

УДК 004.5

Ростислав Трембач, к.т.н., доц.; Віталій Ковалик, Ростислав Гвоздецький, Інна Кобринчук ст. гр. КАм-61

Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя, Україна

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ДІАГНОСТУВАННЯ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛООБМІНУ В НАЗЕМНИХ ДІЛЯНКАХ ТРУБОПРОВОДІВ

Rostyslav Trembach Ph.D, Assoc. Prof.; Vitaly Kovalik, Rostyslav Gvozdetskyi, Inna Kobrynychuk, art. c. KAm-61

AUTOMATED SYSTEM FOR DIAGNOSING HEAT EXCHANGE PROCESSES IN GROUND SECTIONS OF PIPELINES

Магістральний трубопровід містить у собі: головні спорудження, лінійну частину, проміжні насосні чи компресорні станції, устаткування кінцевих пунктів і т.п. Основною складовою магістрального трубопроводу є лінійна частина, що включає власне трубопровід з відгалуженнями, запірну арматуру, переходи через природні і штучні перешкоди, компенсатори і лінійні спорудження, призначені для забезпечення заданих режимів перекачування продукту. Магістральні трубопроводи прокладають у найрізноманітніших топографічних, геологічних, гідрологічних і кліматичних умовах. В даний час при спорудженні магістральних трубопроводів застосовують підземну, напівпідземну, наземну і надземну схеми прокладки.

Велике практичне значення для оцінки й прогнозу технічного стану найбільш небезпечних відкритих наземних ділянок трубопроводів представляють аналітичні дослідження наявних термонапружень. Підтверджені експериментальними вимірами теоретичні розрахунки термонапружень і можливих теплових деформацій у трубопроводі створюють реальну картину його навантаженого стану і дозволяють заздалегідь приймати необхідні рішення для забезпечення конструктивної надійності, не затрачаючи в той же час великих засобів на ремонт менш небезпечних ділянок [1,2].

Для дослідження стану трубопроводу розроблена математична модель, яка дозволяє вивчати процес теплообміну та оцінювати теплові навантаження, що виникають в об'єкті, оцінювати розміри зон ремонту, оптимальних за критерієм мінімальної зміни напружень, враховуючи геометричні, термічні, радіаційні та інші властивості матеріалу труби, які є змінними в часі, давати уточнену кількісну характеристику напружень, що виникають внаслідок дії на ділянку інтенсивних теплових навантажень.

Математична модель теплообміну в диференційній формі [3]

Рівняння теплопровідності в циліндричних координатах із відповідними йому крайовими умовами:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a^2 \cdot \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial \varphi^2} \right), \quad (1)$$

де T – температура стінки трубопроводу; t – час; a – відома константа: $a^2 = \lambda / (c \cdot \rho)$; λ – теплопровідність матеріалу, c – питома теплоємність матеріалу, ρ – густина матеріалу, r – радіус трубопроводу, φ – кут.

Задання початкових умов.

$$T|_{t=0} = T_0 \quad (2)$$

де T_0 – початкова температура стінки трубопроводу.

Задання граничних умов:

а) відносно заданого радіуса:

$$\begin{cases} \lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=r_0} = \alpha(T_c - T) \\ \lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=r_1} = \alpha(T_c - T) + \varepsilon \sigma (T_c^4 - T^4) \end{cases}, \quad (3)$$

б) відносно визначеного кута:

$$\begin{cases} T|_{\varphi=\varphi_0} = T_c \cdot \left(\frac{r_1 - r}{r_1 - r_0} \right) + T_c \cdot \left(\frac{r_0 - r}{r_0 - r_1} \right) \\ T|_{\varphi=\varphi_1} = T_c \cdot \left(\frac{r_1 - r}{r_1 - r_0} \right) + T_c \cdot \left(\frac{r_0 - r}{r_0 - r_1} \right) \end{cases}. \quad (4)$$

де T_c - температура навколишнього середовища; T_c - температура газу, який транспортується по трубопроводу; $0 < \varepsilon < 1$; σ - стала Стефана-Больцмана, α - коефіцієнт теплопередачі поверхні трубопроводу; r_0, r_1 - внутрішній і зовнішній діаметри трубопроводу відповідно, φ_0, φ_1 - граничні значення зміни кута φ .

Математична модель теплообміну в дискретній формі [3]

Система апроксимаційних рівнянь теплопровідності в трубопроводі із заданими для неї крайовими умовами:

На першому півкроці по часу шукаємо невідомі величини $T_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}$:

$$\begin{cases} \frac{T_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} - T_{i,j}^n}{\tau/2} = a^2 \cdot \frac{T_{i+1,j}^n - 2T_{i,j}^n + T_{i-1,j}^n}{h_r^2} + a^2 \cdot \frac{1}{r_0 + (i-1)h_r} \cdot \frac{T_{i+1,j}^n - T_{i-1,j}^n}{2h_r} + a^2 \cdot \frac{1}{(r_0 + (i-1)h_r)^2} \cdot \frac{T_{i,j+1}^{n+\frac{1}{2}} - 2T_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + T_{i,j-1}^{n+\frac{1}{2}}}{h_\varphi^2}, \\ T_{i,1}^{n+\frac{1}{2}} = T_c \cdot \left(\frac{r_0 - r_i}{r_0 - r_1} \right) + T_c \cdot \left(\frac{r_1 - r_i}{r_1 - r_0} \right), \\ T_{i,L}^{n+\frac{1}{2}} = T_c \cdot \left(\frac{r_0 - r_i}{r_0 - r_1} \right) + T_c \cdot \left(\frac{r_1 - r_i}{r_1 - r_0} \right). \end{cases}$$

На другому півкроці по часу шукаємо невідомі величини $T_{i,j}^{n+1}$:

$$\begin{cases} \frac{T_{i,j}^{n+1} - T_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\tau/2} = a^2 \cdot \frac{T_{i+1,j}^{n+\frac{1}{2}} - 2T_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + T_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}}}{h_r^2} + a^2 \cdot \frac{1}{r_0 + (i-1)h_r} \cdot \frac{T_{i+1,j}^{n+\frac{1}{2}} - T_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}}}{2h_r} + a^2 \cdot \frac{1}{(r_0 + (i-1)h_r)^2} \cdot \frac{T_{i,j+1}^{n+\frac{1}{2}} - 2T_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + T_{i,j-1}^{n+\frac{1}{2}}}{h_\varphi^2}, \\ \lambda \cdot \frac{T_{1,j}^{n+1} - T_{0,j}^{n+1}}{h_r} = \alpha(T_c - T_{0,j}^{n+1}), \\ \lambda \cdot \frac{T_{K,j}^{n+1} - T_{K-1,j}^{n+1}}{h_r} = \alpha(T_c - T_{K,j}^{n+1}) + \varepsilon \sigma \cdot (T_c - T_{K,j}^{n+1}) \cdot 4T_c^3. \end{cases}$$

Зміна по координаті r : $r_i = r_0 + i \cdot h_r$, h_r - крок зміни радіуса, $i = 0, \dots, K$

Зміна по координаті φ : $\varphi_j = \varphi_0 + j \cdot h_\varphi$, h_φ - крок зміни кута, $j = 0, \dots, L$

Зміна в часі t : $t_n = n \cdot \tau$, τ - крок по часу, $n = 0, \dots, N$

Температура стінки трубопроводу в початковий момент часу $T_{i,j}^0 = T_0$.

Для розробки програмного забезпечення було обрано пакет Borland C++Builder. Цей програмний продукт здатний інтегруватися з іншими застосунками, що може змінюватися в ході роботи. Таким чином, середовище Borland C++Builder призначене для створення додатків Windows, розроблених на основі мови програмування C++. На рисунку 1 наведено діаграму зв'язків між компонентами головної форми програми.

На основі математичної моделі було написано програму на мові програмування Borland C++Builder. Програма дає можливість відобразити зміну в часі температури газу в трубопроводі, температури навколишнього середовища, а також температури в стінці трубопроводу, яка утворюється в результаті дії на трубопровід попередніх температур. Графік зміни температури у заданій точці стінки труби в часі представлено на рис.2.



Рисунок 1- Діаграма зв'язків між компонентами головної форми програми.

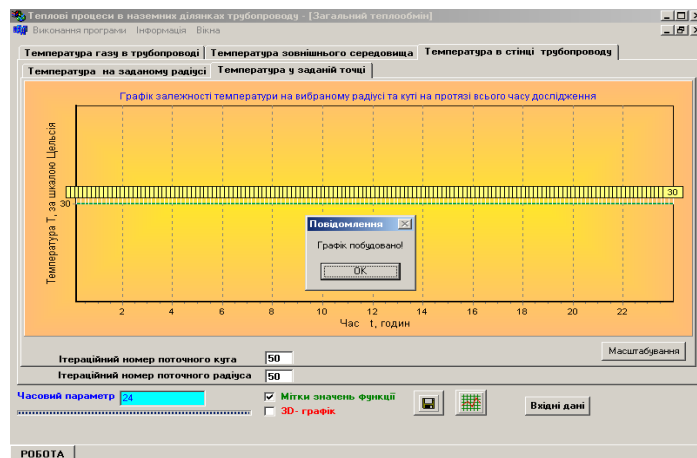


Рисунок 2 – Графік зміни температури у заданій точці стінки труби в часі

Література

1. Обертюх Р.Р. Теоретичні основи теплотехніки: Навч. Посібник. – Вінниця: УНІВЕРСУМ- Вінниця, 2009.- 165с.
2. Алексеева І. В., Гайдей В. О, Диховичний О. О., Федорова Л. Б. Математика в технічному університеті [Електронний ресурс]: підручник . Т. 2. - Київ : Видавничий дім «Кондор», 2019.
3. Журавчак Л. М. Дискретна математика для програмістів: навчальний посібник. Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2019.