

УДК 658.24

О. О. АЛЕКСАХИН, канд. техн. наук

Харківський національний університет міського господарства ім. В. М. Бекєтова, м. Харків

## АНАЛІЗ ТЕПЛОВИХ ВТРАТ ТРУБОПРОВОДАМИ РОЗГАЛУЖЕНОЇ ОПАЛЮВАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ З УРАХУВАННЯМ МОЖЛИВОГО ЗНИЖЕННЯ РОЗРАХУНКОВОГО ОПАЛЮВАЛЬНОГО НАВАНТАЖЕННЯ БУДІВЕЛЬ

*На основаних сравнительных расчетов для вариантов разветвленной теплосети проведена оценка потерь теплоты трубопроводами при выборочном утеплении присоединенных к сети зданий. Установлено, что минимальные теплопотери теплопроводами имеют место при утеплении наиболее удаленных зданий.*

*На підставі порівняльних розрахунків для варіантів розгалуженої теплової мережі проведено оцінку втрат теплоти трубопроводами при вибірковому утепленні приєднаних до мережі будівель. Встановлено, що мінімальні тепловтрати теплопроводами мають місце при утепленні найвіддаленіших будівель.*

### Вступ

Економічна ефективність застосування додаткової теплоізоляції будівельних конструкцій функціонуючих споруд визначається головним чином рівнем зниження теплоспоживання. При зменшенні подачі теплоти для обігріву утепленої будівлі за рахунок зниження температури мережної води на вході в опалювальні прилади, наприклад зміною коефіцієнта змішування в елеваторному вузлі, слід очікувати відповідне зниження температури води й на виході системи опалення будівлі. Для централізованих систем це обумовлює зміну теплового стану трубопроводів (у більшій мірі зворотних) мікрорайонних мереж та зменшення втрат теплоти. Крім того, при вказаному способі зміни подачі теплоти до опалювальних комплексів утеплених будівель слід очікувати також й зниження витрат мережної води та експлуатаційних витрат, пов'язаних з транспортуванням води по мережі.

### Основний матеріал

У роботах [1, 2] проаналізовано зміну втрат теплоти трубопроводами опалювальної мережі при утепленні будівель, що приєднані до нерозгалуженої мережі. Метою даної роботи є продовження розпочатих досліджень для розгалужених мереж. Аналіз деяких загальних закономірностей проведено для ідеалізованої мережі, до якої приєднані будинки як з однаковим вихідним опалювальним навантаженням (рис. 1, а), так і споруди з різними витратами теплоти (рис. 1, б). Гілки (1–21) та (11–21) наведеної на рис. 1, а схеми мають дзеркальну симетрію відносно точки 21, довжини розрахункових ділянок однакові і становлять 70 м. Інші характеристики ділянок мережі подано у табл. 1. Лінійні втрати теплоти трубопроводами прийняті на рівні нормативних для прокладання у непрохідних каналах [3]. Тепловтрати конструктивними елементами мережі враховано коефіцієнтом  $K=1,15$  [3]. Прийняту для обчислень методику більш детально розглянуто в [1]. Основні її положення полягають у наступному. По прийнятій у першому наближенні зміні температури теплоносія по довжині подавального трубопроводу обчислено втрати теплоти на ділянках мережі і витрати води на опалення будівель з урахуванням її охолодження при русі по теплопроводу, після чого уточнено значення температури на розрахункових ділянках подавальної лінії. З урахуванням прийнятого для кожної будівлі ступеню зниження теплоспоживання  $\mu$  визначено температуру теплоносія на виході системи опалення будівель й обчислено теплові втрати та зміну температури теплоносія по довжині зворотного трубопроводу. Величину  $\mu$  визначено як відношення витрат теплоти на опалення будівлі при розрахунковій температурі зовнішнього повітря ( $t_{p.o.}$ ) після ( $Q_{он}$ ) та до утеплення ( $Q_{оп}$ ) об'єкта:

$$\mu = Q_{он} / Q_{оп} \quad (1)$$

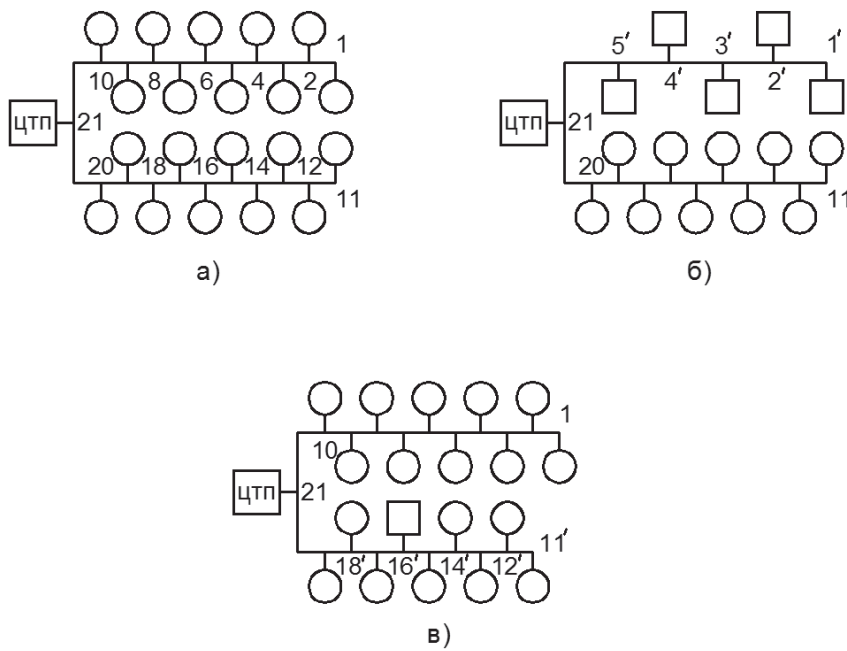


Рис. 1. Розрахункові схеми теплових мереж:  
 а – з однаковим вихідним опалювальним навантаженням будівель гілок;  
 б, в – з різним навантаженням будівель гілок; 1...21 – розрахункові точки;  
 ○ – будівлі з вихідним навантаженням при розрахунковій температурі зовнішнього повітря 0,1 МВт; □ – будівлі з вихідним навантаженням 0,2 МВт

Таблиця 1

Характеристика ділянок мережі опалення

Розрахункова схема	Ділянка	Витрати мережної води, кг/с	Діаметр d, мм	Довжина l, мм	Матер. характеристика l*d, м <sup>2</sup>	Лінійні тепловтрати трубопроводом, Вт/м [3]	
						подавальний	зворотний
Рис. 1,а (ділянки гілок 1-21, 11-21 ідентичні)	1-2	0,299	50	70	3,5	46	29
	2-3	0,597					
	3-4	0,896					
	4-5	1,194	70	70	4,9	52	34
	5-6	1,493					
	6-7	1,791					
	7-8	2,09					
	8-9	2,388	82	70	5,74	57	36
	9-10	2,687					
10-21	2,985						
21-0	5,97	125	70	8,75	70	45	
Сума					56,07		
Рис. 1,б	1-2	0,597	50	140	7,0	46	29
	2-3	1,194	70	140	9,8	52	34
	3-4	1,791			9,8		
	4-5	2,388	82	140	11,48	57	36
	5-21	2,985			11,48		

	Продовження таблиці 1						
	21-0	5,97	125	70	8,75	70	45
Сума					58,31		
Рис. 1,в	11'-12'	0,299	50	70	3,5	46	29
	12'-13'	0,597			3,5		
	13'-14'	0,896			3,5		
	14'-15'	1,194	70	70	4,9	52	34
	15'-16'	1,493		105	7,35		
	16'-17'	2,09		105	7,35		
	17'-18'	2,388	82	70	5,74	57	36
	18'-19'	2,687			5,74		
	19'-21'	2,985			5,74		
	21-0	5,97	125	70	8,75	70	45
Сума				56,07			

У проведених розрахунках максимальну ефективність утеплення окремої будівлі прийнято на рівні  $\mu=0,65$ . Обчислення здійснено для середньої за опалювальний період температури зовнішнього повітря для кліматичних умов м. Харкова. Відносне опалювальне навантаження, яке визначають за формулою:

$$\bar{Q}_o = (t_b - t_n)/(t_b - t_{p,o}) \quad (2)$$

для цих умов дорівнює 0,49. У формулі (2)  $t_b$  – температура повітря в приміщенні;  $t_n$  – пливна температура зовнішнього повітря.

Температуру ґрунту на глибині прокладання теплопроводів прийнято рівною 5 °С. При обчисленнях не врахована можлива зміна температури ґрунту при зміні температури зовнішнього повітря.

Розрахункові схеми варіантів для групи будівель з однаковим тепловим навантаженням окремих споруд та результати визначення питомих тепловтрат подано у табл. 2, для мережі, що забезпечує теплою будівлі з різним вихідним опалювальним навантаженням – у табл. 3.

При витратах теплоти на опалення групи будівель до їх утеплення 0,98 МВт (при середній за опалювальний період температурі зовнішнього повітря -2,1 °С) втрати теплоти трубопроводами мережі в цілому дорівнюють 0,135 МВт, що становить приблизно 14 % опалювального навантаження. Утеплення будівельних конструкцій будівель, як слід було очікувати, обумовлює також зниження і тепловтрат в мережі. Так, при зменшенні витрат теплоти на опалення групи будівель при їх утепленні на 14 % величина теплових втрат знижується на 5–6 %. Графік залежності впливу ефективності утеплення групи будівель на зменшення тепловтрат трубопроводами подано на рис. 2, з якого видно, що на величину теплових втрат впливає також й місце знаходження утеплених споруд в квартальній мережі. Наприклад, при досягненні зменшення потреби в тепловій енергії для опалення групи будівель на 25 % за рахунок утеплення всіх об'єктів тільки однієї гілки (варіант №2, табл. 2) зниження втрат теплоти подавальними і зворотними трубопроводами у порівнянні з вихідним варіантом становить приблизно 7,3 %, а за рахунок утеплення найвіддаленіших від центрального теплового пункту споруд на обох гілках (варіант № 3, табл. 2) – приблизно 9,3 %. Тобто в умовах обмеженості матеріальних ресурсів і неможливості провести утеплення всіх будівель прийнятої до розгляду групи вірний вибір об'єктів при тих же самих капітальних затратах дозволить отримати додаткову економію експлуатаційних витрат завдяки зменшенню втрат теплоти в мережі. Для прикладу, що розглядається, ця економія становить більш 5 тис. грн/рік (тариф на теплоту прийнятий 116,16 грн/ГДж), що становить біля 1 % від річної економії теплоти за рахунок утеплення будівельних конструкцій.

Таблиця 2

Питомі тепловтрати трубопроводами мережі, Вт/м (група будівель з однаковим опалювальним навантаженням)

№	Розрахункова схема	μ	Гілка (1-21)			Гілка (11-21)			Мережа в цілому (з урахуванням ділянки 21-0)		
			а	б	в	а	б	в	а	б	в
1		1,0	54,6	35,67	90,27	54,6	35,67	90,27	55,61	36,25	91,86
2		0,9	53,75	29,53	83,28	54,6	35,67	90,27	55,2	33,23	88,43
3		0,9	54,2	31,89	86,09	54,2	31,89	86,09	55,22	32,55	87,77
4		0,86	53,68	28,48	82,16	54,6	35,67	90,27	55,17	32,69	87,86
5		0,86	54,04	31,02	85,06	54,04	31,02	85,06	55,08	31,69	86,77
6		0,75	52,52	24,33	76,85	54,6	35,67	90,27	54,62	30,55	85,17
7		0,75	53,4	28,02	81,42	53,4	28,08	81,42	54,46	28,88	83,34

Примітки: а – подавальний трубопровід; б – зворотний; в – мережа в цілому;  
 ○ – неутеплені будівлі; ● – утеплені будівлі; ◐ – частково утеплені будівлі;  
 □ – центральний тепловий пункт.

Таблиця 3

Питомі тепловтрати трубопроводами мережі, Вт/м (група будівель з різним опалювальним навантаженням)

№	Розрахункова схема	μ	Гілка (1-21)			Гілка (11-21)			Мережа в цілому (з урахуванням ділянки 21-0)		
			а	б	в	а	б	в	а	б	в
8		1,0	55,88	36,58	92,46	54,6	35,67	90,27	55,22	36,66	92,88

Продовження таблиці 3

9		0,86	55,88	36,58	92,46	53,68	28,48	82,16	55,78	33,12	88,9
10		0,86	55,25	29,43	84,68	54,6	35,67	90,27	55,92	33,14	89,06
11		0,86	55,59	30,95	86,54	54,04	31,02	85,06	55,81	31,64	87,46
12		0,86	55,87	35,94	91,81	54,04	31,02	85,06	55,95	34,03	89,98
13		0,88	55,87	35,94	91,81	54,2	31,89	86,09	56,02	34,48	90,5
14		1,0	54,6	35,67	90,27	54,75	35,69	90,44	55,68	36,26	91,94
15		0,965	54,6	35,67	90,27	54,53	35,14	89,67	55,57	35,97	91,54
16		0,983	54,6	35,67	90,27	54,4	34,04	88,44	55,51	35,46	90,97

Примітки: а – подавальний трубопровід; б – зворотний; в – мережа в цілому; ○ – будівлі з вихідним розрахунковим опалювальним навантаженням 0,1 МВт; □ – 0,2 МВт

В разі, якщо до гілок мережі приєднані будівлі з різним вихідним опалювальним навантаженням (у межах кожної з гілок навантаження об'єктів однакове), втрати теплоти в мережах практично не залежать від того, будівлі якої з гілок утеплено. Розбіжність результатів обчислень для варіантів 9 і 10 (табл. 3) не перевищує 0,2 %. Зниження сумарних втрат для вказаних варіантів у порівнянні з вихідним (варіант 8) становить приблизно 4%. Максимальне зменшення втрат теплоти трубопроводами зафіксоване при утепленні найвіддаленіших на обох гілках будівель (майже 6 % по відношенню до вихідного варіанта при загальному зниженні теплоспоживання будівлями на 14 %). З порівняння варіантів 15 і 16 (табл. 3) видно, що утеплення найвіддаленіших будівель дає позитивний ефект навіть тоді, коли їх вихідне теплове навантаження менше, ніж інших приєднаних до гілки будівель. Тепловтрати для варіанта 16, в якому передбачено утеплення найвіддаленішої на гілці будівлі з індивідуальним навантаженням 0,1 МВт орієнтовно на 0,6 % менше, ніж втрати для варіанта утеплення будівлі з навантаженням 0,2 МВт, розміщеного всередині гілки (значення коефіцієнтів  $\mu$  для утеплених об'єктів в обох випадках однакове,  $\mu=0,65$ ).

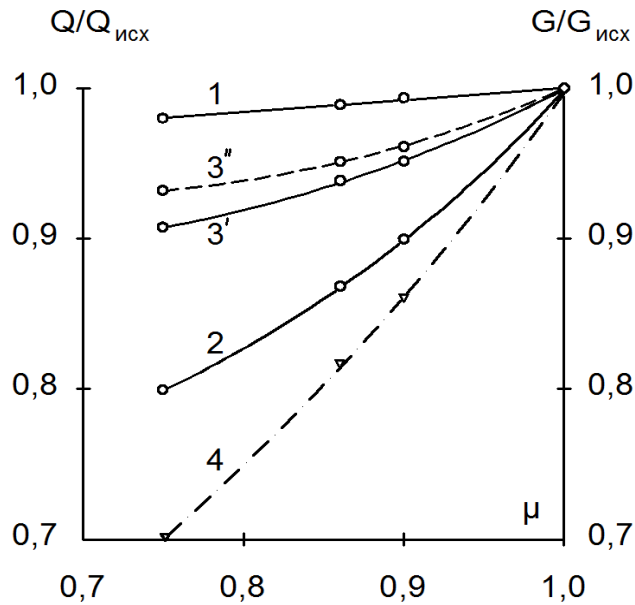


Рис. 2. Вплив ефективності утеплення будівель на зміну тепловтрат трубопроводами опалювальної мережі й витрат мережної води (лінія 4): 1 – подавальний трубопровід; 2 – зворотний; 3 – мережа в цілому (3' – при утепленні будівель однієї гілки; 3'' – при утепленні найвіддаленіших будівель обох гілок); Q, G – тепловтрати мережі й витрати води для варіанта після утеплення;  $Q_{исх}$ ,  $G_{исх}$  – те ж саме до утеплення

### Висновки

1. Економічна ефективність додаткового утеплення будівельних конструкцій функціонуючих будівель, приєднаних до загальної опалювальної мережі, визначається ефективністю теплоізоляції, а також зменшенням втрат теплоти трубопроводами мережі й витрат мережної води для опалення будівель.

2. Найбільше зниження втрат теплоти в теплових мережах зафіксовано для зворотних трубопроводів.

3. Мінімальні теплові втрати теплопроводами розгалуженої опалювальної мережі мають місце при утепленні найвіддаленіших на гілках мережі будівель.

### Список літератури

1. Алексахин А. А., Бобловский А. В. Теплотери трубопроводами отопительной сети при изменении расчетной отопительной нагрузки зданий микрорайона. «Энергосбережение· Энергетика· Энергоаудит», № 9, 2011, – С. 20–27.

2. О. О. Алексахин, І. А. Ачкасов, О. В. Бобловський, С. В. Єна Особливості впливу опалювального навантаження на температурні показники мережі опалення будівель мікрорайону. Коммунальное хозяйство городов. Науч.-техн. сб. 2011, Вып. 101, – С. 189–194.

3. Тепловая изоляция. Справочник строителя / Под ред.. Г. Ф. Кузнецова. – М.: Стройиздат, 1982. – 336 с.

### ANALYSES OF HEAT LOSSES IN PIPELINES OF BRANCHED HEATING NETWORK CONSIDERING POSSIBLE DECREASE OF DESIGNED HEATING DEMAND OF BUILDINGS

A. A. ALEKSAHIN, Candidate of Engineering

*The paper estimates heat losses in pipelines in the situation of random heat insulation of buildings connected to the network based on benchmarking calculation for versions of branched heating network. It was found that minimum heat losses occur when the most distant buildings are heat insulated.*

Поступила в редакцию 16. 05 2013 г.