

О.О. Алексахін¹, О.В. Бобловський², К.О. Жарий¹, Ж.В. Сидоренко¹, М.С. Скорик¹

¹Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Україна

²Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна

ТЕПЛОВІ РЕЖИМИ ОПАЛЮВАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ ПРИ УТЕПЛЕННІ БУДІВЕЛЬ

У роботі наведено результати обчислень втрат теплоти трубопроводами мережі для опалення ідеалізованих груп будівель при утепленні споруд. Запропоновано формули для оцінок зменшення втрат теплоти теплопроводами залежно від ефективності енергозберігаючих заходів для забудови і закону зміни витрат мережної води по довжині теплопроводу, яких визначається конфігурацією мережі.

Ключові слова: централізоване тепlopостачання, централізовані системи опалення, енергозбереження, опір теплопередачі, огорожувальні конструкції, коефіцієнт ефективності утеплення будівель, розподільні теплові мережі, втрати теплоти трубопроводами.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень і публікацій

Невідповідність фактичного опору теплопередачі будівельних конструкцій більшості споруд, що введені в експлуатацію у період з середини до кінця минулого сторіччя, сучасним вимогам [1] обумовлює необхідність нанесення на огорожувальні конструкції будівель додаткового шару теплової ізоляції та заміну вікон. Тому що утеплення всіх споруд мікрорайону потребує значних витрат ресурсів і часу, в умовах обмеженості фінансування може виникати питання про черговість утеплення будівель. Для систем централізованого тепlopостачання ефективність впровадження енергозберігаючих заходів для споруд визначається не тільки зменшенням витрат теплоти на опалення, але і зміною експлуатаційних витрат для мікрорайонної теплової мережі, яка обумовлена зменшенням витрат теплоносія і втрат теплоти трубопроводами системи опалення. Величина теплових втрат залежить від способу прокладки мереж, параметрів ізоляції трубопроводів, температури теплоносія та оточуючого середовища. При вибіркового утепленні споруд окремої групи будівель на величину втрат теплоти трубопроводами мережі помітно впливає місце розташування утепленої будівлі. У роботі [2] на прикладах ідеалізованих груп будівель і у роботі [3] на прикладі житлового мікрорайону показано, що утеплення найвіддаленіших від центрального теплового пункту (ЦТП) мікрорайону споруд обумовлює менші втрати теплоти трубопроводами опалювальної мережі у порівнянні з варіантом утеплення найближчих до ЦТП будівель. Оцінки впливу величини теплового навантаження житлових груп на теплові втрати трубопроводами мережі проведено у роботі [4]. На теплові втрати теплопроводами впливають

також величина витрат теплоносія і характер їх зміни по довжині трубопроводу, які визначаються конфігурацією мережі. Величина витрат теплоносія обумовлює повну теплоємність потоку речовини, його теплоакumulюючу здатність й інтенсивність охолодження теплоносія.

Мета статті

Метою роботи є оцінка впливу гідравлічних характеристик гілок опалювальної мережі на величину втрат теплоти при транспортуванні теплоносія трубопроводами розподільної мережі до будівель.

Виклад основного матеріалу

Розглянуто ідеалізовані групи будівель з однаковою кількістю об'єктів і однаковими максимальними витратами теплоти на опалення окремої споруди. Схеми тепlopостачання будівель наведені у табл.1. На рис.1 наведено закони зміни витрат теплоносія по довжині гілки для кожної з розглянутих схем. Обчислення втрат теплоти проведено для розрахункової температури зовнішнього повітря для опалення, яка для кліматичних умов м. Харкова становить -23°C [5]. При виконанні обчислень за варіантами для тієї самої схеми тепlopостачання витрати теплоти для опалення окремої будівлі при вказаних кліматичних умовах було прийнято 0,25, 0,5 і 1 МВт.

Втрати теплоти трубопроводами опалювальної мережі визначено для умов прокладки у непрохідних каналах [6]. Аналіз теплового стану трубопроводів опалювальної мережі здійснено з використанням викладеної у роботі [3] методики. При відомих питомих теплових втратах q трубопроводом даного діаметра втрати теплоти на ділянці мережі довжиною l_i можна обчислити за формулою

Таблиця 1

Характеристики виконання опалювальної мережі груп будівель

№ з/п	Розрахункова схема	$L_{гр}$, м	$Q_{гр}$, МВт	$d_{ср}$, м	$R_{ср}$, Па/м	$M_{гр}$, м ²	$M_{від}/M_{гр}$	\bar{G}
1		151	2,5	0,173	40	260	0,088	0,6
			5,0	0,209	48	346	0,088	
			10	0,277	50	456	0,088	
2		180	2,5	0,189	40	322	0,156	0,75
			5,0	0,227	42,5	386	0,152	
			10	0,284	50	490	0,164	
3		180	2,5					0,5
			5,0	0,159	46,25	284	0,195	
			10	0,234	46,3	412	0,184	
4		180	2,5	0,136	40	326	0,166	0,4
			5,0	0,174	40	372	0,16	
			10	0,23	41	496	0,165	
5		180	2,5	0,177	43,6	366	0,128	0,8
			5,0	0,238	47,5	510	0,114	
			10	0,309	41,3	634	0,123	

Примітка: Т – центральний тепловий пункт; О – будівля; ——— – головна гілка; ——— – відгалуження.

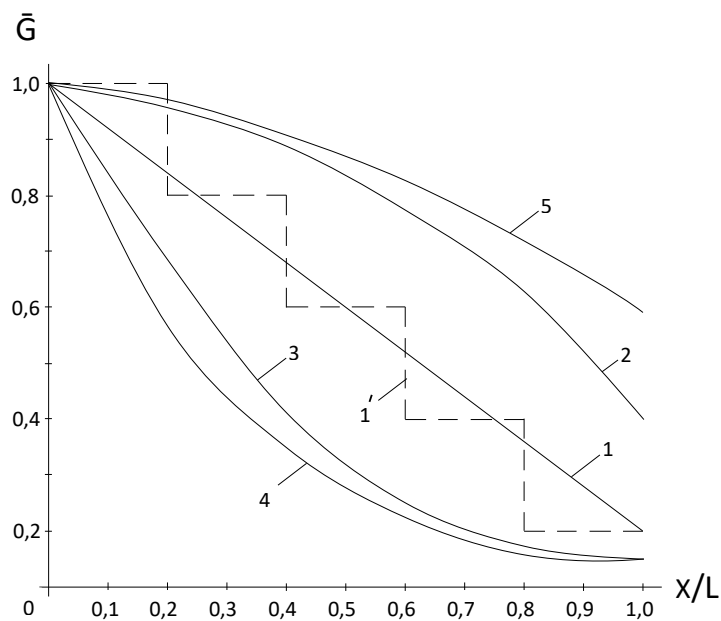


Рис.1.Зміна витрат мережної води по довжині гілки (1-Т)

1' – фактичні витрати теплоносія для розрахункової схеми 1; 1,2,3,4,5 – апроксимація фактичних витрат теплоносія для відповідних схем

$$Q_i = q \cdot l_i \frac{t_{\text{вх}} - t_{\text{от}}}{\Delta t} k, \quad (1)$$

де $t_{\text{вх}}$ – температура теплоносія на вході до ділянки; $t_{\text{от}}$ – температура оточуючого середовища; Δt – різниця температур теплоносія та оточуючого середовища, при якій отримано питомі втрати теплоти через ізоляцію q ; k – коефіцієнт для обліку втрат теплоти конструктивними елементами теплової мережі.

За величину питомих теплових втрат у формулі (1) можна приймати або припустимі (нормативні), або фактичні значення, отримані при теплових випробуваннях мереж. За температурою теплоносія на вході до розрахункової ділянки та його охолодженням у межах ділянки з теплового балансу визначають температуру на виході ділянки, яка для наступної за ходом руху теплоносія ділянки є вхідною температурою і т. д. до найвіддаленішої на гілці подавальної лінії будівлі. При визначенні теплових втрат трубопроводами зворотної лінії опалювальної мережі обчислення розпочинають з найвіддаленішої будівлі. Температуру у кінці розрахункової ділянки визначають з урахуванням втрат теплоти і змішування потоку теплоносія у трубопроводі головної гілки й потоку теплоносія з відгалуження від головної гілки.

Питомі теплові втрати через теплову ізоляцію трубопроводів прийнято на рівні нормативних значень [6]. Втрати теплоти конструктивними елементами мереж враховано коефіцієнтом $k = 1,15$ [6]. Температура ґрунту на глибині вісі теплопроводу становить 5°C [5]. Температура води у подавальному трубопроводі на виході з ЦТП до мікрорайонної мережі дорівнює 105°C , на вході до системи опалення неутеплених будівель 95°C , на виході з системи опалення неутеплених будівель 70°C . Діаметри трубопроводів на ділянках мережі визначено за номограмою для гідравлічного розрахунку водяних теплових мереж за величиною теплового навантаження ділянок при умові, що середні питомі втрати тиску на подолання тертя при русі мережної води знаходяться у межах $40 \leq R_{\text{cp}} \leq 50$ Па/м. Характеристики опалювальної мережі наведені у табл.1. У табл.1 прийняті такі позначення: L_{T} – довжина розрахункової ділянки гілки (1-Т); $Q_{\text{гр}}$ – максимальне опалювальне навантаження групи будівель; d_{cp} – середній діаметр трубопроводів гілки (1-Т); $M_{\text{гр}}$ – матеріальна характеристика мережі в цілому (з урахуванням відгалужень); $M_{\text{від}}$ – матеріальна характеристика відгалужень. Матеріальну характеристику теплопроводів обчислено за формулою

$$M = \sum_{i=1}^n (l_i d_i) \quad (2)$$

Ефективність застосування енергозберігаючих заходів для споруди оцінено величиною відношення витрат теплоти на опалення утепленої будівлі $Q_{\text{о.р.н.}}$ до витрат теплоти для опалення будівлі до її утеплення $Q_{\text{о.р.}}$. Значення теплових навантажень прийнято при розрахунковій для опалення температурі зовнішнього повітря для даної місцевості

$$\mu = \frac{Q_{\text{о.р.н.}}}{Q_{\text{о.р.}}} \quad (3)$$

Зменшення подачі теплової енергії для опалення приміщень утеплених споруд доцільно здійснювати зниженням температури мережної води в опалювальних приладах системи опалення. Визначення показників роботи опалювального комплексу будівлі після утеплення здійснено при умовах, що систему опалення приєднано за незалежною схемою, за допомогою теплообмінного апарату [7, 8]; температура теплоносія на ввіді до утепленої будівлі така сама як на ввіді до неутепленої будівлі і визначається температурним графіком теплової мережі і охолодженням теплоносія при його транспортуванні територією мікрорайону; гідравлічний режим системи опалення будівлі до утеплення й після однаковий. Температуру мережної води на вході та виході системи опалення утепленої будівлі обчислено за запропонованими у роботі [4] формулами

$$\tau_{3,н} = [0,5(\tau_3 + \tau_2) - t_{\text{вн}}] \cdot \mu^{0,8} + \mu(\tau_3 - \tau_2) + t_{\text{вн}} \quad (4)$$

$$\tau_{2,н} = \tau_{3,н} - \mu(\tau_3 - \tau_2) \quad (5)$$

де $\tau_{3,н}$, $\tau_{2,н}$ – температура мережної води на вході й виході системи опалення утепленої будівлі; τ_3 , τ_2 – температура мережної води на вході й виході системи опалення будівлі до її утеплення; $t_{\text{вн}}$ – температура внутрішнього повітря у приміщенні.

Витрати води з мікрорайонної мережі для опалення утепленої будівлі можна визначити за формулою (6), отриманої з рівняння теплового балансу теплообмінного апарату незалежної схеми приєднання системи опалення будівлі до теплових мереж [4]

$$\beta = G_c(\mu) / G_c(\mu=1) = \mu \left[\tau_{1c}^p - (\tau_2^p + \Delta\tau) \right] / \left[\tau_{1cн}^p - (\tau_{2н}^p + \Delta\tau) \right] \quad (6)$$

де τ_{1c}^p – температура мережної води при розрахунковій температурі зовнішнього повітря на ввіді до системи опалення будівлі до її утеплення; $\tau_{1cн}^p$ – те ж саме після утеплення; τ_2^p , $\tau_{2н}^p$ – температура води на виході опалювального приладу будівлі при розрахунковій температурі зовнішнього повітря до її утеплення та після утеплення відповідно; $\Delta\tau$ – пере-

вищення температури нагрівної води на виході з теплообмінного апарату порівняно з температурою води, що нагрівається, на виході з теплообмінника.

При обчисленнях значення перевищення температури Δt для опалювального теплообмінника прийнято рівним 10°C . Значення коефіцієнта μ для окремої будівлі прийнято 0,6, що відповідає зменшенню витрат на опалення житлових будинків, введених в експлуатацію у минулому сторіччі, при впровадженні для них енергозберігаючих заходів, що забезпечать відповідність опору теплопередачі огорожувальних конструкцій сучасним вимогам [1]. Температура мережної води на вході до системи опалення утепленої споруди така ж сама як для неутепленої і відповідає температурному графіку теплових мереж. Температура мережної води на виході системи опалення утепленої будівлі для таких умов дорівнює $53,36^{\circ}\text{C}$, після теплообмінного апарату на вході до зворотного трубопроводу розподільної теплової мережі $63,36^{\circ}\text{C}$.

Для кожної схеми теплопостачання обчислено витрати мережної води для опалення і втрати тепло-

ти трубопроводами опалювальної мережі для вихідного варіанту (до утеплення будівель). У подальшому з цими значеннями порівнювали зміну показників роботи мереж при утепленні будівель. Розглянуто варіанти утеплення всіх будівель забудови (коефіцієнт ефективності енергозберігаючих заходів, обчислений для групи будівель в цілому дорівнює $\mu_{\text{гр}} = 0,6$) і утеплення окремих споруд. В останньому випадку загальний коефіцієнт $\mu_{\text{гр}}$ для варіантів було прийнято рівним 0,92; 0,84; 0,76 і 0,68, що відповідало утепленню відповідно двох, чотирьох шести і восьми будівель з тих, що утворюють забудову. У кожному випадку для утеплення було обрано найвіддаленіші від ЦТП споруди, що згідно з висновками роботи [3] забезпечує максимальний ефект зменшення втрат теплоти трубопроводами мережі. Результати обчислень у вигляді залежності відносних втрат теплоти трубопроводами розподільної теплової мережі від коефіцієнта $\mu_{\text{гр}}$ подано на рис. 2.

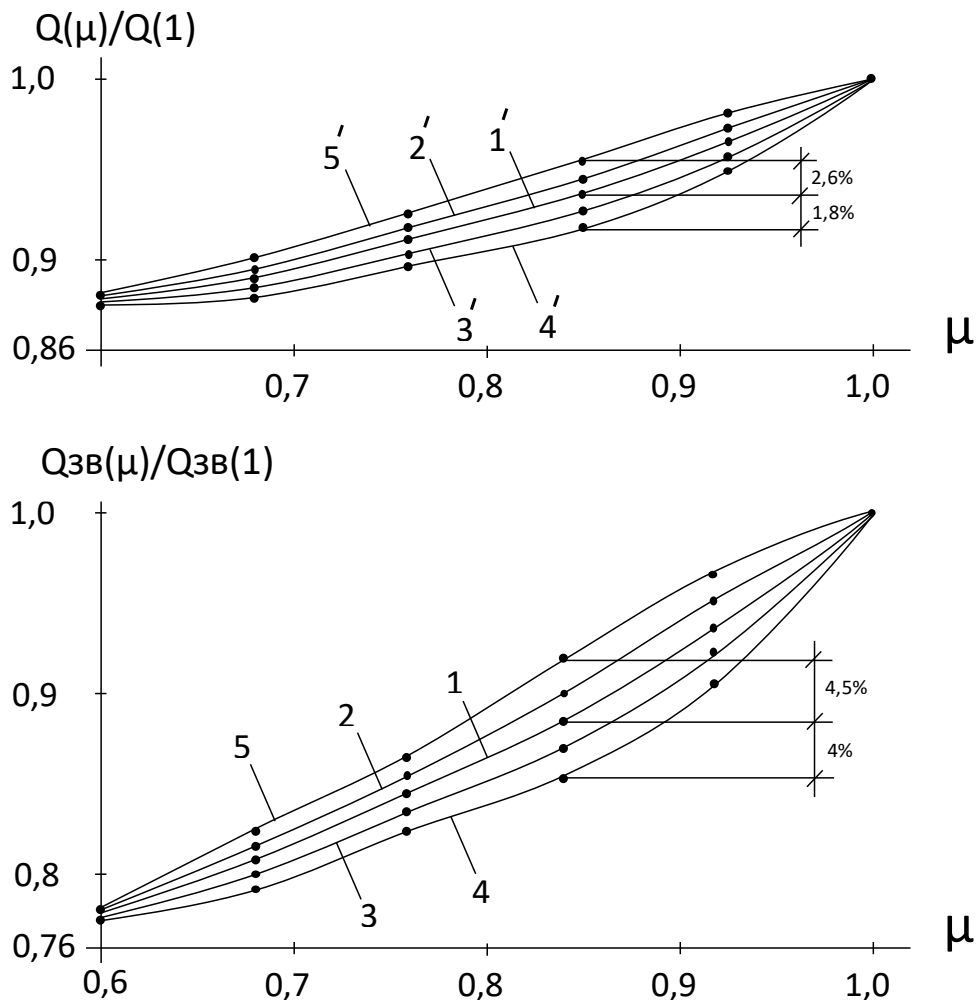


Рис. 2.- Залежність зміни втрат теплоти трубопроводами опалювальної мережі від коефіцієнта ефективності утеплення групи будівель

1', 1 – розрахункова схема 1; 2', 2 – схема 2; 3', 3 – схема 3; 4', 4 – схема 4; 5', 5 – схема 5; 1...5 – зворотний трубопровід розподільної опалювальної мережі; 1'... 5' – опалювальна мережа в цілому

Як показав аналіз результатів обчислень, для всіх розглянутих конфігурацій мережі зміна відносних втрат теплоти теплопроводами практично не залежить від величини опалювального навантаження групи будівель. Вплив утеплення будівель на зміну теплового стану подавального трубопроводу опалювальної мережі незначний. Відмінність теплових втрат для варіантів утеплення всіх споруд забудови ($\mu_{\text{гр}} = 0,6$) та вихідних варіантів ($\mu_{\text{гр}} = 1$) для розглянутих конфігурацій мереж не перевищує 0,5%. Зменшення теплових втрат для подавального трубопроводу обумовлене зміною витрат мережної води при утепленні будівель. Зменшення теплових втрат зворотними трубопроводами мережі при утепленні будівель обумовлене насамперед більш низькими температурами мережної води на виході теплообмінника системи опалення. На тепловий стан зворотних трубопроводів розподільної мережі помітно впливає також і закон зміни витрат мережної води по довжині теплопроводу. Для врахування особливостей розподілу витрат теплоносія використана величина відносних середніх витрат

$$\bar{G}_{\text{ср}} = G_{\text{ср}} / G_{\text{вх}} \quad (7)$$

де $G_{\text{вх}}$ – витрати мережної води на вході до гілки (максимальні на гілці витрати води).

Для розглянутих варіантів виконання теплових мереж найбільші середні витрати теплоносія характерні для схеми 5, найменші – для схеми 4. Більша величина витрат води обумовлює менше її охолодження під час руху трубопроводом і підвищені втрати теплоти. Конфігурація теплових мереж для схеми 4 обумовлює суттєве зменшення витрат води на ділянках мережі і меншу величину теплових втрат. При значеннях $\mu_{\text{гр}} = 0,6$ для розглянутих конфігурацій мереж характерна практично однакова величина зміни втрат теплоти трубопроводами. Як видно з рис. 2, найбільша відмінність між втратами теплоти зворотними трубопроводами для схем 5, 4 і 1, яка дорівнює приблизно 4%, спостерігається в інтервалі значень $0,75 \leq \mu_{\text{гр}} \leq 0,92$. Максимальна відмінність теплових втрат для мережі в цілому для того ж самого інтервалу значень $\mu_{\text{гр}}$ дорівнює приблизно 2%. Узагальнення результатів обчислень дозволило отримати формулу для визначення відносних втрат теплоти трубопроводами мереж залежно від величини коефіцієнта $\mu_{\text{гр}}$, який враховує ефективність заходів з енергозбереження для забудови в цілому, і відносних середніх витрат мережної води у межах ділянок головної гілки в інтервалі значень $0,4 \leq \bar{G}_{\text{ср}} \leq 0,8$. Теплові втрати визначено з урахуванням втрат трубопроводами відгалужень. Для зворотних трубопроводів для діапазону значень $0,7 \leq \mu_{\text{гр}} \leq 0,9$ формула має вигляд

$$\frac{Q_{\text{зв}}(\mu_{\text{гр}})}{Q_{\text{зв}}(1)} = \frac{1}{1 + (0,39 + 0,63\bar{G}_{\text{ср}})(1 - \mu_{\text{гр}})} \quad (8)$$

Для оцінок зміни теплового стану розподільної мережі в цілому (зворотні трубопроводами + подавальні) для інтервалу значень $0,7 \leq \mu_{\text{гр}} \leq 0,9$ формула має вигляд

$$\frac{Q_{\text{м}}(\mu_{\text{гр}})}{Q_{\text{м}}(1)} = \frac{1}{1 + (0,17 + 0,25\bar{G}_{\text{ср}})(1 - \mu_{\text{гр}})} \quad (9)$$

Висновки

1. При централізованому тепlopостачанні фрагменту забудови зменшення опалювального навантаження внаслідок утеплення будівель і зниженні температури мережної води в опалювальних приладах приміщень обумовлює зменшення втрат теплоти трубопроводами розподільних теплових мереж.

2. Величина зменшення теплових втрат теплопроводами визначається ступенем ефективності утеплення будівель, характером зміни витрат теплоносія по довжині гілки теплової мережі і практично не залежить від величини опалювального навантаження будівель.

3. Зафіксована відмінність результатів обчислень теплових втрат для зворотних трубопроводів для середніх відносних витрат мережної води 0,75 та 0,5 становить приблизно 3,5%, для опалювальної мережі в цілому – 1,5%.

3. Для обчислення зменшення втрат теплоти трубопроводами опалювальної мережі централізованих систем запропоновано формули, придатні для використання у діапазонах значень $0,7 \leq \mu_{\text{гр}} \leq 0,9$.

Література

1. Теплова ізоляція будівель. [Текст] / ДБН В.2.6-31:2016. - Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2016. – 31с.
2. Алексахін, О.О. Аналіз теплових втрат трубопроводами розгалуженої опалювальної мережі з урахуванням можливо-го зниження розрахункового опалювального навантаження будівель [Текст] / О.О. Алексахін // Енергосбереження. Енергетика. Енергоаудит, 2013, № 8(114).
3. Алексахін, А. А. Теплотери трубопроводами отопительной сети при изменении расчетной отопительной загрузки зданий микрорайона [Текст] / А.А.Алексахин, А.В.Бобловский // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит, 2011, №9
4. Алексахин, А. А. Особенности утепления групп зданий при централизованном теплоснабжении [Текст] / А.А. Алексахин, С.В. Ена, Е.П. Гордиенко, М.В. Сыров, Р.С. Фещенко // Интегрированные технологии та энергосбережения, №3, 2018, Харьков, с 27-34.
5. ДСТУ–Н Б В.1.1-27:2010. [Текст] / Будівельна кліматологія.: Мінрегіонбуд, Київ. 2011. – 123 с.
6. Тепловая изоляция [Текст] / под ред. Г.Ф. Кузнецова. – М.: Стройиздат, 1995. – 421 с.
7. Тарадай, А.М. Основы разработки пластинчатых теплообменников для систем теплоснабжения [Текст] / А.М. Тарадай; - Харьков: Основа, 1998. – 192 с.

8. Зингер Н.М. Пластинчатые теплообменники в системах теплоснабжения [Текст] / Н.М.Зингер, А.М. Тарадай, Л.С. Бармина - М.: Энергоатомиздат, 1995. -256 с.

References

1. Thermal insulation of buildings. (2016) DBN B.2.6-31: 2016. - Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Services of Ukraine, 31.
2. Aleksakhin, OO (2013) Analysis of thermal losses by pipelines of a branched heating network, taking into account the possible reduction of the estimated heating load of buildings. *Energy saving. Energy. Energy Audit*, 8 (114).
3. Aleksakhin, AA, Boblovsky, AV (2011) Heat losses through pipelines of the heating network when changing the estimated heating load of buildings of the residential district. *Energy saving. Energy. Energy Audit*, 9.
4. Aleksakhin, AA, Yena, SV, Gordienko, EP, Syrov, MV, Feshchenko, RS. (2018) Peculiarities of Warming of Groups in District Heating Supply. *Integrated Technologies and Energy Saving*, 3. Kharkiv, 27-34.
5. DSTU – N B V.1.1-27: 2010. (2011) Building climatology .: Minregionstroy, Kyiv, 123.
6. Kuznetsova,GF(1995)Thermal insulation.- М.:Stroyizdat,421.
7. Taraday, A.M. (1998) Fundamentals of plate heat exchanger development for heat supply systems. Kharkov: Basis, 192.
8. Singer, N.M., Taradai, A.M., Barmina, L.S. (1995) Plate heat exchangers in heat supply systems - М .: Energoatomizdat, 256.

Рецензент: доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри теплотехніки та теплових двигунів А.П. Фалендиш, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна

Автор: АЛЕКСАХІН Олександр Олександрович кандидат технічних наук, доцент кафедри теплофізики, молекулярної фізики та енергоефективності Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна
E-mail – ktmf_fef@karazin.ua

Автор: БОБЛОВСКИЙ Олександр Володимирович асистент кафедри нафтогазової інженерії і технологій Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E-mail – alexander.boblovskii@gmail.com

Автор: ЖАРІЙ Кирило Олегович студент Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна
E-mail – kirilljariy@gmail.com

Автор: СИДОРЕНКО Жанна Валентинівна студентка Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна
E-mail – sdrzhanna@gmail.com

Автор: СКОРИК Марія Сергіївна студентка Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна
E-mail – skorikmaria3@gmail.com

HEAT MODES OF THE HEATING NETWORK IN WARMING BUILDINGS

A. Aleksahin¹, A. Boblovsky², K. Zhariy¹, J. Sidorenko¹, M. Skorik¹

¹V. N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine

²O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine

The results of calculations of heat losses by network pipelines for heating of idealized groups of buildings during insulation of structures are presented in the work. Formulas for estimation of heat loss reduction by heat conduits are proposed depending on the efficiency of energy saving measures for construction and the law of change of network water costs along the length of the heat conduit, which is determined by the network configuration. The purpose of this work is to evaluate the influence of the hydraulic characteristics of the branches of the heating network on the magnitude of heat losses during transportation of the coolant by pipelines of the distribution network to buildings. Idealized groups of buildings with the same number of objects and the same maximum heat consumption for heating of a separate building are considered. For district heating systems, the efficiency of implementing energy-saving measures for buildings is determined not only by the reduction of heating costs, but also by the change in operating costs for the microdistrict heating network, which is caused by the reduction of heat carrier costs and heat losses by heating system pipelines. The magnitude of the heat loss depends on the method of laying the networks, the parameters of the pipeline insulation, the temperature of the coolant, and the environment. In the case of selective insulation of the buildings of the selected group of buildings, the location of the insulated building is significantly influenced by the amount of heat losses by the pipelines. In case of centralized heat supply, a fragment of the construction load decrease due to the insulation of buildings and the reduction of the network water temperature in the space heating devices causes the reduction of heat losses by the pipelines of the distribution thermal networks. The magnitude of the reduction of heat losses by heat pipelines is determined by the degree of efficiency of insulation of buildings, the nature of changes in the cost of the coolant along the length of the branch of the thermal network and practically does not depend on the magnitude of the heating load of buildings.

Keywords: centralized heat supply, centralized heating systems, energy saving, heat transfer resistance, enclosing structures, coefficient of efficiency of building insulation, distribution thermal networks, heat loss by pipelines.