

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ І СИСТЕМ ЕНЕРГЕТИКИ

УДК 621.643.053

В.Д. БІЛОДІД, канд. техн. наук, ст. наук. співр.,
В.О. ДЕРІЙ, канд. техн. наук,
Інститут загальної енергетики НАН України, вул. Антоновича, 172,
м. Київ, 03680, Україна

АКУМУЛЯЦІЙНА ЗДАТНІСТЬ ТЕПЛОВИХ МЕРЕЖ

Проведено аналіз впливу матеріалів елементів конструкції теплових мереж на їх загальну акумуляційну здатність. Показано, що основний внесок дають матеріали трубопроводів та їх ізоляція. Величина впливу не перевищує 9% і може бути врахована за допомогою поправкового коефіцієнта, величину якого визначено для типового ряду трубопроводів магістральних мереж.

Ключові слова: теплові мережі, акумуляція, трубопровід, ізоляція, поправковий коефіцієнт, споживачі-регулятори.

Теплоємнісна акумуляція принципово при-
таманна будь-яким системам подачі теплової
енергії. Спочатку генеруюче джерело теплової
енергії передає теплоту робочому тілу (зазвичай
воді) і воно нагрівається (при цьому фактично
відбувається процес акумуляції теплової енергії
в робочому тілі (теплоносії)). Потім теплоносії
подається в теплову мережу, де частина тепло-
вої енергії передається конструкціям тепломере-
жі (відбувається прогрів теплотраси), що
фактично є процесом акумулювання теплоти в
цих конструкціях. А вже потім тепла енергія
передається споживачам. При динамічній
роботі системи генеруюче джерело теплоти з
певним запізненням реагує на зміни обсягів
віддачі теплоти від тепломережі до споживачів,
тобто споживачі певний час отримують частку
акумульованої теплоти тепломережі. Таким
чином, тепломережі являють собою акумулято-
ри теплоти і важливим питанням є — скільки ж
теплоти може бути запасено в тепломережі. Це

© В.Д. БІЛОДІД, В.О. ДЕРІЙ, 2015

особливо актуально при реалізації ідеї регулю-
вання частоти в електромережі шляхом вико-
ристання теплових споживачів-регуляторів, як
це пропонується в [1, 2].

Дослідженню можливостей акумулювання
теплової енергії в теплових мережах систем
теплопостачання присвячено низку робіт [3—
6]. У цих роботах розглянуто режими роботи
теплоспоживаючого обладнання при акумуля-
ції теплової енергії в мережах, питання підви-
щення надійності теплових мереж [3], обме-
жуючі технічні та інституційні фактори [4].
Проведено аналіз можливого потенціалу аку-
муляції теплової енергії в мережах [5], наведені
результати технічних випробувань [6]. Разом з
тим у цих роботах не досліджувався такий
аспект, як вплив матеріалів конструкції тепло-
вих мереж на їх акумуляційну здатність.

*Метою роботи є визначення внеску матеріа-
лів конструкції теплових мереж на їх акумуля-
ційну здатність та визначення сумарної акуму-
ляційної здатності тепломереж різного діаметра.*

*Під час будівництва теплових мереж вико-
ристовують надземну та підземну прокладку*

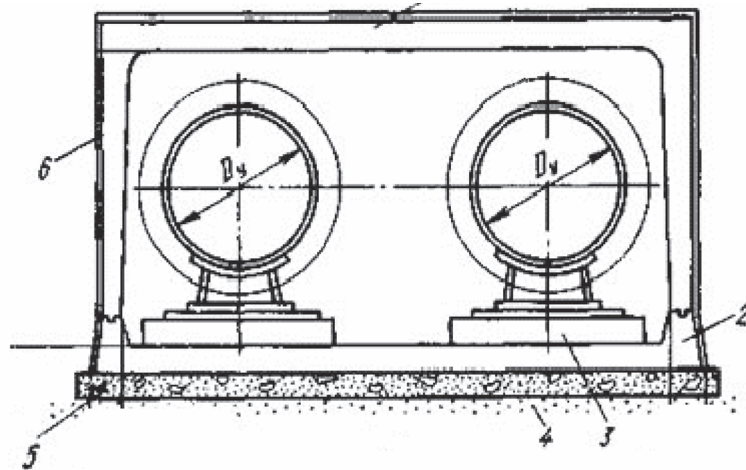


Рис. 1. Теплотраса в залізобетонному непрохідному каналі [8]: 1 – залізобетонна рамна секція; 2 – залізобетонна плита; 3 – опора; 4 – піщана подушка; 5 – бетонна подушка; 6 – шар гідроізоляції

трубопроводів. В умовах щільної забудови в переважній більшості використовується підземна прокладка [7], яка, в свою чергу, буває каналною та безканалною. Безканална прокладка використовується для прокладки сучасних попередньо ізольованих трубопроводів. Переважна більшість існуючих теплових мереж виконані в непрохідних каналах [8]. А враховуючи те, що згідно з п. 8.1.7 [9] акумулювання теплової енергії можливо тільки у магістральних теплових мережах, то вони і будуть предметом даного аналізу.

На рис.1 показано розташування трубопроводів у залізобетонному непрохідному каналі [8].

У процесі акумуляції тепла енергія буде накопичуватися в теплоносію, металевих стінках трубопроводів, ізоляційному шару, повітрі каналу, залізобетоні та ґрунті. Тобто,

$$E_A = \sum \rho_j V_j C_j \Delta T_j, \quad (1)$$

де E_A – сумарна акумульована тепла енергія; ρ_j , V_j , C_j – густина, об'єм та питома теплоємність j -го середовища; ΔT_j – зміна температури j -го середовища.

Визначимо погонну питому акумуляційну здатність теплових мереж – кількість акумульованої теплової енергії в одному погонному метрі теплопроводу мережі при підвищенні температури теплоносія на один градус.

В табл. 1 наведено характеристики типових діаметрів трубопроводів, які використовуються при будівництві магістральних теплових мереж.

Характеристики теплоносія та матеріалів, які входять до складу теплових мереж, наведено в табл. 2.

Розрахунки питомої акумуляційної здатності матеріалів теплових мереж проводилися згідно з формулою (1) для кожного діаметра трубопроводів, наведених в табл. 1 для довжини 1 м та перепаду температур 1 °С. Результати наведені в табл. 3.

Таблиця 1 – Характеристики трубопроводів магістральних мереж

Умовний діаметр трубопроводу**, мм	300	325	400	450	500	600	700	800	900	1000	1200
Товщина стінки трубопроводу**, мм	7	7	7	7	7	8	8	9	9	10	10
Товщина ізоляції*, мм	120	120	140	140	140	140	140	140	140	140	140

Примітки. * – згідно з [9]; ** – згідно з [10].

Таблиця 2 – Характеристики матеріалів

Характеристика/Матеріал	Вода	Сталь	Ізоляція		Повітря
			мінвата	ППУ	
Питома теплоємність, кДж/(кг·С)	4,216	0,486	0,84	1,47	1,005
Щільність, кг/м ³	958,05	7850	120	80	1,127

Примітки. 1 – питома теплоємність та щільність повітря брались при температурі 40 °С, а решта при 100 °С, 2 – ППУ – пінополіуретан.

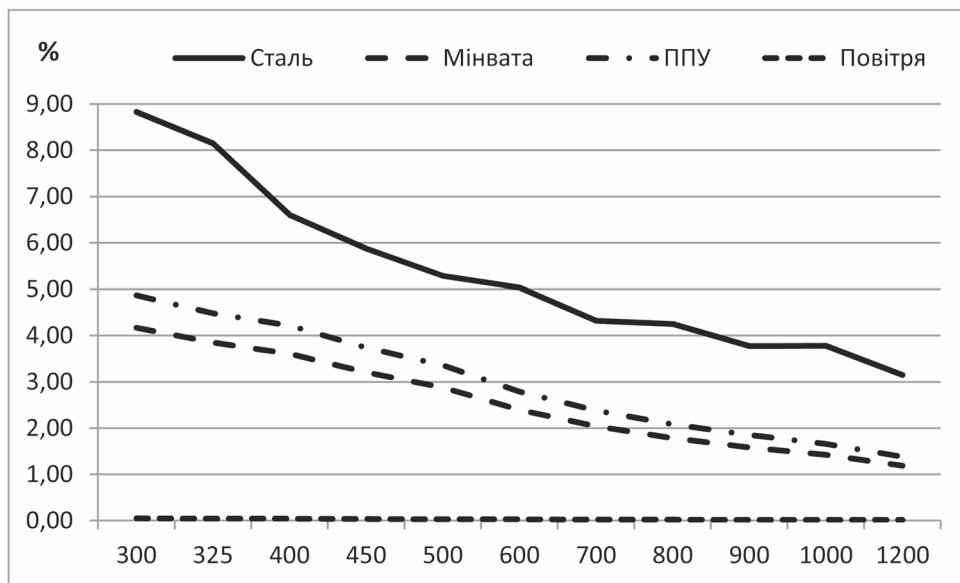


Рис. 2. Відносна вага акумуляційної здатності матеріалів теплотраси

Таблиця 3 – Питома акумуляційна здатність матеріалів теплових мереж

Умовний діаметр, мм	300	325	400	450	500	600	700	800	900	1000	1200	
Акумуляційна здатність, кДж/(м·°С)	Вода	285,4	334,9	507,3	642,1	792,7	1141,5	1553,7	2029,3	2568,3	3170,7	4565,8
	Сталь	25,2	27,3	33,5	37,7	41,9	57,5	67,1	86,3	97	119,8	143,8
	Мінвата	11,9	12,9	18,3	20,6	22,8	27,3	31,7	36,2	40,7	45,2	54,1
	ППУ	13,9	15	21,4	24	26,6	31,8	37	42,3	47,5	52,7	63,1
	Повітря	0,14	0,15	0,21	0,24	0,26	0,32	0,37	0,42	0,48	0,53	0,64

На рис. 2 показано відносну вагу акумуляційної здатності складових матеріалів теплотраси по відношенню до акумуляційної здатності теплоносія (води). Із табл.3 та рис.2 видно, що вплив повітря в каналі на сумарну акумуляційну здатність мізерно малий (менше 0,05%).

Таблиця 4 – Питома акумуляційна здатність теплової мережі

Умовний діаметр, мм	300	325	400	450	500	600	700	800	900	1000	1200
Акумуляційна здатність мережі (мінвата), кДж/°С·м	322,5	375,1	559,1	700,4	857,4	1226,3	1652,5	2151,8	2706	3335,7	4763,7
Акумуляційна здатність мережі (мінвата), кДж/°С·м	324,5	377,2	562,2	703,8	861,2	1230,8	1657,8	2157,9	2712,8	3343,2	4772,7

Це пояснюється тим, що повітря має набагато меншу щільність, ніж інші компоненти мережі. Акумуляційною здатністю бетонних конструкцій та ґрунту було знехтувано, оскільки шар ізоляції суттєво зменшує тепловий потік, який до них надходить. Тому, в подальших розрахунках акумуляційна здатність повітря каналу, бетонних конструкцій та ґрунту не враховувалась.

У табл. 4 наведена сумарна погонна питома акумуляційна здатність теплової мережі при використанні різних ізоляційних матеріалів.

Як видно із рис.2 та табл.4, різні типи ізоляції практично однаково впливають на сумарну акумуляційну здатність мережі. А враховуючи той факт, що акумуляційна здатність мережної

води набагато більша, ніж інших компонентів мережі, то їх внесок у сумарний ефект акумуляції можна врахувати через поправковий коефіцієнт K :

$$K = \frac{E_A}{E_B}, \quad (2)$$

де K – поправковий коефіцієнт; E_A – сумарна погонна питома акумуляційна здатність теплової мережі; E_B – акумуляційна здатність мережної води.

Поправковий коефіцієнт був розрахований для ряду діаметрів трубопроводів і показаний на рис. 3.

З урахуванням сказаного вище, вираз (1) можна представити у вигляді

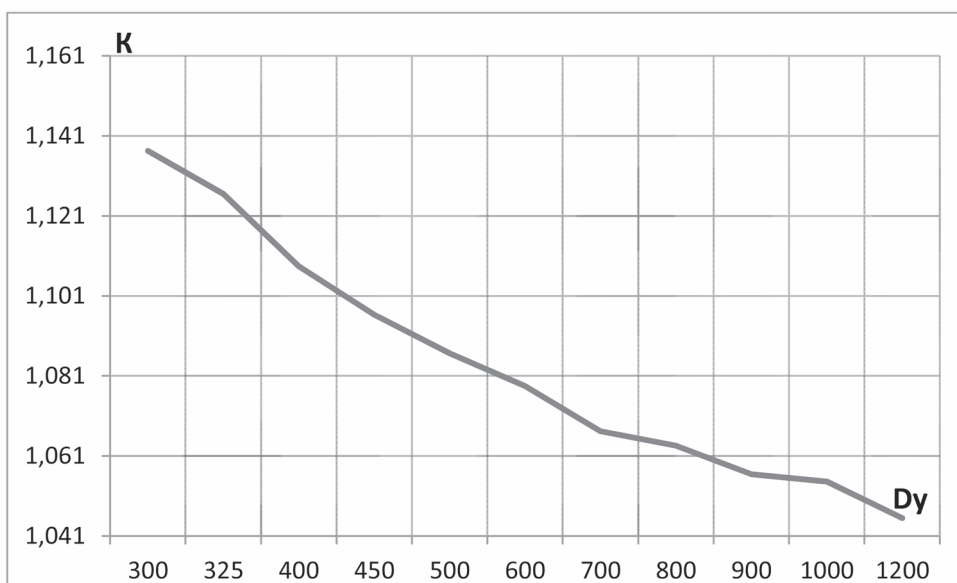


Рис. 3. Поправковий коефіцієнт для різних діаметрів трубопроводів

$$E_A = K \rho_B V_B C_B \Delta T_B, \quad (3)$$

де ρ_B , V_B , C_B – густина, об'єм та питома теплоємність води; ΔT_B – приріст температури мережної води.

З огляду на викладене вище можна зробити такий висновок. Акумуляційна здатність теплових мереж в основному зумовлюється теплоємністю та масою теплоносія (води). Вплив інших компонентів незначний (менше 9%) і може бути врахований за допомогою поправкового коефіцієнта, який наведений на рис. 3.

1. Кулик М.М. Техніко-економічні аспекти використання споживачів-регуляторів у системах автоматичного регулювання частотою і потужністю / М.М. Кулик // Проблеми загальної енергетики. – 2015. – Вип.1 (40). – С. 20–28.
2. Системні проблеми розвитку і функціонування енергетики / М.М. Кулик, С.В. Шульженко, С.В. Дубовський, І.Ч. Лещенко, О.Є. Маляренко // Комплексне моделювання управління безпечним використанням продовольчих, водних і енергетичних ресурсів з метою сталого соціального, економічного і екологічного розвитку / За ред. А.Г. Загороднього, Ю.М. Єрмольєва. – Київ: Академперіодика, 2013. – С. 90–116.
3. Подобед В.С. Аккумуляирование тепловой энергии в водяных тепловых сетях // Энергетическая стратегия. – Минск, 2011. – №5(23). – С. 22–26.

4. Дерій В.О. Технічні та інституційні фактори впровадження споживачів-регуляторів у системах централізованого теплопостачання // Проблеми загальної енергетики. – 2014. – Вип. 2 (37). – С. 52–58.
5. Дерій В.О. Potential of thermal energy accumulation in district heating systems networks // Проблеми загальної енергетики. – 2014. – Вип. 4 (39). – С. 29–33.
6. Яковлев Б.В. Маневренность ТЭЦ при использовании аккумулярующей способности.
7. Прокладки тепловых сетей. – Режим доступу: profragmenty.narod.ru/tgsv/knigi/ts.doc.
8. Каналы непроходные или полупроходные. – Режим доступу <http://www.rosteplo.ru/w/>.
9. Інженерне обладнання будинків і споруд. Зовнішні мережі та споруди. ДБН В.2.5-39:2008. ТЕПЛОВІ МЕРЕЖІ // Мінрегіонбуд України. – Київ, 2009.
10. Устройство и оборудование теплопроводов. – Режим доступу: http://www.baurum.ru/_library/?cat=heat-consumption&id=4014.

Надійшла до редколегії 08.09.2015