

А.А. Маліновський, д-р техн. наук, професор,
В.Г. Турковський, канд. техн. наук, доцент, А.З. Музичак
Національний університет «Львівська політехніка»

ЕФЕКТИВНА РЕКОНСТРУКЦІЯ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ У ПРАКТИЦІ МІСЬКОГО ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПЛАНУВАННЯ

У міському енергетичному плануванні значну увагу звертають на підвищення ефективності роботи міських систем теплопостачання і їх розвиток. Одним із заходів зменшення енергетичних і фінансових затрат підприємств і покращення якості теплозабезпечення абонентів в умовах України є реконструкція теплових вводів із заміною елеваторних вузлів на підмішувальні помпи чи теплообмінники. Процес заміни неможливо виконати в усіх абонентів за літній сезон, його слід виконувати поетапно починаючи з гідравлічно найбільш віддалених абонентів за критерієм гідравлічного радіусу. Після завершення кожного етапу необхідна оптимізація гідравлічного та теплового режимів системи теплопостачання. Лише так можна отримати вигоди від переобладнання теплових вводів не лише після повного завершення реконструкції, а й після виконання кожного етапу. Обидва завдання неможливо виконати без належного математичного апарату та програмного забезпечення.

Ключові слова: міське енергетичне планування, тепловий ввід, тепла мережа, гідравлічний радіус, реконструкція, гідравлічний режим.

Вступ. Практика міського енергетичного планування прийшла в Україну в рамках проекту «Реформа міського теплопостачання» за сприяння Агентства США з міжнародного розвитку USAID у 2010 році. Спочатку її було апробовано в 5 пілотних містах (Львів, Миргород, Краматорськ, Луцьк, Євпаторія), а в наступні роки – в інших містах України.

Міське енергетичне планування спрямоване на розвиток та підвищення енергоефективності усіх енергетичних складових систем життєзабезпечення міста, зокрема на системи тепло-, водо-, газопостачання, вуличного освітлення, а також транспорту. Проте ключовим об'єктом є міська система теплозабезпечення, до якої входять комунальні теплопостачальні організації та тепломережі, а також головні споживачі – житлові будівлі та будівлі бюджетної сфери.

Незважаючи на численні переваги систем централізованого теплопостачання над індивідуальними системами теплозабезпечення [1], теплопостачальні організації в умовах ринкової економіки опинилися у вкрай скрутному становищі. В умовах, що склалися, безальтернативним напрямом їх розвитку є впровадження енергоощадних заходів та підвищення енергоефективності.

Питання підвищення енергоефективності систем централізованого теплопостачання на початку цього року знову постало у всій гостроті, зокрема через підвищення цін на енергоресурси [2] внаслідок загострення відносин з Російською федерацією.

Зважаючи на метало- та капіталомісткість систем централізованого теплопостачання підхід до впровадження енергоощадних заходів повинен бути виваженим та системним: включати як швидкоокупні енергоощадні заходи так і заходи, впровадження яких розраховане не на один рік.

Мета та завдання

В основі міського енергетичного планування лежить Спільна рамкова методологія, розроблена центром енергетичної ефективності ЕнЕфект в рамках проекту Європейської комісії «Model» (2007-2010) [3]. Спільна рамкова методологія містить ряд фундаментальних принципів, проте кожній країні надано широкі можливості для внесення конкретних змін та доповнень відповідно до місцевих умов.

Системам централізованого теплопостачання України властиві такі особливості, як організаційного характеру:

наявність «перехресного субсидіювання», що ставить у наперед не вигідні умови теплопостачальні організації відносно індивідуальних систем теплозабезпечення;

практично монопаливний баланс та залежність від імпортованого природного газу, що загрожує енергетичній та економічній безпеці як окремих міст так і держави в цілому;

так і технічного характеру:

залежна схема приєднання абонентів до теплової мережі через елеваторні вузли;

так зване якісне регулювання відпуску теплоносія абонентам та відсутність можливості регулювання обсягу теплоспоживання з боку абонентів.

Стосовно цих особливостей в [4] розглянуто систему енергоощадних заходів, які дозволять покращити стан теплопостачальних організацій в сучасних умовах та допомогти їм успішно розвиватись у майбутньому. Система заходів впорядкована за пріоритетом як з точки зору теплопостачальних організацій так і з точки зору абонентів.

Одне із найскладніших завдань – проблема «перехресного субсидіювання» – потрохи вирішується. Уряд почав виконувати зобов'язання підняти ціни на газ для населення до економічно обґрунтованого рівня [5], яке він взяв перед Міжнародним валютним фондом.

Іншим складним завданням, важливим як з точки зору теплопостачальних організацій так і абонентів, є реконструкція теплових вводів абонентів [4], яка передбачає заміну елеваторних вузлів на підмішувальні помпи чи теплообмінники (влаштування індивідуальних теплових пунктів). Заключною складовою цього завдання є оптимізація гідравлічного та теплового режимів системи централізованого теплопостачання.

Вирішення цього завдання дасть абонентам можливість регулювати обсяги теплоспоживання, а отже підвищити у домівках рівень теплового комфорту та заощаджувати кошти.

Теплопостачальним організаціям це дозволить зменшити витрати електричної енергії на транспортування теплоносія, видатки на які складають біля 12% усіх витрат на енергоресурси [6]. Оскільки витрати на енергоресурси складають 60-70% загальних витрат теплопостачальних організацій [6], мова йде не лише про підвищення їх енергоефективності, а й про значне заощадження коштів. Внаслідок зменшення тисків у вузлах мережі крім заощадження електричної енергії зменшуються витрати теплоносія з мережі та підвищується надійність мережі.

Очевидно, що переобладнання теплових вводів усіх абонентів теплової мережі неможливо здійснити за один літній сезон, а тому його необхідно виконувати поетапно. Якщо ці роботи виконувати системно, то вигреш від переобладнання теплових вводів підприємство теплопостачання отримає не лише після повного завершення робіт, а й після виконання кожного етапу.

Для цього необхідні критерії визначення черговості реконструкції теплових вводів абонентів. Важливо оптимізувати гідравлічний і тепловий режими після кожного етапу реконструкції. Це вимагає сучасного математичного апарату аналізу розгалужених систем теплопостачання та відповідного програмного забезпечення.

Матеріал і результати досліджень

Заміна елеваторного вузла на підмішувальні помпи чи теплообмінники дозволяє застосовувати сучасне енергоощадне автоматизоване регулювання теплоспоживання як з врахуванням погодних факторів так і теплогідравлічних характеристик будівель абонентів. Однак, для того, щоб така заміна давала максимальний ефект, як для абонентів, так і для теплопостачальних організацій, процес модернізації повинен бути поетапним та включати визначення черговості реконструкції та подальшу оптимізацію гідравлічних і теплових режимів.

Реконструкцію слід починати у гідравлічно найбільш віддалених абонентів. Тоді підприємство може знизити розрахунковий тиск на виході з котельні й, відповідно, зменшити витрати електроенергії на транспортування теплоносія.

Як кількісний критерій гідравлічної віддаленості абонента пропонується значення гідравлічного радіусу, яке включає різницю тисків між вузлами абонента та джерела, і проектні втрати тиску в мережі абонента. Гідравлічний радіус не відповідає геометричній віддаленості абонента від джерела, абоненти можуть бути рівновіддалені від джерела та мати при цьому різний гідравлічний радіус.

Покажемо це на прикладі. На рис. 1 наведено план теплової мережі котельні мікрорайону, на якому нанесені кола віддаленості абонентів від джерела та їх гідравлічні радіуси. Так, наприклад, споживачі 1, 2, і 3 знаходяться на фактичній відстані від центра живлення, відповідно, r_1 , r_2 і r_3 , а у гідравлічному відношенні – на R_1 , R_2 і R_3 .

Робота з реконструкції теплових вводів повинна спочатку виконуватись у споживачів, які розташовані в межах кола з найбільшим гідравлічним радіусом. Лише після повної заміни вузлів у споживачів зовнішнього кола варто переходити до модернізації вводів абонентів, які перебувають у внутрішньому колі. Це дозволяє отримати максимальний вигреш для теплопостачальної організації.

Стосовно абонентів, показаних на рис. 1, спочатку необхідно замінити обладнання теплових вводів абонентів 1 і 3, й лише на наступному етапі – абонента 2.

Будь-які зміни в одній частині мережі, впливають на гідравлічний режим мережі в цілому. Особливо це стосується тих абонентів з нерегульованими вводами, у яких все ще залишаються старі теплові вводи на базі елеваторних вузлів. Тому після завершення реконструкції теплових вводів абонентів в межах зовнішнього гідравлічного кола, необхідна оптимізація гідравлічного режиму усієї системи теплопостачання. З одного боку це забезпечить бажаний тепловий режим в усіх абонентів мережі, а з іншого боку – дозволить зменшити витрати електричної енергії.

Задачі визначення черговості реконструкції та оптимізації режимів є складними інженерними задачами, кожна з яких вимагає свого математичного апарату та програмного забезпечення.

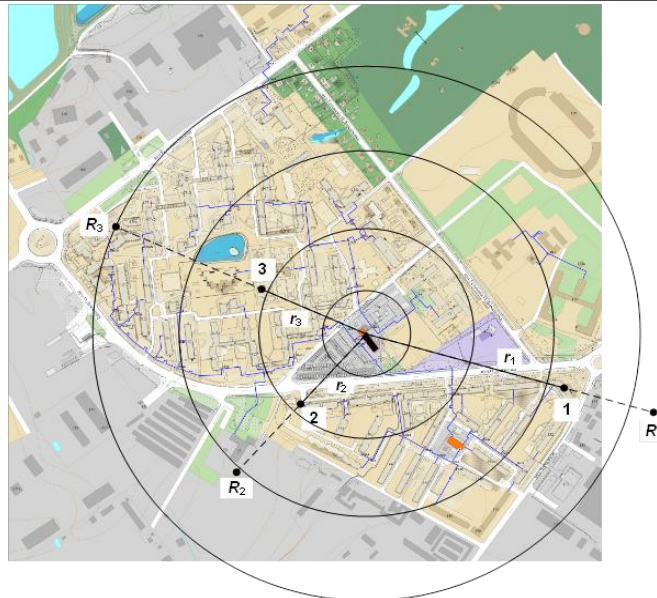


Рис. 1. Гідравлічна віддаленість споживачів котельні

Сучасним інструментом аналізу інженерних мереж, зокрема систем централізованого теплопостачання, є теорія гідравлічних кіл (ТГК) [7]. Вона базується на законах Кірхгофа, які органічно враховують мережний характер задач гідравлічного розрахунку. Рівняння стану мережі в матрично-векторній формі має вигляд:

$$\begin{cases} \vec{A}\vec{x} = \vec{G}, \\ \vec{B}\vec{y} = 0, \\ \vec{y} = \rho g \vec{H} - \Delta \vec{p}_m, \end{cases} \quad (1)$$

де \mathbf{A} , \mathbf{B} – перша та друга матриці інциденцій; \vec{x} , \vec{y} – вектори витрат теплоносія та перепадів тиску у вітках; \vec{G} – вектор витрат теплоносія у вузлах; \vec{H} , $\Delta \vec{p}_m$ – вектори діючих напорів та втрат тиску на тертя у вітках; ρ – матриця густин теплоносія у вітках мережі.

Під час побудови математичного графу мережі розрізняють елементи трьох типів: активні джерела, лінії зв'язку (трубопроводи) і навантаження (абоненти). Залежно від представлення останніх можна отримати математичний граф різного рівня складності.

У найпростішому варіанті абоненти задають як термінальні вузли з проектними витратами (з так званим фіксованим відбором, незалежним від змін тиску у вузлі), в (1) вони відображені складовою \vec{G} . За такого підходу не відтворюються параметри абонентів, тобто не враховується певна частина інформації про інженерну мережу. Граф відтворює лише структуру мережі, однак цього достатньо для обчислення гідравлічних радіусів абонентів.

Як приклад розглянемо систему теплопостачання з одним джерелом (a) та чотирма абонентами (b, c, d, e). Схема системи теплопостачання наведена на рис. 2 (цифрамі 1-8 позначено трубопроводи теплової мережі, великими латинськими літерами – вузли системи).

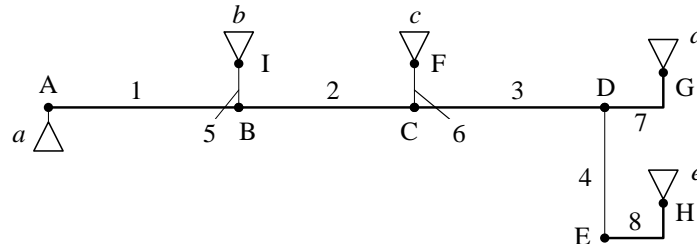


Рис.2 Схема системи теплопостачання з чотирма абонентами

Однолінійний граф такої мережі наведено на рис. 3. На рисунку ребра 1-8 відповідають трубопроводам подавальної мережі системи теплопостачання, а ребро 0 – обладнанню джерела теплової енергії, основним елементом гідравлічного контуру якого є циркуляційна pompa.

Такий граф орієнтований на аналіз проектного режиму системи тепlopостачання, зокрема складові вектора витрат теплоносія у вузлах абонентів \vec{G} визначаються як

$$G = \frac{Q_{AB}}{c(T_1 - T_2)}, \quad (2)$$

де Q_{AB} – проектне теплове навантаження абонента; T_1/T_2 – температурний графік мережі; c – теплоємність теплоносія.

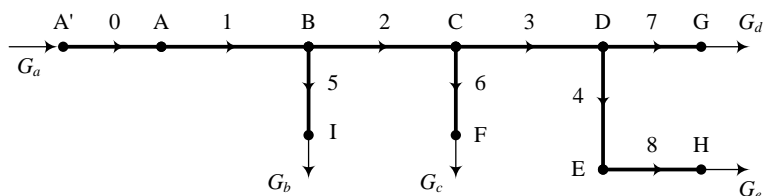


Рис.3 Однолінійний граф системи тепlopостачання за рис. 2

Результатом розрахунку системи рівнянь (1) для графу, наведеного на рис. 3, є витрати теплоносія у вітках теплової мережі \vec{x} , які відповідають проектним витратам теплоносія абонентів, а також втрати тиску у трубопроводах \vec{y} за цих витрат.

Гідравлічний радіус (гідравлічна віддаленість) абонента – це сума проектних втрат тиску в мережі абонента та різниці тисків вузла на виході джерела відносно вузла абонента

$$R_i = \Delta p_{ab,i} + (P_0 - P_j), \quad (3)$$

де $\Delta p_{ab,i}$ – проектні втрати тиску в мережі i -го абонента; P_j – тиск у j -му вузлі на ввіді i -го абонента; P_0 – тиск у вузлі на виході джерела.

Тиски всіх вузлів мережі після розв'язання системи рівнянь (1) визначають за формулою

$$\vec{P} = eP_m + \mathbf{R}_o \vec{y}_o, \quad (4)$$

де e – одиничний вектор розмірності $(q-1)$; q – кількість вузлів мережі; P_m – п'єзометричний тиск у базовому вузлі мережі; \mathbf{R}_o – матриця шляхів; \vec{y}_o – вектор перепадів тисків віток дерева – є частиною вектора перепадів тиску у вітках \vec{y} .

Так для абонента d гідравлічний радіус буде рівний проектним втратам тиску в його мережі та різниці тисків у вузлах A і G

$$R_d = \Delta p_{ab,d} + (P_A - P_G).$$

Однолінійний граф придатний для вирішення задачі визначення гідравлічної віддаленості абонентів. Однак він не придатний для оптимізації гідравлічного режиму системи тепlopостачання. Для режимних задач необхідно відобразити «кругообіг» середовища в системі та врахувати усі її елементи. Для цього в заступну схему вводять вітки, що відповідають активним джерелам та абонентам мережі.

Дволінійний граф системи тепlopостачання за рис. 2 має вигляд, наведений на рис. 4. На рисунку ребро 0 відповідає джерелу, ребра 1-8, 1'-8' – відповідно подавальним та зворотним трубопроводам теплової мережі, ребра 9-20 – обладнання теплових пунктів та абонентів [8].

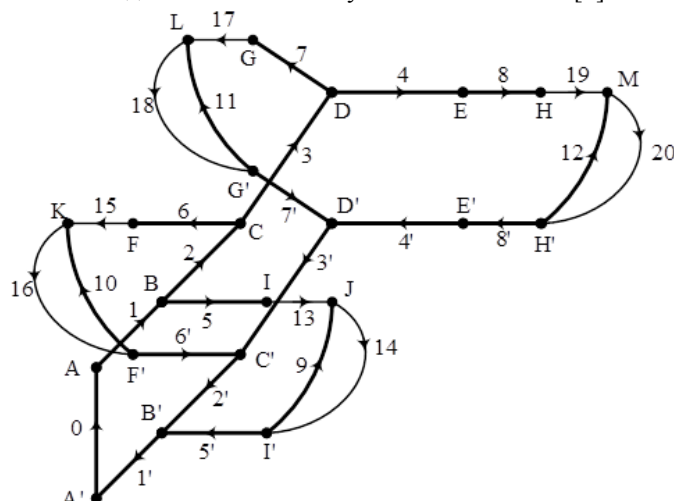


Рис.4 Дволінійний граф системи тепlopостачання за рис. 2

Система централізованого теплопостачання, представлена дволінійним графом, також описується системою рівнянь стану (1). Проте алгоритм розрахунку тут кардинально інакший, оскільки метою є аналіз непроектного гідравлічного режиму та його оптимізація. Зокрема однією з цілей є розрахунок параметрів ввідного обладнання з метою забезпечення мінімуму витрат електричної енергії на транспортування теплоносія, але за умови забезпечення бажаного теплового комфорту абонентів.

Методика розрахунку містить подвійні цикли ітерацій: на внутрішньому циклі для зафіксованих змінних параметрів ділянок системи визначається потекорозподіл теплоносія [8]. На зовнішньому циклі за результатами внутрішнього уточнюються значення раніше зафіксованих параметрів (діаметр сопла елеваторного вузла, діаметр дросельної шайби), після чого здійснюється черговий внутрішній цикл.

Очевидно, що подібні розрахунки неможливо виконувати вручну. Авторами було використано їхню програму «Гідравлічні режими» [4], за допомогою якої можна аналізувати гідравлічні режими системи теплопостачання в цілому. Програма дозволяє розраховувати режими як за приєднання абонентів через елеваторні вузли, так і через теплові пункти з підмішувальними помпами чи теплообмінниками.

Приклад модернізації теплових вводів

Розглянемо систему теплопостачання, схема якої наведена на рис. 2. Температурний графік теплової мережі $T_1/T_2=130/70^\circ\text{C}$, мережі абонента $t_z/t_x=95/70^\circ\text{C}$.

Будівлі усіх чотирьох абонентів системи теплопостачання однакові. Параметри будівлі абонента: кількість поверхів – 5, будівельний об'єм – 21020 м^3 , опалювальна площа – $4377,8 \text{ м}^2$, кількість під'їздів – 6. Проектне теплове навантаження абонента – $Q_{AB}=0,324 \text{ Гкал/год}=3,768 \cdot 10^5 \text{ Вт}$, проектні втрати тиску в мережі будівлі за проектних витрат теплоносія – $\Delta p_{AB}=18,22 \text{ кПа}$.

На першому етапі визначаємо гідравлічний радіус кожного абонента. Для цього спочатку за (2) визначаємо проектні витрати теплоносія в мережі абонента

$$x_{AB} = \frac{Q_{AB}}{c(t_z - t_x)} = \frac{3,768 \cdot 10^5}{4,214 \cdot 10^3(95 - 70)} = 3,577 \text{ кг/с},$$

де $c=4,214 \cdot 10^3 \text{ Дж/(кг}\cdot^\circ\text{C)}$ – питома теплоємність води за температури 95°C .

Далі необхідно визначити відбір теплоносія із теплової мережі. Згідно з прийнятими температурними графіками коефіцієнт підмішування теплоносія зі зворотного трубопроводу повинен становити

$$u = \frac{T_1 - t_z}{t_z - t_x} = \frac{130 - 95}{95 - 70} = 1,4, \quad (5)$$

а обсяги відбору теплоносія з подавального трубопроводу теплової мережі

$$x_{аб.м} = \frac{x_{AB}}{1 + u} = \frac{3,577}{1 + 1,4} = 1,49 \text{ кг/с}. \quad (6)$$

Саме ці значення витрат теплоносія будуть складовими вектора \vec{G} у системі рівнянь (1). Наступним кроком є розв'язання системи рівнянь (1) та визначення гідравлічних радіусів абонентів за (3)-(4). Результати розрахунку наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Розрахункові параметри ввідного обладнання

Абоненти	r , м	x , кг/год	Δp_{AB} , кПа	P , кПа	P_0 , кПа	R , кПа
<i>b</i>	45	1,49	18,22	394,16	402,55	26,61
<i>c</i>	155			371,05		49,72
<i>d</i>	245			349,72		71,05
<i>e</i>	355			326,37		94,40

Як видно з табл. 1 для наведеної у прикладі системи теплопостачання гідравлічна віддаленість абонентів відповідає їх геометричній віддаленості: гідравлічно найбільш віддаленим є абонент *e*, а найближчим у гідравлічному відношенні є абонент *b*.

На другому етапі оцінимо можливі заощадження електричної енергії після заміни елеваторних вузлів в абонентів на теплові пункти з підмішувальними помпами.

Як базовий розглянемо варіант приєднання усіх абонентів до теплової мережі через елеваторні вузли.

Згідно з [8] діаметр сопла елеваторного вузла d_c визначаємо виходячи з бажаного коефіцієнту змішування, а надлишковий напір перед елеваторним вузлом гасимо дросельною шайбою (діаметр дросельної шайби d_w). Результати розрахунку параметрів ввідного обладнання для кожного абонента наведено в табл. 2. Там же наведені деякі параметри режиму дросельовальної арматури (втрати тиску на дросельній шайбі Δp_w), циркуляційної помпи котельні (діючий напір помпи h_n , витрати теплоносія через помпу x , її коефіцієнт корисної дії η_n), та привідного двигуна (потужність двигуна $P_{ад}$).

Таблиця 2

Розрахункові параметри ввідного обладнання абонентів та котельні

Елементи СЦТП	d_c/d_{us} , мм	Δp_{us} , кПа	h_n , мвс	x , кг/год	η_n , %	P_{ad} , кВт
<i>b</i>	11,3/11,8	134,3	–	–	–	–
<i>c</i>	11,3/13,1	88,9	–	–	–	–
<i>d</i>	11,3/15,4	46,8	–	–	–	–
<i>e</i>	11,3/–	–	–	–	–	–
котельня	–/–	–	26,06	21,45	63	2,75

Потужність привідного двигуна циркуляційної помпи визначено згідно формули

$$P_{ad} = \frac{x \cdot h_n}{367 \rho \eta_n \eta_{ad}}, \quad (7)$$

де x – витрати теплоносія через циркуляційну помпу, кг/год; h_n – напір помпи, мвс; ρ – густина теплоносія, кг/м³; η_n – ККД помпи; η_{ad} – ККД привідного двигуна (прийнято $\eta_{ad} = 0,88$).

Виконаємо аналогічні розрахунки у випадку заміни у частини абонентів (чи у всіх) елеваторного вузла на тепловий пункт з підмішувальними помпами (ККД підмішувальної помпи 34%). В таких теплових пунктах надлишок тиску (Δp_{pm}) гаситься регулятором теплового потоку.

Відповідно до даних табл. 1 заміну елеваторного вузла спочатку необхідно виконати для абонента *e* (найdaleший у гідравлічному відношенні), далі в абонента *d*, потім в абонента *c* й на завершення в абонента *b* (найближчий у гідравлічному відношенні).

Результати розрахунку параметрів дроселювальної апаратури та потужності привідного двигуна наведено в табл. 3.

Таблиця 3

Параметри режиму після реконструкції теплових вводів

Елемент СЦТП	абоненти, у яких елеваторні вузли замінено на теплові пункти з підмішувальними помпами							
	<i>e</i>		<i>e, d</i>		<i>e, d, c</i>		<i>e, d, c, b</i>	
	$\Delta p_{us}/\Delta p_{pm}$ кПа	P_{ad} , кВт	$\Delta p_{us}/\Delta p_{pm}$ кПа	P_{ad} , кВт	$\Delta p_{us}/\Delta p_{pm}$ кПа	P_{ad} , кВт	$\Delta p_{us}/\Delta p_{pm}$ кПа	P_{ad} , кВт
<i>b</i>	88,7/–	–	46,5/–	–	28,9/–	–	–/134,2	0,206
<i>c</i>	43,3/–	–	–/–	–	–/88,1	0,206	–/88,1	0,206
<i>d</i>	–/–	–	–/64,3	0,206	–/46,7	0,206	–/46,7	0,206
<i>e</i>	–/61	0,206	–/18,8	0,206	–/–	0,206	–/–	0,206
котельня	–/–	2,25	–/–	1,8	–/–	1,61	–/–	1,61

Оцінимо витрати електричної енергії та коштів в базовому та чотирьох варіантах реконструкції. Витрати електричної енергії визначаємо за формулою

$$W_{el} = P_{ad} N_{on} 24, \quad (8)$$

де $N_{on} = 191$ – тривалість опалюваного сезону, діб.

Також оцінимо витрати коштів на оплату електричної енергії. Тариф на електричну енергію для теплостачальних організацій нині складає 97,33 коп/кВт·год, а для населення – 36,48 коп/кВт·год (споживання електричної енергії підмішувальними помпами оплачують абоненти). Результати розрахунку наведено в табл. 4.

Таблиця 4

Витрати електричної енергії та коштів (планова реконструкція теплових вводів)

Елемент СЦТП	усі абоненти прислані через елеваторні вузли		абоненти, у яких елеваторні вузли замінено на теплові пункти з підмішувальними помпами							
			<i>e</i>		<i>e, d</i>		<i>e, d, c</i>		<i>e, d, c, b</i>	
	W_{el} , кВт·год	<i>B</i> , тис. грн	W_{el} , кВт·год	<i>B</i> , тис. грн	W_{el} , кВт·год	<i>B</i> , тис. грн	W_{el} , кВт·год	<i>B</i> , тис. грн	W_{el} , кВт·год	<i>B</i> , тис. грн
<i>b</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	943	0,34
<i>c</i>	–	–	–	–	–	–	943	0,34	943	0,34
<i>d</i>	–	–	–	–	943	0,34	943	0,34	943	0,34
<i>e</i>	–	–	943	0,34	943	0,34	943	0,34	943	0,34
котельня	12599	12,26	10351	10,08	8271	8,05	7403	7,21	7403	7,21
разом	12599	12,26	11295	10,42	10157	8,73	10232	8,23	11175	8,57

З табл. 4 видно, що після заміни елеваторних вузлів на теплові пункти з підмішувальними помпами в абонентів та після переналадження гідравлічного режиму теплової мережі, споживання електричної енергії зменшується. Так після модернізації теплового вводу абонента *e*, зменшення витрат електричної енергії циркуляційною помпою не лише компенсує споживання електричної енергії приводом підмішувальної помпи абонента, а й дає додаткові заощадження. Таким чином досягається заощадження коштів вже після завершення першого етапу реконструкції теплових вводів абонентів.

Це справедливо для наступних етапів, але до реконструкції тих абонентів, гідравлічний радіус яких менший від втрат тиску в мережі до найвіддаленіших абонентів. Після заміни елеваторних вузлів у таких абонентів уже нема можливості зменшувати тиск на виході котельні. У такому випадку витрати електричної енергії циркуляційною помпою залишаються незмінними (досягнуто мінімуму споживання електричної енергії для даної конфігурації теплової мережі), а споживання електричної енергії помпами встановленими в теплових вузлах абонентів дещо зростає. Проте загальні витрати електричної енергії будуть меншими, ніж витрати електричної енергії за приднання усіх абонентів через елеваторні вузли.

Розглянемо, як змінюватимуться витрати електричної енергії та коштів на її оплату у випадку кардинально неправильного порядку реконструкції теплових вводів абонентів: коли спочатку реконструюється тепловий ввід абонента *b* (найближчий у гідравлічному відношенні абонент), потім абонента *c*, далі абонента *d* й лише в кінці абонента *e* (гідравлічно найвіддаленіший абонент). Результати розрахунку наведено в табл. 5.

Таблиця 5

Витрати електричної енергії та коштів (неправильна реконструкція теплових вводів)

Елемент СЦТП	усі абоненти присьдані через елеваторні вузли		абоненти, у яких елеваторні вузли замінено на теплові пункти з підмішувальними помпами							
			<i>b</i>		<i>b, c</i>		<i>b, c, d</i>		<i>b, c, d, e</i>	
	W_{el} , кВт·год	<i>B</i> , тис. грн.	W_{el} , кВт·год	<i>B</i> , тис. грн.	W_{el} , кВт·год	<i>B</i> , тис. грн.	W_{el} , кВт·год	<i>B</i> , тис. грн.	W_{el} , кВт·год	<i>B</i> , тис. грн.
<i>b</i>	–	–	943	0,34	943	0,34	943	0,34	943	0,34
<i>c</i>	–	–	–	–	943	0,34	943	0,34	943	0,34
<i>d</i>	–	–	–	–	–	–	943	0,34	943	0,34
<i>e</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	943	0,34
котельня	12599	12,26	12599	12,26	12599	12,26	12599	12,26	7403	7,21
разом	12599	12,26	13542	12,60	14485	12,94	15428	13,28	11175	8,57

З табл. 5 видно, що після заміни елеваторного вузла на тепловий пункт з підмішувальними помпами в абонента *b*, споживання електричної енергії циркуляційною помпою залишається незмінним, а в цілому, з врахуванням споживання електричної енергії підмішувальними помпами, навіть зростають. Й лише після заміни елеваторних вузлів в усіх абонентів, з'являється можливість зменшити тиск на виході котельні та отримати заощадження електричної енергії.

Висновки

Мінімізацію енергетичних і фінансових затрат підприємств і покращення якості теплозабезпечення абонентів в умовах України забезпечує реконструкція теплових вводів та заміна елеваторних вузлів на підмішувальні помпи чи теплообмінники. Процес реконструкції теплових вводів абонентів повинен бути поетапним, починаючи від гідравлічно найвіддаленіших абонентів. Такий підхід дозволяє планувати розвиток теплопостачальних організацій на кілька років наперед та отримувати від цього максимальні дивіденди як для окремих абонентів так і для підприємства в цілому.

Планування подальшого розвитку систем централізованого теплопостачання в сучасних умовах неможливе без використання комп'ютерної техніки та спеціалізованого програмного забезпечення.

Список літератури

1. Маліновський А.А. Децентралізоване теплопостачання – альтернатива чи хибний шлях / А.А. Маліновський, В.Г. Турковський, А.З. Музичак // Проблеми загальної енергетики. Науковий збірник Інституту загальної енергетики Національної академії наук України. – 2011. – №4(27). – С.53-56.

2. НКРЕ зрівняла ціни на газ для промисловості і бюджетників, підвищивши їх з 1 квітня на 29% і 64% [Електронний ресурс] // Дзеркало тижня. – 31.03.2014. – Режим доступу до вид.: http://dt.ua/economics/nkre-zrivnyala-cini-na-gaz-dlya-promislovosti-i-byudzhethnikiv-pidvischivshi-yih-z-1-kvitnya-na-29-i-64-140725_.html – Назва з екрану.

3. Municipal energy planning – guide for municipal decision-makers and experts – Sofia: EnEffect, 2004 – 98 p.

4. Malinowski A. Stosowanie kompleksów programowych do planowania energetycznego w miastach Ukrainy / Antoni Malinowski, Włodzimierz Turkowski, Andrzej Muzyczak // Czasopismo techniczne Politechniki Krakowskiej. – 2012. – 2-B. – P.273-280.

5. Ціни на газ для населення піднімуть удвічі, але за три роки [Електронний ресурс] // Дзеркало тижня. – 18.04.2014. – Режим доступу до вид.: http://dt.ua/economics/cini-na-gaz-dlya-naseleण्या-pidnimut-udvichi-ale-za-tri-roki-141921_.html – Назва з екрану.

6. Експрес-оцінка систем теплопостачання м. Львів та розробка інвестиційного проекту їх оснащення теплорегулюючим обладнанням та засобами обліку теплової енергії – Харків, 2010. – 274 с. – (Препринт / ПЕФ «ОптимЕнерго»).

7. Новицкий Н.Н. Гидравлические цепи. Развитие теории и приложения / Н.Н. Новицкий, Е.В. Сеннова, М.Г. Сухарев и др. – Новосибирск: Наука, Сибирская издательская фирма РАН, – 2000. – 273 с.

8. Маліновський А.А. Методика аналізу та вдосконалення режимів систем централізованого теплопостачання із залежним приєднанням абонентів / А.А. Маліновський, В.Г. Турковський, А.З. Муzychак // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2014. – №1. – с.85-91.

**A.A. Malinowski, V.G. Turkowski, A.Z. Muzychak,
Lviv Polytechnic National University**

EFFECTIVE REHABILITATION OF HEATING SUPPLY SYSTEMS IN PRACTICE OF MUNICIPAL ENERGY PLANNING

In municipal energy planning, considerable attention is paid to improving the efficiency of heating supply systems and their development. One of the measures to reduce energy and financial costs companies and improved quality supplies customers in terms of Ukraine is rehabilitation heat entries with replacement knots for pidmishivalni pumps or heat exchangers. To replace it is impossible to fulfill all customers for the summer season. It should be carried out in stages starting with the hydraulically most remote customers on the criterion of the hydraulic radius. Upon completion of each phase requires optimization of hydraulic and thermal modes of the heating system. The only way to get benefit from the conversion of heat entries not only after completion of work and after each stage. Both tasks can not be performed without adequate mathematical tools and software.

Key words: municipal energy planning, heat entry, heat network, hydraulic radius, реконструкція, hydraulic mode.

1. Malinowski A.A., Turkowski V.G., Muzychak A.Z. (2011), Decentralized heating – alternative or wrong way. Problemy zahalnoi enerhetyky. Institute of General energy National academy of sciences of Ukraine, no4(27), pp.53-56.

2. NKRE equalized gas prices for industry and state employees, increasing their from 1 April to 29% and 64% (2014), «Mirror of the Week», available at: http://dt.ua/economics/nkre-zrivnyala-cini-na-gaz-dlya-promislovosti-i-byudzhetskiv-pidvischivshi-yih-z-1-kvitnya-na-29-i-64-140725_.html.

3. Municipal energy planning – guide for municipal decision-makers and experts – Sofia: EnEffect, 2004 – 98 p.

4. Malinowski A., Turkowski V., Muzychak A. (2012), Application of software for energy planning in towns of Ukraine. – Technical transactions Politechniki Krakowskiej, 2-B, pp.273-280.

5. Gas prices for households will raise twice, but three years (2014), «Mirror of the Week», available at: http://dt.ua/economics/cini-na-gaz-dlya-naseleण्या-pidnimut-udvichi-ale-za-tri-roki-141921_.html.

6. ПЕФ «ОптимЕнерго» (2010), Експрес-оцінка систем теплопостачання м.Львів та розробка інвестиційного проекту їх оснащення теплорегулюючим обладнанням та засобами обліку теплової енергії [Rapid assessment of heat Lviv and development of the project of equipping thermostatic equipment and means of thermal energy], Harkiv, Ukraine.

7. Novickij N.N., Sennova E.V. and Suharev M.G. (2000) Gidravlicheskie cepi. Razvitie teorii i prilozhenija [Hydraulic circuits: Development of the theory and applications], Nauka, Novosibirsk, Russia.

8. Malinowski A.A., Turkowski V.G., Muzychak A.Z. (2014), Methodology of analysis and improvement for modes of district heating systems with direct connection of consumers. Naukovyi visnyk Natsionalnoho hirnychoho universytetu, no1, pp.85-91.

УДК 697.331:697.341

А.А. Малиновский, д-р техн. наук, профессор,
В.Г. Турковский, канд. техн. наук, доцент, **А.З. Муzychак**
Национальный университет «Львовская политехника»

ЭФФЕКТИВНАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ В ПРАКТИКЕ ГОРОДСКОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ

В городском энергетическом планировании значительное внимание уделяется повышению эффективности работы городских систем теплоснабжения и их развития. Одной из мер уменьшения энергетических и финансовых затрат предприятий и улучшения качества снабжения теплом абонентов в условиях Украины является реконструкция тепловых вводов с заменой элеваторных узлов

на смесительные насосы или теплообменники. Процесс замены невозможно выполнить во всех абонентов за летний сезон, его следует выполнять поэтапно, начиная с гидравлически наиболее отдаленных абонентов за критерием гидравлического радиуса. После завершения каждого этапа необходима оптимизация гидравлического и теплового режимов системы теплоснабжения. Только так можно получить выигрыш от переоборудования тепловых вводов не только после полного завершения работ, но и после выполнения каждого этапа. Обе задачи невозможно выполнить без надлежащего математического аппарата и программного обеспечения.

Ключевые слова: городское энергетическое планирование, тепловой ввод, тепловая сеть, гидравлический радиус, реконструкция, гидравлический режим.

УДК 621.548

Н.О. Костогрізова; В.В. Дубровська, канд. техн. наук, доцент;
В.І. Шкляр, канд. техн. наук, доцент

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРУ ШВИДКОСТЕЙ ВІТРУ

Проведено статистичний аналіз вимірів швидкості вітру в м. Києві за допомогою диференціального розподілу та статистичною функцією Вейбулла. Встановлено переважні напрями руху вітру протягом року та за сезонами. Визначена залежність питомої потужності виробництва вітрової енергії від повторюваності швидкості вітру.

Ключові слова: функція розподілу Вейбулла, густина ймовірності повторення швидкості, функція розподілу енергії вітру.

Вступ.

Одним зі стратегічних шляхів енергозабезпечення країни може стати використання нетрадиційних джерел енергії. Найбільш перспективною з екологічної і економічної точки зору серед поновлюваних видів енергії, згідно концепції енергетичної політики України на період до 2020 року, є вітроенергетика. Робота вітрогенератора потужністю 1 МВт за 20 років дозволяє зекономити приблизно 29 тис. тонн вугілля або 92 тис. баррелів нафти. Щорічно застосування такого генератора запобігає потраплянню в атмосферу 1800 т CO₂, 9 т SO₂, 4 т оксидів азоту [1].

Одним із напрямів розвитку науково-дослідницької діяльності в області вітроенергетики є коректна аргументована оцінка потенціалу вітрової енергії. Для систематизації характеристик вітрової ситуації в конкретному регіоні з метою її ефективного енергетичного використання, як правило, розробляється вітроенергетичний кадастр, який являє собою сукупність аерологічних і енергетичних характеристик вітру. Значення швидкості вітру, що вимірюють на метеорологічних станціях, дає можливість отримати достатні відомості про середньоперіодичні швидкості: за добу, місяць і рік. Для районування територій використовують такі показники, як середньорічна швидкість вітру; питома потужність вітру, сумарні потенціальні вітроенергоресурси та безперервна тривалість робочої швидкості вітру, як критерій стабільності функціонування вітроагрегатів. Такі дані можна використовувати лише для грубої оцінки вітроенергетичних ресурсів певного району, але їх недостатньо для прийняття конкретних технічних рішень.

Мета та завдання.

Тому на сьогоднішній день зростає необхідність у виявленні найбільш перспективних місць використання вітрової енергії, враховуючи головну особливість вітрової енергії – нерівномірність її прояву в часі та просторі, тобто з урахуванням частоти та напрямку повторення швидкості.

Часто ВЕУ розміщують вдалині від метеорологічних і аерологічних станцій, а висота осі вітроколеса змінюється в широких межах. Тому виникає задача відновлення режиму вітру в будь-якій точці приземного шару. Найбільш ефективним способом розв'язку цієї задачі в даний час визнаний статистичний метод.

Матеріали і результати досліджень.

Обробка даних регулярних спостережень показує, що річний (місячний) розподіл густини вірогідності частоти повторюваності швидкостей вітру може бути з достатньою точністю описано