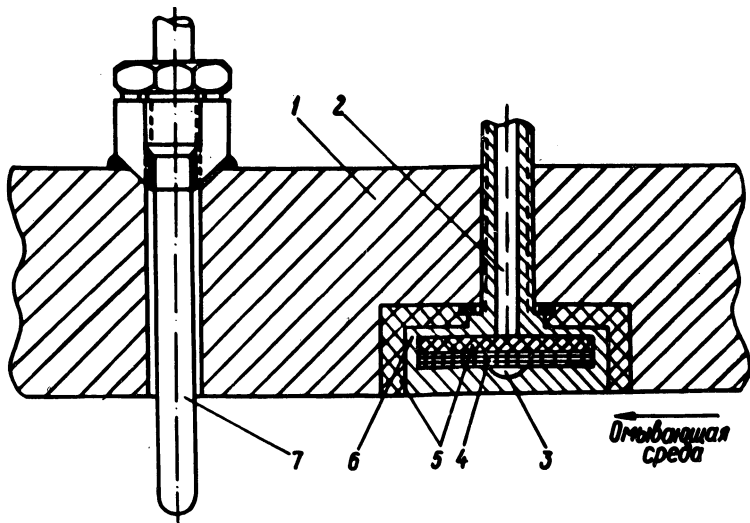


Рис. 1. Схема датчика измерителя локального коэффициента теплоотдачи.

Сущность предлагаемого способа состоит в следующем. В плоскую стенку 1 (рис.1) монтируется датчик 2 так, чтобы плоскость металлической нагреваемой пластины 6 датчика, взаимодействующая со средой, находилась в плоскости стенки. Пластина датчика частично покрытая ненагруженной теплоизоляцией 5, нагревается электроннагревателем 4 до температуры, превышающей температуру среды на величину ν_3 (рис. 2). В этот момент (t_2) с помощью сигнала от дифференциальной термопары 3 со спаями, расположенными в металле пластины датчика и отдельном чехле 7, производится выключение тока в электроннагревателе и начинается охлаждение пластины. Когда она охладится до температуры, превышающей температуру среды на величину ν_1 , по сигналу той же термопары в момент времени t_4 происходит включение электроннагревателя и цикл повторяется. Значение ν_1 и ν_3 выбираются достаточно большими, чтобы за интервал времени $t_4 - t_2$ параметры среды не успели значительно измениться.

В процессе охлаждения в пластине при некотором значении ν_2 (момент времени t_3) установится регулярный режим первого рода, который для пластины неограниченных размеров характеризуется следующими зависимостями (2):

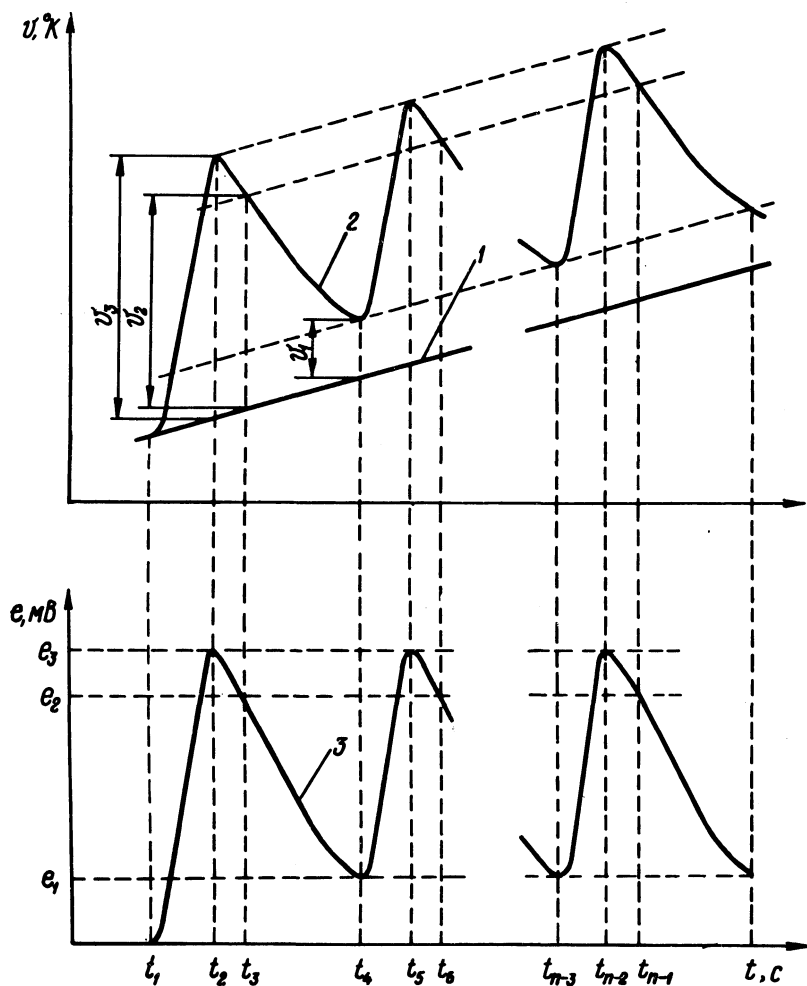


Рис. 2. Изменение температуры омывающей среды (1), нагревательной пластины (2) и э.д.с. дифференциальной термопары (3) датчика.

$$m = \frac{\epsilon^2 a}{l^2}; \quad (1)$$

$$m = \frac{\ln \nu_2 - \ln \nu_1}{t_n - t_{n-1}}; \quad (2)$$

$$\operatorname{ctg} \varepsilon = \frac{\varepsilon}{B_i}, \quad (3)$$

где $B_i = \frac{\alpha l}{\lambda}$.

Из уравнений (1), (2), (3) можно выразить α следующим образом:

$$\alpha = \frac{\sqrt{\frac{\lambda^2}{a} \frac{\ln \nu_2^2 - \ln \nu_1^2}{t_n - t_{n-1}}}}{\operatorname{ctg} \sqrt{\frac{l^2}{a} \frac{\ln \nu_2^2 - \ln \nu_1^2}{t_n - t_{n-1}}}}. \quad (4)$$

В приведенных уравнениях m - темп охлаждения; ε - постоянная, определяемая из граничных условий; ν_1 - уровень температуры пластины датчика относительно температуры среды, при котором оканчивается измерение временного интервала; ν_2 - уровень температуры пластины датчика относительно температуры среды, при котором начинается отсчет измеряемого интервала времени; t - время; a - коэффициент температуропроводности; λ - коэффициент теплопроводности; α - коэффициент теплоотдачи; $2l$ - толщина пластины.

Коэффициенты λ и a зависят от абсолютного значения температуры металла, из которого изготовлена нагреваемая пластина датчика. Для упрощения расчетных операций при определении α по формуле (4) необходимо подобрать такой металл пластины, чтобы в его рабочем диапазоне температуры (рабочий диапазон температуры омывающей среды плюс ν_3) обеспечивалось равенство:

$$\frac{\partial \alpha}{\partial \lambda} \Delta \lambda + \frac{\partial \alpha}{\partial a} \Delta a = 0, \quad (5)$$

которое после преобразований запишется в виде

$$\Delta \lambda = \frac{\lambda \sqrt{m}}{2} \left(\frac{2l}{\sqrt{a^3} \sin 2l \sqrt{\frac{m}{a}}} + 1 \right) \Delta a. \quad (6)$$

Выполнение этого условия обеспечит независимость определяемых значений α от температурных изменений a и λ . Это позволяет принять коэффициенты теплопроводности и температуропроводности для подобранного металла постоянными и равными, например, их средним значениям для рабочего диа-

пазона температуры пластины. С учетом принятого режима нагрева и охлаждения пластины датчика величину $\ln \vartheta_2 - \ln \vartheta_1$ можно считать постоянной для каждого цикла измерения.

Обозначив $\ln \vartheta_2 - \ln \vartheta_1 = c_1, c_1 l^2 = c_2$ и подставив значения $\lambda_{cp}, a_{cp}, c_1, c_2$ в выражение (4), получим

$$\alpha = \frac{\sqrt{\frac{\lambda_{cp}^2 c_1}{a_{cp}} \frac{1}{t_n - t_{n-1}}}}{\operatorname{ctg} \sqrt{\frac{c_2}{a_{cp}} \frac{1}{t_n - t_{n-1}}}} \quad (7)$$

Из выражения (7) следует, что коэффициент теплоотдачи в некотором диапазоне температуры является величиной, зависящей только от одной переменной, а именно, измеряемого временного интервала $t_n - t_{n-1}$. Преобразование этого интервала в электрический сигнал, пропорциональный α , можно осуществить средствами как аналоговой, так и цифровой техники.

Л и т е р а т у р а

1. Кондратьев Г.М. Регулярный тепловой режим. М., 1954.
2. Осипова В.А. Экспериментальное исследование процессов теплообмена. М., 1969.