

ні у 2004 році / Міністерство охорони навколишнього природного середовища України // http://www.menr.gov.ua/img/nd_2004.pdf.

2. Зозуля І.І., Назимко Е.І., Самойлик Г.В., Смирнов В.А. Проектирование углеобогачительных фабрик. – К.: УМК ВО, 1992. – С. 120-122.

3. Баранов Д.А. Принципы расчета и конструирования гидроциклонов для разделения эмульсий: Дисс. ... д-ра техн. наук: 05.17.08. – М., 1996. – 212 с.

4. А.с. 974664 СССР. Способ регулирования гидроциклона и устройство для его осуществления / Д.Н.Копаница, Ю.Д.Копаница. – Опубл. в Б.И., 1988, №31.

5. А.с. 1503883 СССР, МКИ³ В 03 В 13/00. Устройство автоматического регулирования гидроциклона / Д.Н.Копаница, Ю.Д.Копаница (СССР). – №3797595/22-03; Заяв. 31.08.84; Опубл. 30.08.89, Бюл.№32. – 2с.

6. Лобачев П.В., Шевелев Ф.А. Измерение расхода жидкостей и газов в системах водоснабжения и канализации. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1985. – 424 с.

7. Дьяконов В.П. Maple 9 в математике, физике и образовании. – М.: СОЛЮН-Пресс, 2004. – 688 с.

8. Голоскоков Д.П. Уравнения математической физики. Решение задач в системе Maple. – СПб.: Питер, 2004. – 539 с.

Отримано 24.07.2007

УДК 697.9

А.Ф.СТРОЙ, д-р техн. наук

Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка

НАГРІВАННЯ ПОВІТРЯ ПРИ ПЕРЕМІЩЕННІ ЙОГО ВЗДОВЖ ІЗОТЕРМІЧНОЇ ПОВЕРХНІ

Розроблено диференційне рівняння, на основі якого одержана формула для визначення температури повітря при проходженні його вздовж ізотермічної нагрітої чи холодної поверхні. Формула дає можливість проаналізувати в явному вигляді як впливають різні фактори на зміну температури повітря.

Розрахунок зміни температури повітря при переміщенні його вздовж ізотермічної холодної чи нагрітої поверхні є досить важливим при вирішенні задач пасивних систем опалення за допомогою сонячної енергії, при визначенні коефіцієнта теплопередачі огорожуючої конструкції з повітряним прошарком, а також при розрахунках нагрівання і охолодження повітря в теплообмінних апаратах.

Диференційне рівняння, за допомогою якого після інтегрування можна визначити температуру повітря, при проходженні його по повітряному прошарку в огорожуючій конструкції, наведено в [1, 2]. Кінцевий вигляд цього рівняння не дає можливості проаналізувати, як впливають розміри прошарку на зміну температури повітря при його нагріванні чи охолодженні. До того ж диференційне рівняння записане для випадку, коли площа поперечного перерізу повітряного прошарку незмінна по всій довжині прошарку. Тобто це рівняння можна застосовувати для вирішення обмеженого кола задач, які пов'язані з повітряними прошарками в огорожуючих конструкціях.

Для більш широкого кола задач, характеристика яких наведена вище, необхідно розробити диференційне рівняння, яке дало б можливість врахувати вплив більшої, порівняно з попередніми дослідженнями, кількості факторів на нагрівання повітря.

Для детального аналізу впливу різних факторів на нагрівання повітря, яке переміщується вздовж ізотермічної поверхні, розглянемо процес теплообміну між повітрям та ізотермічною поверхнею (рисунк).

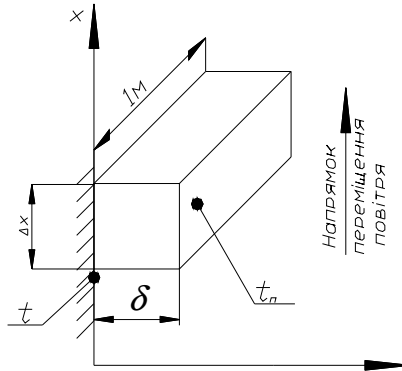


Схема для ілюстрації виводу диференційного рівняння

Розглянемо випадок, коли температура ізотермічної поверхні t вища, ніж температура повітря t_n , тобто випадок, коли біля поверхні відбувається нагрівання повітря і воно переміщується знизу вгору. Кількість теплоти, яка надходить до елементарного об'єму $\Delta V = \delta \cdot l \Delta x$ (рисунок) протягом елементарного проміжку часу $\Delta \tau$, змінює температуру повітря в елементарному об'ємі на величину Δt_n . Таким чином, рівняння теплового балансу для елементарного об'єму має вигляд:

$$\alpha(t - t_n)\Delta F \Delta \tau = c \Delta V \rho \Delta t_n, \quad (1)$$

де α – коефіцієнт конвективного теплообміну між повітрям та поверхнею, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$; t – температура ізотермічної поверхні, $^\circ\text{C}$; t_n – середня температура повітря на протязі проміжку часу $\Delta \tau$, $^\circ\text{C}$; ΔF – площа теплообміну, $\Delta F = \Delta x \cdot l$, м^2 ; c – масова теплоємність повітря, $\text{Дж}/(\text{кг } ^\circ\text{C})$; ρ – густина повітря, $\text{кг}/\text{м}^3$; Δt_n – зміна температури повітря в процесі його нагрівання, $^\circ\text{C}$.

Якщо перейти до нескінченно малих величин, то рівняння (1) можна записати у вигляді:

$$\alpha(t - t_n(x))dx \cdot l \cdot d\tau = c \delta \cdot l \cdot dx \rho(x) dt_n(x). \quad (2)$$

Рівняння (2) записано при умові, що

$$dV = \delta \cdot 1 \cdot dx .$$

Відомо, що швидкість переміщення повітря можна визначити за допомогою виразу

$$v(x) = \frac{dx}{d\tau} , \quad (3)$$

де dx – довжина шляху, яку пройшло повітря за проміжок часу $d\tau$.

Розглянемо випадок, коли швидкість переміщення повітря не змінюється при проходженні його вздовж ізотермічної поверхні, тобто випадок, коли

$$v(x) = v = \frac{dx}{d\tau} = const . \quad (4)$$

З останнього рівняння

$$d\tau = \frac{dx}{v} . \quad (5)$$

Підставимо значення $d\tau$ в рівняння (2), одержимо:

$$\alpha(t - t_n(x))dx \cdot 1 \cdot \frac{dx}{v} = c\delta \cdot 1 \cdot dx\rho(x)dt_n(x) . \quad (6)$$

Після відповідних скорочень та алгебраїчних перетворень рівняння (6) має вигляд:

$$(t - t_n(x)) = \frac{vc\rho(x)\delta}{\alpha} \cdot \frac{dt_n(x)}{dx} . \quad (7)$$

Останнє рівняння – це диференційне рівняння, невідомою величиною в якому є функція $t_n(x)$. Для визначення цієї функції проінтегруємо диференційне рівняння (7). З цією метою зробимо заміну змінних величин, тобто позначимо $t - t_n(x) = \theta(x)$, тоді $\frac{dt_n(x)}{dx} = \frac{d\theta(x)}{dx}$.

Після підстановки в рівняння (7) інших змінних воно матиме вигляд:

$$\theta(x) = - \frac{vc\rho(x)\delta}{\alpha} \cdot \frac{d\theta(x)}{dx} . \quad (8)$$

Приймемо спрощуючу передумову, що густина повітря не залежить від змін температури повітря, тобто не залежить від координати x і є постійною величиною по всьому шляху, який проходить повітря при його нагріванні. Таким чином, $\rho(x) = \rho = const$. З урахуванням цієї передумови розділимо змінні величини в рівнянні (8) та проінтегруємо його. Після розділення змінних величин маємо:

$$dx = -\frac{\vartheta c \rho \delta}{\alpha} \cdot \frac{d\theta(x)}{\theta(x)}. \quad (9)$$

Проінтегруємо рівняння (9):

$$\int_0^x dx = -\frac{\vartheta c \rho \delta}{\alpha} \cdot \int_{\theta(x)}^{\theta(x)} \frac{d\theta(x)}{\theta(x)}. \quad (10)$$

Після інтегрування та підстановки граничних умов інтегрування одержимо вираз:

$$x = -\frac{\vartheta c \rho \delta}{\alpha} (\ln \theta(x) - \ln \theta(o)). \quad (11)$$

Рівняння (11) можна також записати у вигляді:

$$x = \frac{\vartheta c \rho \delta}{\alpha} \ln \frac{\theta(o)}{\theta(x)}$$

або

$$e^{\frac{\alpha}{\vartheta c \rho \delta} x} = \frac{\theta(o)}{\theta(x)}.$$

Підставимо в останнє рівняння замість змінних $\theta(x)$ і $\theta(o)$ їх значення і виконаємо алгебраїчні перетворення. Після алгебраїчних перетворень маємо кінцеву формулу, яка характеризує зміну температури повітря при його переміщенні вздовж ізотермічної поверхні. Ця формула має вигляд:

$$t_n(x) = t - \frac{t - t_n(o)}{e^{\frac{\alpha}{\vartheta c \rho \delta} x}}. \quad (12)$$

Як висновок слід зазначити, що рівняння (12) одержано при умові, що швидкість повітря є незмінною величиною при переміщенні його вздовж поверхні і густина повітря також є постійною величиною. Диференційне рівняння (7) дає можливість одержати формулу у випадку, коли густина повітря змінюється при його нагріванні чи охолодженні, а також коли швидкість повітря змінюється. Аналіз літературних джерел свідчить, що попередніми дослідниками такі задачі не розглядалися.

1.Мачинский В.Д. Теплотехнические основы строительства. – М.: Стройиздат, 1949. – 325 с.

2.Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. – М.: Стройиздат, 1953. – 320 с.

Отримано 25.07.2007