

ТЕХНІЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ АКУМУЛЯЦІЇ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ В МЕРЕЖАХ

Проведений аналіз дозволив отримати аналітичні вирази для температур теплоносія в подавальному та зворотному трубопроводах мережі в процесі акумуляції теплової енергії. Оцінено технічний потенціал акумуляції та його залежність від впливових факторів. Визначено максимальні температури теплоносія в подавальному трубопроводі, які забезпечують надійність роботи теплової мережі.

Ключові слова: теплові мережі, акумуляція, теплове навантаження, температурний графік, тепла енергія, температура теплоносія, потенціал.

Постановка проблеми. Одним із можливих варіантів регулювання частоти та активної потужності об'єднаної енергосистеми України є використання електротеплових споживачів-регуляторів (ЕТСР) в системах централізованого теплопостачання. При скиданні ЕТСР великої кількості теплової енергії в мережі (період «нічного провалу»), неминуче виникне необхідність в її акумуляції.

На даний час теоретична база акумуляції теплової енергії ЕТСР в теплових мережах напрацьована в недостатній мірі, що може бути перешкодою для їх масового впровадження в централізованих системах теплопостачання.

Дослідженню акумуляції теплової енергії в мережах присвячено низку робіт [1–4], в яких розглянуто режими роботи теплоспоживачого обладнання при акумуляції теплової енергії в мережах, питання підвищення надійності теплових мереж [1], обмежуючі технічні та інституційні фактори [2]. Проведено аналіз повного потенціалу акумуляції теплової енергії в мережах [3], наведені результати технічних випро-

© В.О. ДЕРІЙ, 2015

бовувань [4]. В цих роботах не досліджувався технічно можливий потенціал акумуляції та його залежність від впливаючих факторів.

Метою роботи є визначення технічно можливого потенціалу акумуляції теплової енергії в мережах.

Одним із обмежень, які зумовлюються забезпеченням надійності системи централізованого теплопостачання, є не перевищення максимальних температур теплоносія в подавальному та зворотному трубопроводах. При визначенні теоретичного потенціалу [3], ці обмеження не розглядалися в плані можливої технічної реалізації.

Проаналізуємо температуру у зворотному трубопроводі j -го вузла системи акумуляції теплової енергії, схема якого показана на рис. 1.

Нехтуючи витоками теплоносія і втратами тепла через ізоляцію в зоні j -го вузла та виходячи із першого закону термодинаміки температуру t_{2j} у зворотному трубопроводі j -го вузла, після змішування потоків, можна визначити за формулою

$$t_{2j} = \frac{(g_{Bj} * T_{1j} + g_{jH} * t_{2H})}{g_j}, \quad (1)$$

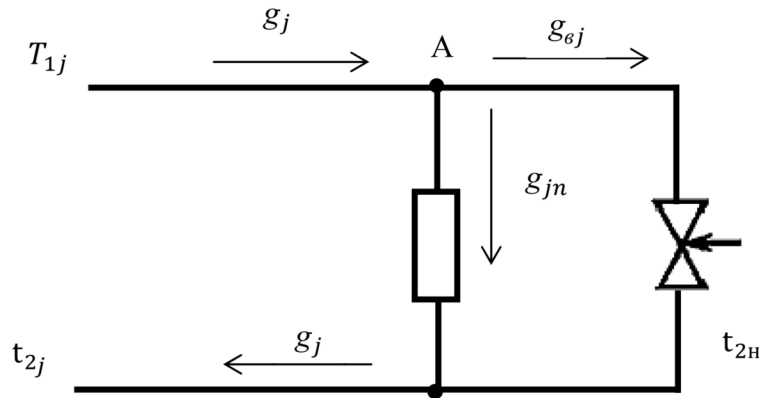


Рис.1. J-й вузол системи акумуляції теплової енергії

де t_{2j} – температура теплоносія у зворотному трубопроводі j -го вузла;

T_{1j} , g_j – температура та витрати теплоносія на вході j -го вузла;

g_{vj} , g_{jn} – витрати теплоносія через вентиль перепуску та теплове навантаження j -го споживача;

$t_{2н}$ – температура теплоносія у зворотному трубопроводі після теплового навантаження j -го споживача.

Для витрат теплоносія на вході j -го вузла можна записати

$$g_j = g_v + g_n \quad (2)$$

Коли температура теплоносія на вході j -го вузла T_{1j} є нормативною (згідно з температурним графіком), перепускний вентиль закритий і через теплове навантаження споживача проходить весь потік теплоносія g_{jn} . При цьому температура $t_{2н}$ буде рівною температурі на виході вузла T_{2j} . І потужність, яка покриває теплове навантаження, визначається формулою

$$P_{nt} = g_j \rho C (T_{1t} - T_{22}), \quad (3)$$

де P_{nt} – потужність на тепловому навантаженні;

T_{1t} , T_{22} – температура теплоносія на вході та виході теплового навантаження;

ρ , C – густина та питома теплоємність теплоносія.

При акумуляції теплової енергії температура в подавальному трубопроводі буде більшою, ніж згідно з температурним графіком.

Відповідно до цього спрацює система автоматичного регулювання подачі теплоносія споживача, яка зменшить потік теплоносія через теплове навантаження. Це призведе до зростання тиску в точці А (рис.1), при цьому спрацює система регулювання перепаду тиску (або температури) і частина теплоносія пройде через перепускний вентиль, що забезпечить акумуляцію теплової енергії у зворотному трубопроводі. Температура на виході теплового навантаження не зміниться. Потужність, яка покриває теплове навантаження, буде дорівнювати

$$P_{na} = g_{jn} \rho C (T_{1a} - T_{22}), \quad (4)$$

Враховуючи те, що потужність, яка покриває теплове навантаження без акумуляції та з нею, однакова, то праві частини виразів (3) та (4) можна прирівняти. Вирішуючи це рівняння відносно g_{jn} , отримуємо

$$g_{jn} = g_j \frac{T_{1t} - T_{22}}{T_{1a} - T_{22}}. \quad (5)$$

Виходячи із виразів (2) та (5), визначимо потік теплоносія через вентиль перепуску:

$$g_v = g_j \frac{T_{1a} - T_t}{T_{1a} - T_{22}}. \quad (6)$$

Далі, підставивши значення потоків теплоносія через теплове навантаження і перепускний вентиль у формулу (1), згідно із виразами (5) та (6), та проводячи необхідні перетворення, отримаємо

$$t_{2j} = \frac{T_{1a}(T_{1a} - T_{1t}) + T_{22}(T_{1t} - T_{22})}{T_{1a} - T_{22}} \quad (7)$$

Згідно з виразом (7) була змодельована температура у зворотному трубопроводі для всього діапазону температур температурного графіка 150/70 °С (при розрахунковій температурі мінус 22 °С). Результати розрахунків наведено у вигляді графіка на рис. 2.

Як видно із рис.2, температура у зворотному трубопроводі перевищує максимальну робочу (70 °С) у всьому діапазоні температурного гра-

фіка та максимальну допустиму (90 °С), починаючи із температури зовнішнього повітря -12 °С. Перевищення температур у зворотному трубопроводі приведе до зменшення його надійності та може спричинити аварійну ситуацію, що не допустимо.

При стабілізації температури у зворотному трубопроводі (що реально відбувається на практиці) за допомогою автоматичної системи регулювання подачі теплоносія будуть змінюватися витрати на вході вузла перепуску. Максимальну температуру теплоносія в подавальному трубопроводі при проведенні акуму-

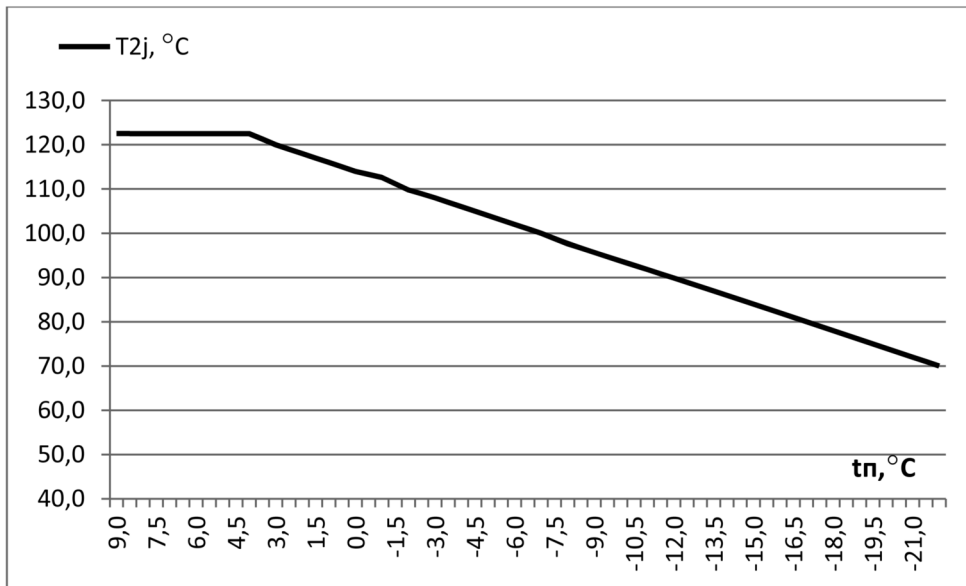


Рис. 2. Температура у зворотному трубопроводі j-го вузла системи перепуску теплоносія

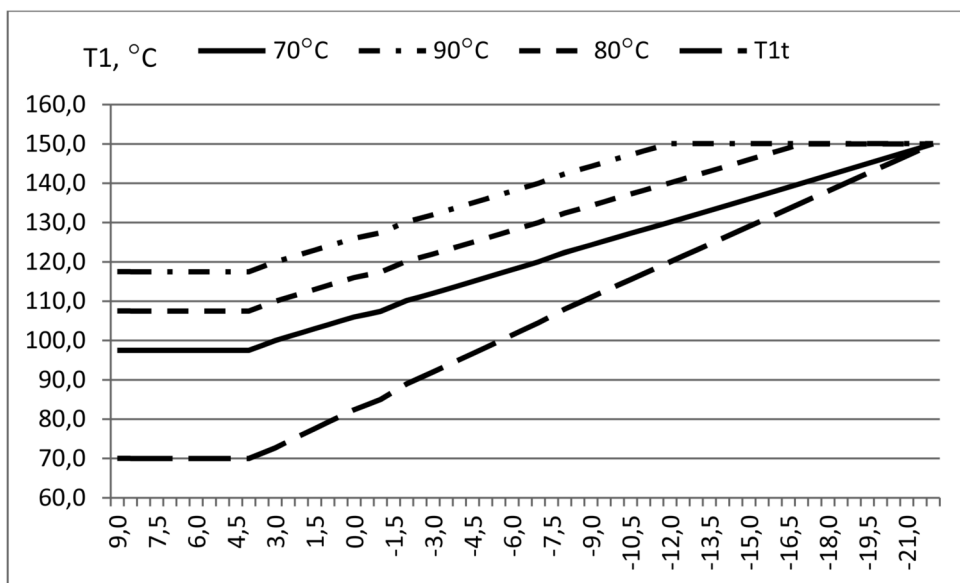


Рис. 3. Температура теплоносія в подавальному трубопроводі при акумуляції

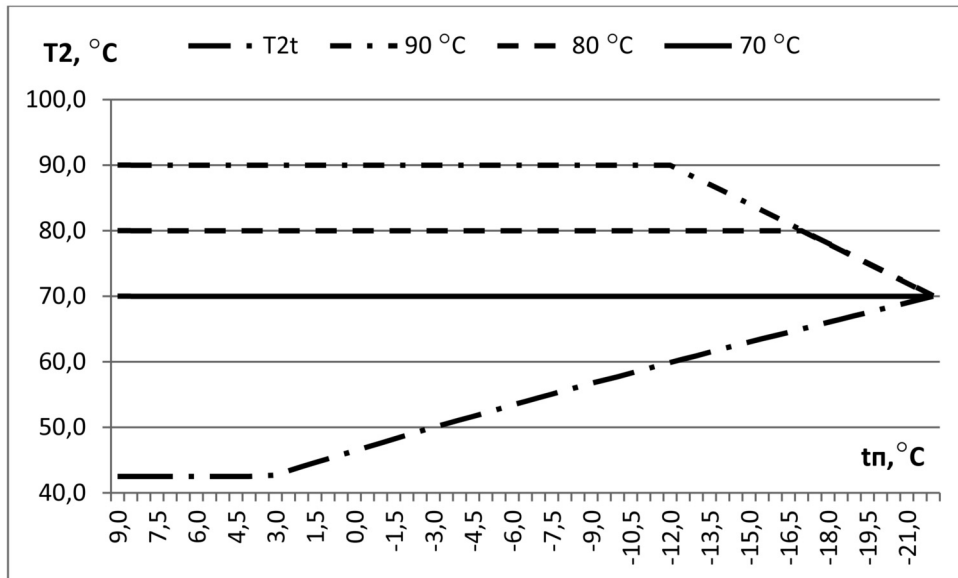


Рис. 4. Температура теплоносія у зворотному трубопроводі при акумуляції

ляції можна знайти виходячи із виразу (7). Для цього задамо фіксоване значення температури теплоносія у зворотному трубопроводі та вирішимо рівняння (7) відносно T_{1a} .

На рис. 3 наведено значення температур теплоносія в подавальному трубопроводі у всьому діапазоні температур температурного графіка 150/70 °C при трьох фіксованих значеннях температури теплоносія у зворотному трубопроводі: 70 °C, 80 °C, 90 °C. Для порівняння наведена також температура теплоносія в подавальному трубопроводі T_{1t} згідно з температурним графіком.

Як видно із графіків, при акумуляції температура теплоносія в подавальному трубопроводі не буде величиною сталою, вона зворотно пропорційна температурі навколишнього повітря. Для підтримки температури теплоносія у зворотному трубопроводі на рівнях 80 °C та 90 °C необхідно вводити примусове обмеження температури теплоносія в подавальному трубопроводі на рівні 150 °C, при температурах зовнішнього повітря починаючи з -12 °C та -17 °C, відповідно. При цьому температура у зворотному трубопроводі буде лінійно зменшуватися до рівня 70 °C, як це показано на рис. 4. Там само, для порівняння, показані температури у зворотному трубопроводі згідно з температурним графіком T_{2t} .

Кількість акумульованої теплової енергії в мережах можна знайти виходячи із виразу

$$Q = K\rho CV[(T_{1a} - T_{1t}) + (T_{2j} - T_{2t})], \quad (8)$$

де K – поправковий коефіцієнт, який враховує акумуляційну здатність матеріалів теплових мереж;

C, ρ – питома теплоємність та густина теплоносія відповідно;

V – об'єм заповнення подавального/зворотного трубопроводу.

Зменшення технічного потенціалу в порівнянні із теоретично-можливим визначалося як відношення теоретично-можливої величини акумульованої теплової енергії в мережах до енергії, яка акумульована при обмеженнях, що розглянуті вище:

$$\gamma = \frac{Q_{ат}}{Q_{атм}} \cdot 100\%, \quad (9)$$

де γ – відносне використання теоретичного потенціалу;

$Q_{атм}$ – теоретична кількість акумульованої теплової енергії в мережах;

$Q_{ат}$ – технічно можлива кількість акумульованої теплової енергії в мережах.

Розрахунок кількості акумульованої теплової енергії виконувався згідно з формулою (8) при трьох допустимих значеннях температури теплоносія у зворотному трубопроводі: 70 °C, 80 °C і 90 °C. Результати розрахунків наведені у вигляді графіків на рис. 5.

Як видно із рис. 5, технічний потенціал акумуляції значно менший, ніж теоретичний, і він буде зростати зі збільшенням температури теплоносія у зворотному трубопроводі.

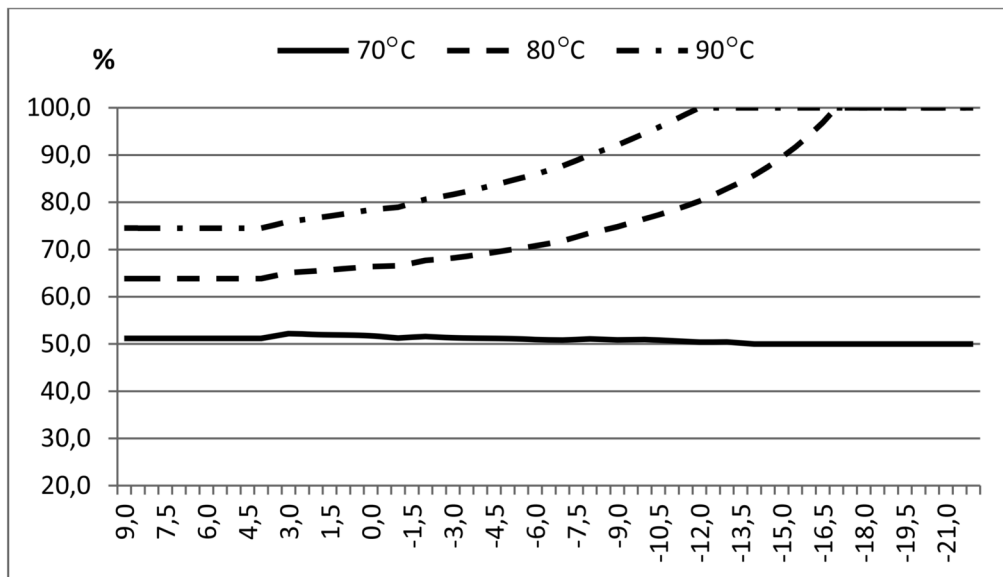


Рис. 5. Відношення технічного потенціалу акумуляції до теоретичного

ВИСНОВКИ

Проведений аналіз показав, що для забезпечення надійності функціонування системи тепlopостачання, температура теплоносія в подавальному трубопроводі під час акумуляції теплової енергії, не може мати максимальне значення у всьому діапазоні температур навколишнього повітря, вона повинна зменшуватися пропорційно збільшенню його температури.

Технічний потенціал акумуляції теплової енергії в мережах на 35–50% менший від теоретичного (залежно від температури теплоносія у зворотному трубопроводі).

Причиною зменшення технічного потенціалу є неможливість одночасно підтримувати максимально допустиму температуру теплоносія в подавальному та зворотному трубопроводах в процесі акумуляції теплової енергії в мережах.

1. *Подобед В.С.* Аккумуляция тепловой энергии в водяных тепловых сетях // Энергетическая стратегия. – Минск, 2011. – №5(23). – С.22–26.

2. *Дерій В.О.* Технічні та інституційні фактори впровадження споживачів-регуляторів у системах централізованого тепlopостачання // Проблеми загальної енергетики. – 2014. – №2(37).

3. *Derii V.O.* Potential of thermal energy accumulation in district heating systems networks // Проблеми загальної енергетики. – 2014. – №4(39).

4. *Яковлев Б.В.* Маневренность ТЭЦ при использовании аккумулирующей способности транзитных теплостей. – Режим доступу: <http://www.combienergy.ru/stat1142.html>.

Надійшла до редколегії 26.02.2015