

УДК 697.31

*А.М. ГАНЖА*, д-р техн. наук; проф. НТУ «ХП»;  
*Н.А. МАРЧЕНКО*, канд. техн. наук; доц. НТУ «ХП»;  
*В.М. ПІДКОПАЙ*, аспірант НТУ «ХП»

## **ОБҐРУНТУВАННЯ ВАРІАНТІВ РЕКОНСТРУКЦІЇ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ЖИТЛОВОГО МАСИВУ З ВИКОРИСТАННЯМ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВИХ ВТРАТ ПРИ ТРАНСПОРТУВАННІ ТЕПЛОНОСІЯ**

Побудовані методи і засоби визначення ефективності теплопостачання житлового масиву на основі системного математичного моделювання за допомогою яких зроблений аналіз варіантів модернізації і реконструкції з метою економії енергоресурсів та поліпшення якості і надійності теплопостачання. Показано і обґрунтовано, що існуюча схема теплопостачання повинна бути змінена з метою підвищення її ефективності та надійності. Результати розрахунків за допомогою розроблених методів і засобів є підставою для техніко-економічного обґрунтування відповідних проектів.

**Ключові слова:** система теплопостачання, теплові втрати, математичне моделювання, енергозбереження, енергоефективність.

**Вступ.** В даний час теплопостачання житлових масивів багатьох міст України здійснюється від великих джерел теплової енергії, які були побудовані у другій половині 20-го сторіччя. Транспортування теплоносія від джерел до мікрорайонів здійснюється по магістральних трубопроводах великого діаметру, теплова ізоляція трубопроводів має значне зношення, що обумовлює великі теплові втрати при постачанні теплової енергії до цих масивів. Великі відстані, на які транспортується теплоносій, обумовлюють і значні витрати електроенергії на транспортування і розподіл. Багато місцевих теплових мереж та внутрішніх мереж опалення підключені за залежною схемою, що знижує надійність та знижує якість теплопостачання.

Останнім часом багато споживачів відмовляються від централізованого теплопостачання, що зменшує потребу в постачанні теплової енергії та збільшує частку втрат теплової енергії.

**Постановка задачі та аналіз публікацій.** Джерела теплової енергії мають значну кількість обладнання, що відпрацювало свій ресурс та має великі питомі витрати палива і енергії. Тому велика увага приділяється підвищенню ефективності джерел теплової енергії з метою зниження питомих витрат палива та електроенергії. При цьому встановлюються нове енергоефективне обладнання в котельнях. У багатьох випадках старі зношені мережі залишаються, що практично зводить нанівець всі впроваджені заходи. При цьому велика частка виробленої теплової енергії втрачається при передачі по старих зношених теплотрасах і споживачі недоотримують теплову енергію.

Раціональним шляхом вирішення цієї проблеми є реконструкція системи теплопостачання з наближенням джерела енергії до споживачів або заміна зношених теплотрас на трубопроводи з сучасною тепловою ізоляцією. При цьому для обґрунтування запропонованих заходів необхідно визначати втрати в теплових мережах у вихідному і новому варіантах.

На практиці визначення як нормованих, так і фактичних втрат теплоти через ізоляцію трубопроводів теплотрас являє собою значну проблему. Легко вирішується ця проблема, якщо встановлено прилади обліку теплової енергії – відпустку на джерелі і

© А.М. Ганжа, Н.А. Марченко, В.М. Підкопай, 2013

споживання у всіх споживачів. Різниця між цими показаннями і покаже величину фактичних теплових втрат. Наводячи ці фактичні втрати до нормативних умов роботи теплової мережі можна отримати коефіцієнт збільшення нормативної щільності теплового потоку, а для практичних розрахунків – еквівалентний коефіцієнт збільшення теплопровідності ізоляції.

Однак, прилади обліку відпуску теплової енергії на котельних є не скрізь і не всі споживачі охоплені приладами обліку. Споживання теплової енергії в цьому випадку розраховується за проектним тепловим навантаженнями. Втрати теплової енергії розраховуються за допомогою методики [1], де враховуються коефіцієнти до нормативних втрат у результаті проведених випробувань. Випробування проводяться на певній ділянці теплової мережі, виведеній з роботи, і поширюються на всю мережу. Все це, як правило, призводить до неадекватного визначення втрат у теплових мережах. Тому обґрунтування варіантів реконструкції системи тепlopостачання житлового масиву з використанням математичного моделювання втрат теплоти при транспортуванні теплоносія по трубопроводам з урахуванням їх стану є актуальним завданням в енергозбереженні.

**Основна частина.** Для вирішення поставленого завдання розроблено математичну модель визначення поправок або коефіцієнтів збільшення нормативного теплового потоку з 1 м довжини труби, а також еквівалентних коефіцієнтів збільшення теплопровідності ізоляції  $K_\lambda$  з урахуванням її фактичного стану. Фактичний стан теплової ізоляції може бути визначено за результатами енергетичного аудиту та з допомогою термографічної зйомки по температурному полю поверхні ізоляції (див. приклад на рис. 1).

Другий варіант – це розрахунки двовимірного чи тривимірного температурного стану шару ізоляції. У цьому випадку зважається задача побудування поля температур на поверхні ділянки труби з ушкодженою ізоляцією вирішенням диференціального рівняння теплопровідності [3] із граничними умовами 3 роду усередині труби і на поверхні ізоляції, а також 2 роду на границі ділянки

$$\frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial t}{\partial r} + \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 t}{\partial \varphi^2} = 0.$$

Для вирішення цієї задачі нами використовуються кінцево-різницеві методи [2].

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

Далі проводиться обстеження теплотрас, де виявляється характер ушкодження ізоляції на кожній ділянці. Потім, використовуючи коефіцієнти  $K_\lambda$ , розраховується падіння температури теплоносія на кожній ділянці і на теплотрасі в цілому по формулам [3]

$$t_{\tau i} = t_{o i} + (t_{\tau i-1} - t_{o i}) \cdot e^{-\frac{K_\lambda \cdot l_i}{G_i \cdot c_i}},$$

де  $t_{\tau i}$  і  $t_{\tau i-1}$  – температури теплоносія на виході з поточного ділянки і на виході з попередньої ділянки;



Рис. 1 – Ділянка трубопроводу з пошкодженою теплоізоляцією (а) та її термограма (б)

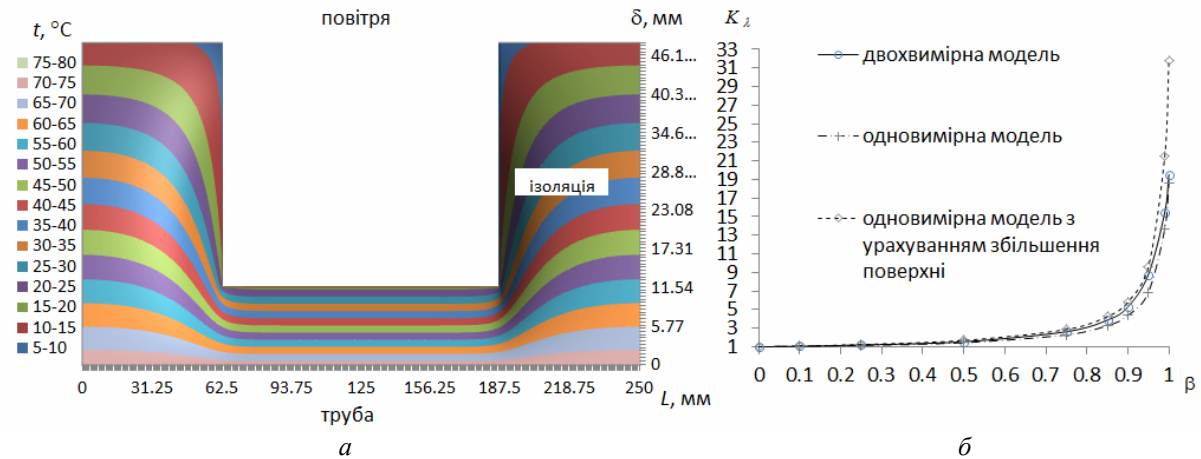


Рис. 2 – Приклад поля температур шару ізоляції у перетині ушкодженої ділянки і залежність коефіцієнта збільшення теплопровідності ізоляції:  
 а – поле температур шару ізоляції у перетині ( $\beta = 0,75$ );  
 б – збільшення теплопровідності шару ізоляції

$t_{oi}$  – 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, видом ізоляції і її фактичним станом;

$K_i$  – лінійний коефіцієнт теплопередачі на ділянці з урахуванням фактичної теплопровідності ізоляції (коефіцієнта  $K_\lambda$ ).

В підсумку по падінню температури теплоносія визначається загальний тепловий потік, переданий у навколишнє середовище при транспортуванні теплоносія по теплотрасі.

Розглянуто варіанти реконструкції системи тепlopостачання житлового масиву великого міста (див. рис. 1). Джерело тепlopостачання (котельня) розташоване за рівнем землі більш ніж на 70 м вище житлового мікрорайону. Між котельнею та мікрорайоном передбачена понижуюча насосна станція. Котельня і насосна станція знаходяться в експлуатації з 1960-х років. Проектом був передбачений технологічний

захист трубопроводів теплових мереж споживачів нижньої зони від неприпустимого підвищення тиску в них при гідроударі в результаті знеживлення (зупинки) мережних насосів насосної станції (установка скидних клапанів). Як показала практика експлуатації цієї системи, вона не є надійною. При аварійних перервах в електропостачанні насосної в опалювальному сезоні періодично мають місце гідроудари та ушкодження теплових мереж і змушені перерви в теплопостачанні споживачів.

З використанням створених методів і засобів математичного моделювання та вимог [4] зроблений порівняльний аналіз варіантів модернізації і реконструкції системи теплопостачання житлового масиву (див. рис. 3), і що наведений у табл.

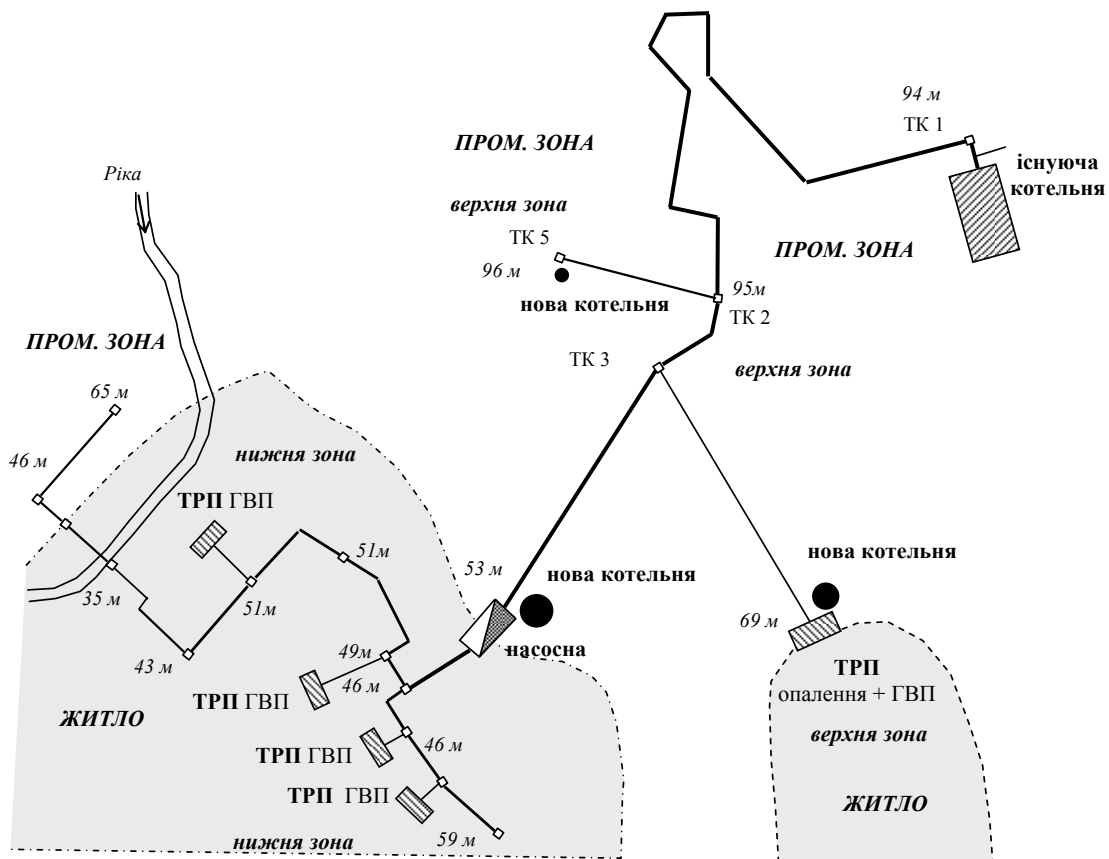


Рис. 3 – Схема теплопостачання житлового масиву і її реконструкція:  
ГВП – гаряче водопостачання; ТК – теплова камера; ТРП – теплорозподільчий пункт

Дані, що наведені у таблиці, дозволяють зробити такі висновки:

– у варіанті модернізації системи теплопостачання при збереженні існуючої структури заміна всіх магістральних трубопроводів на напередізольовані пінополіуретаном дасть зменшення теплових втрат на 30 відсотків. При цьому необхідно буде перекласти 17 км теплотрас;

– у варіанті реконструкції системи теплопостачання при побудові нових котельнь на місці насосної, ТРП верхньої зони і ТК 5 навіть без будь-якої заміни теплотрас нормовані теплові втрати зменшаться на 55 відсотків. При перекладанні залишившихся 7 км магістральних теплотрас нижньої зони ці втрати можна зменшити на 65 відсотків. Оціночне зменшення витрат електроенергії насосами системи транспортування теплової енергії магістральними теплотрасами ПЕР (паливно-

енергетичні ресурси) знижуються щонайменш на 40 відсотків (з 4,2 до 2,5 млн. кВт·год). У розрахунках зменшення витрат електроенергії враховувалось, що підкачувальні насоси в цій схемі не потрібні, на ТРП верхньої зони підкачувальні насоси можна використати в якості мережних, мережні насоси з котельні можна використати в якості мережних на новій котельні, що розташовується на місці насосної. Очевидно, що в цій схемі в якості мережних насосів можна використати більш нові насоси сучасних марок з меншими напорами, що призведе для ще більш суттєвого зменшення витрат електроенергії.

Таблиця

Результати аналізу варіантів

Варіант	Довжина теплотрас, що перекладаються, м	Нормовані річні втрати теплоти, Гкал			Процент заміни теплотрас %	Процент зменшення втрат, %	
		існуюча мережа		варіант заміни		вся мережа	нижня зона
		вся	нижня зона				
<b>1) Теплова мережа, що існує, залишається</b>							
Заміна мережі верхньої зони, що працює у опалювальний період	3802	48935	—	46254	9,7	5,5	—
Заміна мережі нижньої зони, що працює у опалювальний період	2917	48935	—	47380	7,5	3,2	—
Заміна мережі нижньої зони, що працює цілий рік	3792	48935	—	45691	9,7	6,6	—
Заміна всієї мережі нижньої зони	6709	48935	—	44137	17,2	9,8	—
Заміна мережі верхньої зони, що працює цілий рік	6233	48935	—	41614	16,0	15,0	—
Заміна всієї мережі верхньої зони	10035	48935	—	38933	25,7	20,4	—
Заміна всіх магістральних трубопроводів	16744	48935	—	34135	42,9	30,2	—
<b>2) Побудова нових котельні на місці насосної, ТРП верхньої зони і ТК 5</b>							
Без заміни трубопроводів	0	48935	21819	21819	0,0	55,4	0,0
Заміна мережі, що працює у опалювальний період	2917	48935	21819	20265	7,5	58,6	7,1
Заміна мережі, що працює цілий рік	3792	48935	21819	18576	9,7	62,0	14,9
Заміна всіх трубопроводів нижньої зони	6709	48935	21819	17021	17,2	65,2	22,0

**Виводи.** Таким чином, найбільш прийнятним варіантом є варіант реконструкції системи тепlopостачання при побудові нових котелень на місці насосної, ТРП верхньої зони і ТК 5. При цьому витрати електроенергії можна зменшити на 40 відсотків, теплові втрати – на 65 відсотків. Доцільність впровадження того чи іншого варіанту реконструкції покаже техніко-економічне обґрунтування відповідних проектів.

Побудовані методи і засоби визначення ефективності тепlopостачання житлового масиву на основі системного математичного моделювання за допомогою яких зроблений аналіз варіантів модернізації і реконструкції з метою економії енергоресурсів та поліпшення якості і надійності тепlopостачання. Показано і обґрунтовано, що існуюча схема тепlopостачання повинна бути змінена з метою підвищення її ефективності та надійності. Результати розрахунків за допомогою розроблених методів і засобів є підставою для техніко-економічного обґрунтування відповідних проектів. Створені методи і засоби можуть бути застосовані і для інших систем тепlopостачання.

**Список літератури:** 1. Методические указания по определению тепловых потерь в водяных и паровых тепловых сетях [Текст]: РД 34.09.255 (МУ 34-70-080-84). – М.: – Союзтехэнерго. – 1985. – 72 с. 2. Самарский, А.А. Теория разностных схем [Текст] / А.А. Самарский. – М.: Наука, 1989. – 616 с. 3. Соколов, Е.Я. Теплофикация и тепловые сети [Текст] / Е.Я. Соколов. – М.–Л.: Госэнергоиздат, 1963. – 360 с. 4. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов [Текст]: СНиП 2.04.14-88. – Официальное издание. – М.: Госстрой СССР, 1989. – 22 с.

*Поступила в редколлегию 09.01.13*

УДК 697.31

**Обґрунтування варіантів реконструкції системи тепlopостачання житлового масиву з використанням математичного моделювання теплових втрат при транспортуванні теплоносія** [Текст] / А.М. Ганжа, Н.А. Марченко, В.М. Підкопай // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Х.: НТУ «ХПІ», 2013. – № 13(987). – С. 104-109. – Бібліогр.: 4 назв. – ISSN 2078-774X.

Созданы методы и средства определения эффективности теплоснабжения жилого массива на основе системного математического моделирования, с помощью которых сделан анализ вариантов модернизации и реконструкции с целью экономии энергоресурсов и улучшения качества и надежности теплоснабжения. Показано и обосновано, что существующая схема теплоснабжения должна быть изменена с целью повышения ее эффективности и надежности. Результаты расчетов с помощью разработанных методов и средств являются основанием для технико-экономического обоснования соответствующих проектов.

**Ключевые слова:** система теплоснабжения, тепловые потери, математическое моделирование, энергосбережение, энергоэффективность.

The methods and tools for determining the efficiency of heat supply of housing estate on the basis of mathematical modeling of the system by which an analysis is made of upgrade and renovation in order to save energy and improve the quality and reliability of heat supply are making. Shown and proved that the existing district heating scheme should be changed in order to improve its efficiency and reliability. The results of calculations using the developed methods and tools are the basis for a feasibility study of relevant projects.

**Keywords:** heating system, heat losses, mathematical modeling, energy conservation, energy efficiency.