

УДК 699.86:697.34

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ФАКТИЧНОГО СТАНУ ІЗОЛЯЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ ТРУБОПРОВОДІВ ТЕПЛОТРАС НА ТЕПЛОВІ ВТРАТИ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ФАКТИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ТРУБОПРОВОДОВ ТЕПЛОТРАСС НА ТЕПЛОВЫЕ ПОТЕРИ

DETERMINATION OF THE ACTUAL EFFECT OF HEATING MAINS PIPE INSULATION MATERIAL FOR HEAT LOSS

Ганжа А.М., д.т.н, Марченко Н.А., к.т.н, Підкопай В.М (Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", м. Харків)

Ганжа А.Н., д.т.н, Марченко Н.А., к.т.н, Подкопай В.Н (Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", г. Харьков)

Ganzha A.N., Doctor of Technical Sciences, Marchenko N.A., Candidate of Technical Sciences, Podkopai V.N. (National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv)

Розроблено математичні моделі і методику визначення фактичних втрат теплової енергії через поверхню ізоляційного матеріалу трубопроводів з урахуванням його пошкодження в процесі експлуатації та режимів роботи теплової мережі.

Разработаны математические модели и методика определения фактических потерь тепловой энергии через поверхность изоляционного материала трубопроводов с учетом его повреждения в процессе эксплуатации и режимов работы тепловой сети.

The mathematical models and methods of determining the actual loss of heat through the surface of the insulating material piping with its damage during the operation of the heat system are developed.

Ключові слова:

Матеріал, ізоляція, пошкодження, теплота, втрати.

Материал, изоляция, повреждение, теплота, потери

Material, insulation, damage, heat, losses

Вступ. У даний час тепlopостачання житлових масивів багатьох міст України здійснюється від великих джерел теплової енергії, обладнаних водогрійними і паровими котлами, що були введені в експлуатацію 30-40 років тому. Котельні розташовані на значній відстані від масивів, а теплові мережі від них мають значний знос. Транспортування теплоносія від джерел до мікрорайонів здійснюється по магістральних трубопроводах, що мають, як правило, великі діаметри (до 1020 мм) і великі поверхні шару ізоляційного матеріалу. Це обумовлює значні теплові втрати при постачанні теплової енергії до масивів.

Крім цього, існує безліч котелень малої потужності, розташованих, в основному, в сільській місцевості. Ці котельні опалюють, як правило, один-два об'єкта бюджетної сфери. Найчастіше ці об'єкти розташовані на великій відстані від котелень і питома вага втрат теплової енергії при передачі теплоти споживачам стає непомірно великою. Цю проблему збільшує і відмовлення від тепlopостачання або відключення більшої частини споживачів від таких котелень. Як правило споживачі, що залишилися – це і є ті самі об'єкти бюджетної сфери, найчастіше, найбільш віддалені від котельні. Діаметри трубопроводів теплотрас при цьому залишаються завищеними стосовно приєднаного навантаження.

Аналіз останніх досліджень. Як відомо, і джерела теплової енергії мають значну кількість устаткування, що відпрацювали свій ресурс. Велика увага дослідників і практиків приділяється підвищенню ефективності джерел теплової енергії з метою зниження питомих витрат палива та електроенергії. При цьому встановлюються нові енергоефективні котли і додаткове устаткування в будовах старих котелень або будуються нові котельні. Однак, часто старі зношені мережі залишаються, що практично зводить нанівець усі впроваджені заходи. На таких нових котельнях велика частина виробленої теплової енергії іде у втрати при передачі по теплотрасах та споживачі недоодержують теплову енергію. Сучасний стан ізоляції трубопроводів незадовільний, що збільшує теплові втрати. Велику увагу розрахункам втрат теплової енергії приділяється в дослідженнях авторів [1 та ін.]. Однак, як правило, не враховується різноманітність пошкоджень шару ізоляції і їх розподілення за довжиною теплотрас, а розглядається окремий випадок пошкодження в поперечному перетині трубопроводу.

Постановка мети і задач досліджень. На практиці визначення як нормованих, так і фактичних втрат теплоти через ізоляцію трубопроводів теплотрас являє собою велику проблему як для проектувальників, так для експлуатуючих організацій чи енергоаудиторів. Легко вирішується ця проблема, якщо встановлені прилади обліку теплової енергії – відпустку на джерелі та у всіх споживачів. Різниця між цими даними і покаже величину фактичних теплових втрат. Приводячи ці фактичні втрати до нормативних умов роботи теплової мережі, можна одержати коефіцієнт збільшення

нормативної щільності теплового потоку, а для практичних розрахунків - еквівалентний коефіцієнт збільшення теплопровідності матеріалу ізоляції.

Однак, прилади обліку відпустку теплової енергії на котельнях є не скрізь і не всі споживачі охоплені ними. Споживання теплової енергії в цьому випадку розраховується за проектним тепловим навантаженнями. Втрати теплової енергії розраховуються за допомогою методики [2], де враховуються коефіцієнти до нормативних втрат у результаті проведених випробувань. Випробування проводяться на визначеній ділянці теплової мережі, виведеній з роботи, і поширюються на всю мережу.

Усе це, як правило, приводить до неадекватного визначення втрат у теплових мережах. Тому розробка методів і засобів оцінок фактичних втрат теплової енергії через ізоляцію трубопроводів теплотрас з урахуванням її стану є актуальною задачею в енергозбереженні.

Методика досліджень. Для вирішення поставленої задачі розроблена математична модель визначення коефіцієнтів збільшення нормативного теплового потоку з 1 м довжини труби, а також еквівалентних коефіцієнтів збільшення теплопровідності шару ізоляційного матеріалу з урахуванням його фактичного стану. Фактичний стан шару теплової ізоляції може бути визначений за результатами енергетичного аудиту та за допомогою термографічної зйомки по температурному полю поверхні ізоляції (див. приклад на рис. 1).

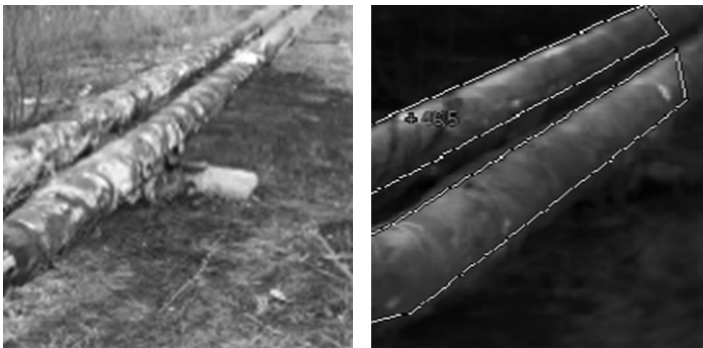


Рис. 1. Фактичний стан ізоляції трубопроводів теплотраси і термограма ділянки

В моделі використовуються фактичні параметри навколишнього повітря (температура, швидкість вітру). При підземному прокладанні трубопроводів проводиться розрахунок температури навколишнього повітря в каналі з урахуванням характеристик каналу і температури ґрунту.

Теплотраса звичайно складається з декількох ділянок. Падіння температури теплоносія на окремі ділянки трубопроводу буде визначатися так [3]

$$t_{Ti} = t_{Pi} + (t_{Ti-1} - t_{Pi}) \cdot e^{-\frac{K_{li} \cdot l_i}{G_i \cdot c_i}}, \quad (1)$$

де t_{Ti} і t_{Ti-1} – температури теплоносія на виході з поточної ділянки і на виході з попередньої ділянки;

t_{Pi} – температура навколишнього повітря на поточній ділянці;

G_i і c_i – витрата і теплоємність теплоносія на ділянці;

l_i – довжина ділянки з однаковим типом прокладання, типом ізоляції та її фактичним станом;

K_{li} – лінійний коефіцієнт теплопередачі на ділянці з урахуванням фактичного стану ізоляції

$$K_l = \frac{1}{\frac{1}{\pi \cdot d_B \cdot \alpha_B} + \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{ст}} \cdot \ln \frac{d_3}{d_B} + \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{i3}^{екв}} \cdot \ln \frac{d_{i3}}{d_3} + \frac{1}{\pi \cdot d_{i3} \cdot \alpha_3}}, \quad (2)$$

де d_B , d_3 і d_{i3} – діаметри відповідно усередині труби (внутрішній), зовні труби без ізоляції та труби з ізоляцією з урахуванням нормативної товщини її шару;

α_B і α_3 – коефіцієнти тепловіддачі усередині і зовні труби;

$\lambda_{ст}$ і $\lambda_{i3}^{екв}$ – теплопровідність стінки матеріалу труби та еквівалентна теплопровідність шару ізоляції з урахуванням його фактичного стану:

$$\lambda_{i3}^{екв} = K_\lambda \cdot \lambda_{i3}, \quad (3)$$

де λ_{i3} – вихідна теплопровідність ізоляції;

K_λ – коефіцієнт збільшення теплопровідності ізоляції.

Перші два члени в знаменнику формули (2) малі порівняно з двома останніми. Звичайно їх у практичних розрахунках не враховують.

Найбільші труднощі представляє визначення коефіцієнта K_λ . Для його визначення, крім дорогих випробувань виведених з роботи теплотрас за методикою з [2], можна скористатися ще двома розрахунково-експериментальними способами:

1) обстеження (енергетичний аудит) трубопроводів під час їхньої роботи з проведенням вимірів і тепловізійної зйомки (див. приклад на рис. 1). В цьому випадку крім коефіцієнтів тепловіддачі необхідна середньоінтегральна

температура поверхні ізоляції $t_{\text{пов}}^{\text{сер}}$ трубопроводу й інтегральна величина самої поверхні трубопроводу $F_{\text{пов}}$. Тоді середній коефіцієнт теплопередачі на ділянці буде:

$$K_l = \frac{\alpha_3 \cdot F_{\text{пов}} \cdot (t_{\text{пов}}^{\text{сер}} - t_3)}{l \cdot (t_{\text{в}} - t_3)}, \quad (4)$$

де $t_{\text{в}}$ і t_3 – середні температури води усередині труби і середовища зовні (для підземного каналного прокладання – температура повітря в каналі);

l – довжина ділянки.

Шуканий коефіцієнт K_λ виражається з формул (2) і (3).

2) розрахунки двовимірного чи тривимірного температурного стану шару ізоляції. В цьому випадку вирішується задача побудування поля температур на поверхні ділянки труби з ушкодженою ізоляцією розв'язанням диференціального рівняння теплопровідності [4] із граничними умовами третього роду всередині труби і на поверхні ізоляції, а також другого роду на границі ділянки

$$\frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial t}{\partial r} + \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 t}{\partial \phi^2} = 0. \quad (5)$$

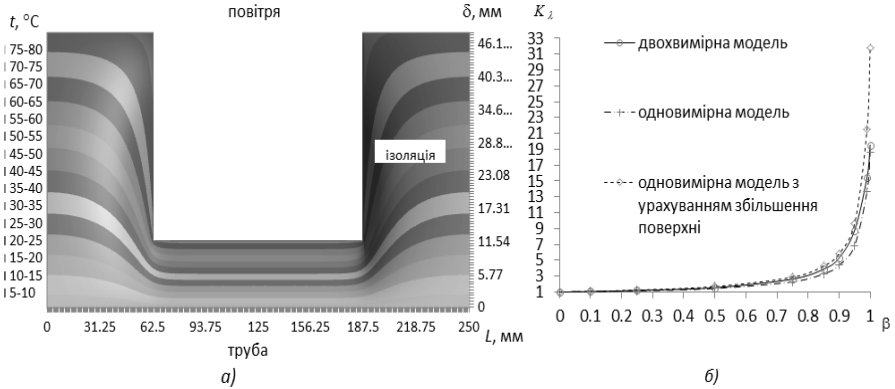
Для вирішення цієї задачі нами використовуються кінцево-різницеві методи з [4].

Результати досліджень. Приклад поля температур шару ізоляції труби $\varnothing 630$ мм у розрізі ушкодженої ділянки при відносній глибині ушкодження $\beta = 0,75$ від товщини шару приведений на рис. 2 а). Довжина ушкодження складає половину довжини ділянки. На рис. 2 б) показана залежність коефіцієнта збільшення теплопровідності ізоляції від відносної глибини ушкодження β .

Як видно з рис. 2 а) поле температур в області ушкодження ізоляції не є одномірним. Вплив роблять теплові потоки з бічних поверхонь ушкодження. З рис. 2 б) видно, що використання чисто одновимірної моделі (без врахування бічних поверхонь) дає занижені результати, а одновимірна модель, де бере участь уся поверхня, дає сильно завищені результати, особливо при ушкодженні повної товщини ізоляції.

Подібні дослідження можна провести для інших типорозмірів труб, інших граничних умов (внутрішніх і зовнішніх), іншого характеру ушкодження ізоляції. В результаті можна виявити найбільш впливаючі фактори і коректність застосування одновимірної моделі в тім чи іншому випадку ушкодження ізоляції.

Надалі можна створити список характерних ушкоджень і їхніх характеристик. Енергоаудитори, обстежуючи теплотрасу, виявляють характер ушкодження ізоляції на кожній ділянці. Далі за формулами (1)–(3), використовуючи коефіцієнти збільшення теплопровідності, розраховується падіння температури теплоносія на кожній ділянці і на теплотрасі в цілому. Потім визначається загальний тепловий потік, переданий у навколишнє середовище при транспортуванні теплоносія по теплотрасі.



- а) – поле температур шару ізоляції у перетині ($\beta = 0,75$);
 б) – збільшення теплопровідності шару ізоляції

Рис. 2. Приклад поля температур шару ізоляції в розрізі ушкодженої ділянки і залежність коефіцієнта збільшення теплопровідності ізоляції

Висновки. Розроблено методи і засоби, що дозволяють визначати фактичні теплові втрати через ізоляцію трубопроводів при транспортуванні теплоносія по теплотрасі від джерела генерації теплової енергії до споживача. Математичні моделі і методики враховують фактичний стан матеріалу шару ізоляції під час експлуатації трубопроводів. За допомогою їх можна оцінювати теплові втрати, а також їх прогнозувати, оцінювати ефективність систем теплопостачання і потенціал енергозбереження.

1. Половников В.Ю. Численный анализ тепловых потерь теплопроводов в условиях деформации и нарушения целостности слоя тепловой изоляции / В.Ю. Половников, Ю.Н. Рахимова // Теплофизические основы энергетических технологий: II Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием, 06 – 08 октября 2011 г. : сб. науч. трудов. – Томск : Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2011 – С. 296–300. 2. Методические указания по определению тепловых потерь в водяных и паровых тепловых сетях: РД 34.09.255 (МУ 34-70-080-84) – М. : – Союзтехэнерго. – 1985. – 72 с. 3. Соколов Е. Я. Теплофикация и тепловые сети / Соколов Е. Я. – М.– Л. : Госэнергоиздат, 1963. – 360 с. 4. Самарский А. А. Теория разностных схем / Самарский А. А. – М.: Наука, 1989. – 616 с.