

О. О. Алексахін¹, к. техн. н., доцент, О. В. Круглякова², к. техн. н., доцент,
О. В. Бобловський³, асистент, Л. І. Тютюник², к. техн. н., доцент

ПАРАМЕТРИ ТЕПЛООБМІННИКІВ ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ ДЛЯ ТЕПЛОВИХ ПУНКТІВ УТЕПЛЕНИХ БУДІВЕЛЬ ПРИ ОДНОСТУПІНЧАСТІЙ СХЕМІ ПРИЄДНАННЯ

¹Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна, м. Харків

²Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків

³Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова,
м. Харків

Ключові слова: централізоване тепlopостачання; реформування систем тепlopостачання; індивідуальний тепловий пункт; підігрівники гарячої води; одноступінчаста схема приєднання теплообмінників; площа поверхні теплопередачі, витрати мережної води для гарячого водопостачання.

Однією з особливостей утвореної за останні десятиріччя системи централізованого тепlopостачання міст України є наявність у житлових мікрорайонах центрів управління тепловими і гідравлічними режимами, якими є теплорозподільні станції (ТРС). Для забезпечення потреб централізованого гарячого водопостачання споживачів мікрорайону у технологічній схемі ТРС передбачено встановлення потужних підігрівних установок. При такій схемі тепlopостачання розподільні теплові мережі є чотиритрубними, що обумовлює суттєві втрати теплоти мікрорайонними теплопроводами. Як один із можливих заходів зменшення втрат при транспортуванні теплової енергії розподільними теплопроводами є перенесення теплообмінників гарячого водопостачання в індивідуальні теплові пункти (ТП) будівель, що дозволить перейти до двотрубної розподільної теплової мережі. Особливості такого переходу розглянуто, наприклад, у роботах [1, 2].

При «зв'язаній» подачі тепла отримана системою опалення кількість теплоти залежить від витрат теплоти системою гарячого водопостачання. Це обумовлено обмеженням загальної кількості теплоти, яка надходить до мікрорайону, з розрахунку годинних витрат теплоти на опалення і середніх за добу теплових витрат на гаряче водопостачання. При цьому надходження теплоти до системи гарячого водопостачання не обмежується [3]. Як наслідок, будь-яке відхилення витрат теплоти на гаряче водопостачання від середнього значення обумовлює зміну подачі теплоти до системи опалення і відповідну зміну температури повітря всередині опалювальних приміщень. Тому вибір схеми приєднання теплообмінних апаратів гарячого водопостачання рекомендовано [4, 5] здійснювати залежно від співвідношення максимальних витрат теплоти на гаряче водопостачання та опалення $\gamma_{\max} = Q_{h,\max}/Q_{o,\max}$. Приєднання теплообмінників за одноступінчастою послідовною схемою (рис. 1, а) доцільне при значеннях $\gamma_{\max} < 0,15$. При значеннях $\gamma_{\max} > 1$ доцільне використання одноступінчастої паралельної схеми (рис. 1, б).

Підвищення опору теплопередачі будівельних конструкцій при «утепленні» функціонуючих будівель з метою зменшення енергоспоживання обумовлює необхідність

приведення відпуску теплоти до системи опалення у відповідність зменшеним втратам теплоти приміщеннями. Це доцільно здійснювати зниженням температури теплоносія на вході до системи опалення, що в умовах «зв’язаної» подачі теплоти впливатиме на показники роботи теплообмінних апаратів гарячого водопостачання, встановлених на ІТП будівель.

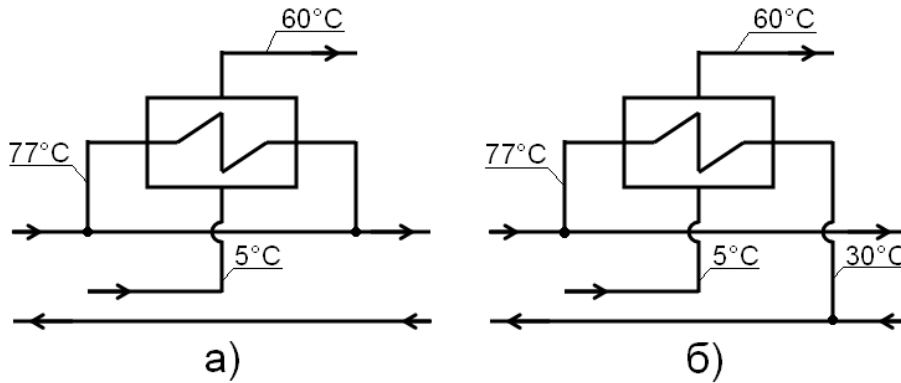


Рисунок 1 – Одноступінчасті схеми приєднання водопідігрівників до закритих теплових мереж: а – послідовна; б – паралельна

Метою роботи є оцінка витрат мережної води і площі поверхні теплообміну підігрівників гарячої води при застосуванні на ІТП утепленої будівлі одноступінчастої паралельної схеми приєднання.

Значення температури мережної води на вході ($\tau_{3,н}$) й виході ($\tau_{2,н}$) системи опалення утепленої будівлі можна визначити за наведеними у роботі [6] співвідношеннями

$$\tau_{3,н} = [0,5(\tau_3 + \tau_2)](\mu \bar{Q}_0)^{0,8} + 0,5(\tau_3 - \tau_2)\mu \bar{Q}_0 + t_{вн}, \quad (1)$$

$$\tau_{2,н} = \tau_{3,н} - (\tau_3 - \tau_2)\mu \bar{Q}_0, \quad (2)$$

де $t_{вн}$ – температура внутрішнього повітря у приміщеннях [7]; τ_3, τ_2 – температура мережної води на вході й виході системи опалення будівлі до утеплення відповідно; $\bar{Q}_0 = (t_{вн} - t_n)/(t_{вн} - t_{p,o})$ – відносне опалювальне навантаження будівлі; t_n – поточна температура зовнішнього повітря; $t_{p,o}$ – розрахункова для опалення температура зовнішнього повітря для кліматичних умов конкретної місцевості [8].

Коефіцієнт μ дорівнює відношенню витрат теплоти на опалення утепленої будівлі при розрахунковій для опалення температурі зовнішнього повітря у конкретній місцевості $Q_{o,н}$ до витрат теплоти на опалення будівлі до її утеплення при тій самій температурі зовнішнього повітря $Q_{o,p}$.

$$\mu = \frac{Q_{o,н}}{Q_{o,p}}. \quad (3)$$

Витрати води з мікрорайонної теплової мережі для опалення будівлі визначено при умові, що систему опалення приєднано до мережі за незалежною схемою за допомогою теплообмінного апарату. В такому разі формула для відносних витрат мережної

води для опалення має вигляд [6]

$$\beta = \frac{G(\mu)}{G(\mu=1)} = \frac{\mu[\tau_{1,p} - (\tau_{2,p} + \Delta)]}{\tau_{1,p,n} - (\tau_{2,p,n} + \Delta)}, \quad (4)$$

де $G(\mu)$, $G(\mu=1)$ – витрати мережної води для опалення будівлі після і до утеплення будівлі відповідно; $\tau_{1,p}$, $\tau_{2,p}$ – температура мережної води у подавальному трубопроводі теплових мереж й на виході системи опалення неутепленої будівлі при розрахунковій для опалення температурі зовнішнього повітря; $\tau_{1,p,n}$, $\tau_{2,p,n}$ – те ж саме після утеплення будівлі; Δ – недогрів води в опалювальному теплообмінному апараті.

Тепловий еквівалент витрат мережної води через ІТП при одноступінчастій паралельній схемі приєднання підігрівників гарячої води дорівнює сумі теплових еквівалентів витрат через систему опалення і теплообмінники системи гарячого водопостачання

$$W_{\text{одн}} = cG_{\text{одн}} = \frac{Q_{o,n,\max}}{\tau_{3,p,n} - \tau_{2,p,n}} + \frac{Q_{h,\max}}{\tau'_{1,n} - \tau'_{2,n}}, \quad (5)$$

де $G_{\text{одн}}$ – витрати мережної води; $Q_{o,n,\max}$ – витрати теплоти для опалення утепленої будівлі при розрахунковій для опалення температурі зовнішнього повітря; $Q_{h,\max}$ – максимальні витрати теплоти для гарячого водопостачання споруди; $\tau_{3,p,n}$ – температура мережної води на вході системи опалення утепленої будівлі при розрахунковій для опалення температурі зовнішнього повітря; $\tau'_{1,n}$, $\tau'_{2,n}$ – температура мережної води на вході системи опалення температурі зовнішнього повітря у точці зламу температурного графіка; c – питома теплоємність мережної води.

Величина охолодження мережної води в системі опалення утепленої ($\tau_{3,p,n} - \tau_{2,p,n}$) і неутепленої будівлі ($\tau_{3,p} - \tau_{2,p}$) пов'язані між собою співвідношенням [6]

$$\tau_{3,p,n} - \tau_{2,p,n} = \mu(\tau_{3,p} - \tau_{2,p}). \quad (6)$$

Наведені вище формули отримано при умові, що витрати води через систему опалення будівлі до утеплення і після незмінні. Графік зміни температури мережної води залежно від коефіцієнта ефективності утеплення будівлі μ та величини відносного опалювального навантаження \bar{Q}_o подано на рис. 2.

При аналізі характеристик теплообмінних апаратів максимальну ефективність утеплення будівель прийнято рівною 35 % ($\mu = 0,65$). Обчислення проведено для таких значень температури води, що нагрівається [9, 10]: $t_x = 5$ °С (холодна водопровідна вода), $t_r = 55$ °С (гаряча вода). Розрахункову температуру мережної води для гарячого водопостачання прийнято за параметрами точки зламу температурного графіка ($\bar{Q}_o = 0,35$). Розрахункові температури мережної води для системи опалення будівель до утеплення прийнято рівними $\tau_{1,p} = 95$ °С (подавальний трубопровід), $\tau_{2,p} = 70$ °С (зворотний трубопровід). Площу поверхні теплопередачі теплообмінного апарату визначено з рівняння теплопередачі [11, 12] залежно від величини розрахункового теплового навантаження апарату Q_a ; коефіцієнта теплопередачі k_p ; середньої логарифмічної різниці те-

мператур середовищ у теплообміннику $\Delta\bar{t}_a$

$$F = \frac{Q_a}{k_p \Delta\bar{t}_a} \tag{7}$$

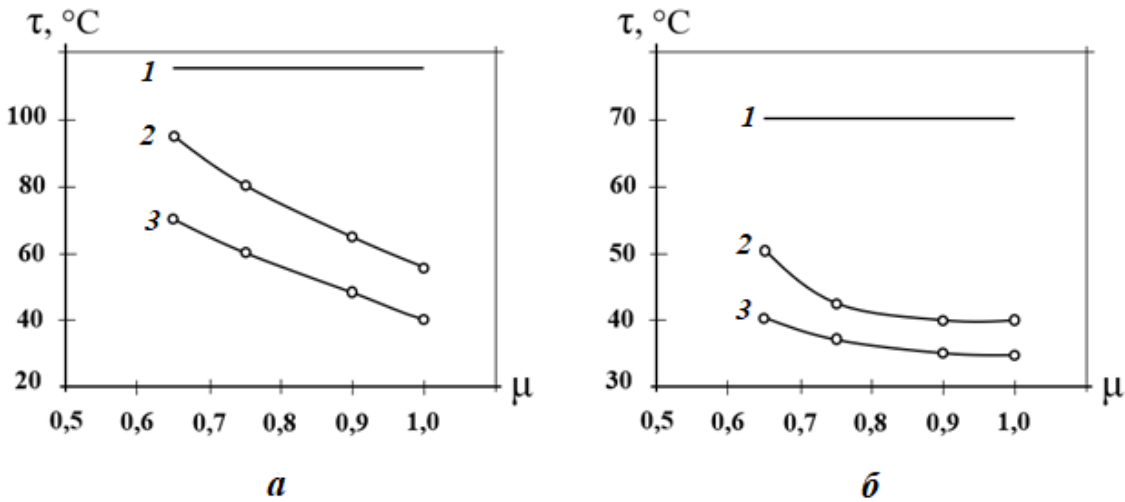


Рисунок 2 – Температура мережної води:

a – при $\bar{Q}_0 = 1$; *б* – при $\bar{Q}_0 = 0,35$; 1 – подавальний трубопровід розподільної теплової мережі; 2 – на вході до системи опалення; 3 – на виході з системи опалення

У схемах індивідуальних теплових пунктів, як правило, використовують пластинчасті теплообмінні апарати. З урахуванням термічного опору відкладень на пластинах апаратів коефіцієнти теплопередачі змінюються у діапазоні $1600 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{°C}) \pm 7\%$. У подальших обчисленнях величину коефіцієнта теплопередачі для теплообмінників гарячого водопостачання прийнято рівною $1600 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{°C})$ [13]. При визначенні середньої логарифмічної різниці температур речовин у теплообміннику температуру мережної води на вході до підігрівника гарячої води прийнято рівною температурі у подавальному трубопроводі розподільної теплової мережі, на виході з підігрівника – рівною температурі мережної води після системи опалення. Зміну витрат мережної води через індивідуальний тепловий пункт і площі поверхні теплопередачі теплообмінників гарячого водопостачання подано на рис. 3.

Залежно від співвідношення максимальних теплових навантажень γ_{max} підвищення ефективності утеплення будівлі обумовлює зменшення витрат мережної води орієнтовно на 30–37%. При розглянутому у роботі способі зменшення подачі теплової енергії до системи опалення утепленої будівлі при зменшенні коефіцієнта μ слід очікувати збільшення потрібної площі поверхні підігрівників гарячої води. Вказане збільшення становить приблизно 12% при $\mu = 0,65$ і приблизно 9% при $\mu = 0,75$.

Результати обчислень узагальнені рівняннями для величин теплового еквівалента витрат мережної води $W_{\text{одн}} = cG_{\text{одн}}$ і площі поверхні теплопередачі теплообмінників гарячого водопостачання $F_{\text{одн}}$

$$W_{\text{одн}} = [0,016\gamma_{\text{max}} + \mu(0,0186\gamma_{\text{max}} + 0,034) - 0,0123] Q_{0,\text{max}} \tag{8}$$

$$F_{\text{одн}} = (3,46 - 0,89\mu)10^{-5} Q_{h,\text{max}} \cdot \quad (9)$$

Величина $Q_{o,\text{max}}$ (Вт) характеризує опалювальне навантаження будівлі до її утеплення. Похибка апроксимації результатів обчислень формулами (8), (9) не перевищує 3 %. Запропоновані співвідношення можуть бути корисними при порівнянні схем приєднання підігрівників гарячої води до теплових мереж.

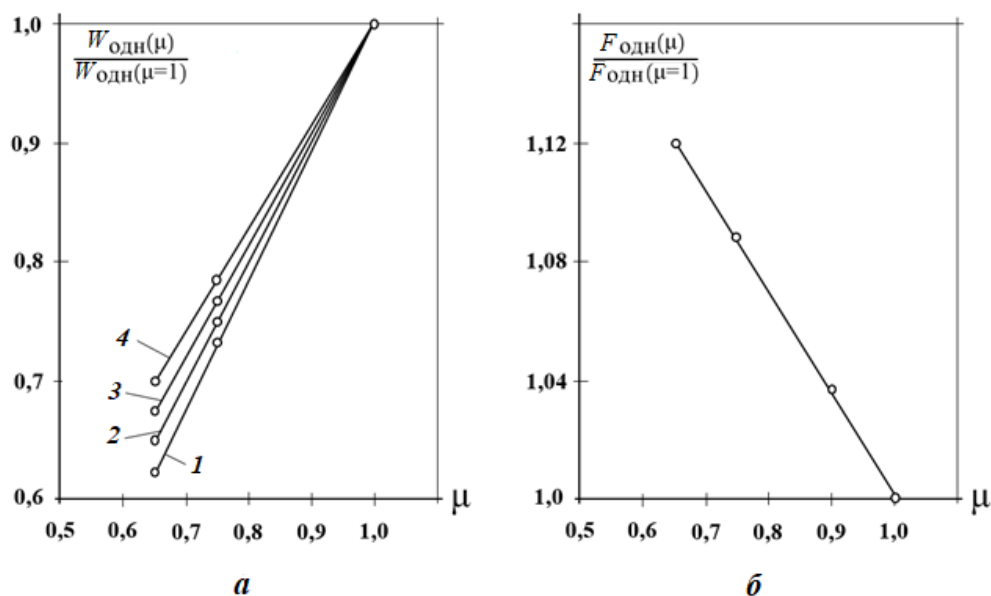


Рисунок 3 – Вплив ефективності утеплення будівлі на витрати мережної води через ІТП (а) і площу поверхні теплопередачі підігрівників гарячої води (б)
 $1 - \gamma_{\text{max}} = 0,6$; $2 - 0,8$; $3 - 1,0$; $4 - \gamma_{\text{max}} = 1,2$

Висновки

1. Проведено оцінки зміни показників підігрівників гарячого водопостачання, що встановлені на індивідуальних теплових пунктах (ІТП) утеплених житлових будинків за одноступінчастою схемою.

2. Показано, що утеплення будівель обумовлює зменшення витрат мережної води орієнтовно на третину і необхідність збільшення площі теплопередачі підігрівників гарячого водопостачання приблизно на 9–12 %.

3. Результати обчислень узагальнено формулами для обчислення витрат мережної води і площі поверхні теплопередачі теплообмінних апаратів гарячого водопостачання. Похибка апроксимації результатів обчислень знаходиться у межах 3 %.

4. Отримані формули можуть бути використані при оцінках ефективності схем приєднання підігрівних установок гарячого водопостачання індивідуальних теплових пунктах утеплених будівель.

Література

1. Алексахін О.О., Бобловський О.В. Теплові і гідравлічні режими мікрорайонних систем в умовах реформування централізованого теплопостачання. – Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. – 180 с.
2. Алексахин А.А., Бобловский А.В. К вопросу о переходе на двухтрубные си-

стемы теплоснабження микрорайонів // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. №11(142), 2015. – С. 26-31.

3. Бобух А.О. Автоматизація інженерних систем: Навч. посібн.– Х.: ХНАМГ, 2005. – 212 с.

4. Тарадай А.М. Основы разработки пластинчатых теплообменников для систем теплоснабжения. –Харьков: Основа, 1998. –192 с.

5. Пластинчатые теплообменники в промышленности: Учеб. пособ. / Л.Л. Товажнянский, П.А. Капустенко, Г.Л. Хавин и др.: под общ. ред. Л.Л. Товажнянского;– Харьков: НТУ «ХПИ», 2004. – 232 с.

6. Алексахин А.А. Особенности утепления групп зданий при централизованном теплоснабжении / А.А. Алексахин, С.В. Ена, Е.П. Гордиенко, М.В. Сыров, Р.С. Фещенко // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2018. – №3. – С. 27–34.

7. Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6-31:2016. – Офіційне видання. – К. : Мін-регіон України, 2017.

8. Будівельна кліматологія: ДСТУ НБВ.1.1-27:2010: чинний від 01.11.2011: Мін-регіонбуд, Київ. 2011. – 123 с.

9. Норми та вказівки по нормуванню витрат палива та теплової енергії на опалення житлових та громадських споруд, а також на господарські потреби в Україні: керівний технічний матеріал 204 України, 244-94, 195. – 636 с.

10. Алексахін О.О. Теплообмінні апарати в системах тепlopостачання: Навч. посібн. / О.О. Алексахін, А.М. Ганжа, О.В. Круглякова. – Х: «Друкарня Мадрид», 2023. – 249 с.

11. Wong H.Y. Handbook of Essential Formulae and Data on Heat Transfer for Engineers. Longman, London and New York, 1977.

12. Драганов Б.Х., Долінський А.А., Міщенко А.В., Письменний Є.М. Теплотехніка. – К.: «ІНКОС» 2005. – 504 с.

13. Алексахін О.О., Бобловський О.В., Круглякова О.В., Чайка Ю.І. Розрахунок підігрівників гарячої води для індивідуальних теплових пунктів з урахуванням зміни температурного графіка розподільної теплової мережі // Комунальне господарство міст: наук.-техн. збірник. – Харків, 2023. – Том 1, вип.175. – С. 26–31.

Bibliography (transliterated)

1. Aleksakhin O.O., Boblovskiy O.V. Teplovi i hidravlichni rezhymy mikrorajonnykh system v umovakh reformuvannya tsentralizovanoho teplopstachannia. – Kharkiv: KhNUMH im. O.M. Beketova, 2021. – 180 p.

2. Aleksahin A.A., Boblovskij A.V. K voprosu o perehode na dvuhtrubnye sistemy teplosnabzheniya mikrorajonov // Energoberezenie. Energetika. Energoaudit. №11(142), 2015. –P. 26–31.

3. Bobukh A.O. Avtomatyzatsiia inzhenernykh system: Navch. posibn.– Kh.: KhNAMH, 2005. – 212 p.

4. Taradai A.M. Osnovi razrabotki plastinchatikh teploobmennikov dlya sistem teplosnabzheniya. –Kharkov: Osnova, 1998. –192 p.

5. Plastinchatye teploobmenniki v promyshlennosti: Ucheb. posob. / L.L. Tovazhnyanskyu, P.A. Kapustenko, G.L. Havin i dr.: pod obsh. red. L.L. Tovazhnyanskogo;– Harkov: NTU «HPI», 2004. – 232 p.

6. Aleksakhin A.A. Osobennosti utepleniya grupp zdaniy pri tsentralizovannom teplosnabzhenii / A.A. Aleksakhin, S.V. Yena, Ye.P. Gordienko, M.V. Sirov,

- R.S. Feshchenko // *Intehrovani tekhnolohii ta enerhozberezhennia*. – 2018. – №3. – P. 27–34.
7. *Teplova izoliatsiia budivel: DBN V.2.6-31:2016*. – Ofitsiine vydannia. – K.: Minrehion Ukrainy, 2017.
8. *Budivelna klimatolohiia: DSTU NBV.1.1-27:2010: chynnyi vid 01.11.2011: Minrehionbud, Kyiv*. 2011. – 123 p.
9. *Normy ta vkazivky po normuvanniu vytrat palyva ta teplovoi enerhii na opalennia zhytlovykh ta hromadskykh sporud, a takozh na hospodarski potreby v Ukraini : kerivnyi tekhnichniy material 204 Ukrainy, 244-94, 195*. – 636 p.
10. Aleksakhin O.O. *Teploobminni aparaty v systemakh teplopostachannia: Navch. posibn.* / O. O. Aleksakhin, A.M. Hanzha, O.V. Kruhliakova. – Kh: «Drukarnia Madryd», 2023. – 249 p.
11. Wong H.Y. *Handbook of Essential Formulae and Data on Heat Transfer for Engineers*. Longman, London and New York, 1977.
12. Drahanov B.Kh., Dolinskyi A.A., Mishchenko A.V., Pysmennyi Ye.M. *Teplotekhnika*. – K.: «INKOS» 2005. – 504 p.
13. Aleksakhin O.O., Boblovskiy O.V., Kruhliakova O.V., Chaika Yu.I. *Rozrakhunok pidihrivnykiv hariachoi vody dlia indyvidualnykh teplovykh punktiv z urakhuvanniam zminy temperaturnoho hrafika rozpodilnoi teplovoi merezhi // Komunalne hospodarstvo mist: nauk.–tekhn. zbirnyk*. – Kharkiv, 2023. – Tom 1, vyp.175. – P. 26–31.

УДК 658.264

О. О. Алексахін, О. В. Круглякова, О. В. Бобловський, Л. І. Тютюник

ПАРАМЕТРИ ТЕПЛООБМІННИКІВ ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ ДЛЯ ТЕПЛОВИХ ПУНКТІВ УТЕПЛЕНИХ БУДІВЕЛЬ ПРИ ОДНОСТУПІНЧАСТІЙ СХЕМІ ПРИЄДНАННЯ

Розглянуто особливості функціонування централізованих систем теплопостачання житлових мікрорайонів при проведенні робіт з «утеплення» існуючих будівель, а саме, показники роботи підігрівних установок гарячого водопостачання. Проаналізовано вплив величини зменшення опалювального навантаження внаслідок проведення робіт з підвищення опору теплопередачі конструкцій будівлі на витрати мережної води і площу теплопередачі теплообмінних апаратів гарячого водопостачання. Оцінки проведено для умов використання одноступінчастої паралельної схеми приєднання теплообмінників до розподільних теплових мереж. При обчисленні площі поверхні теплопередачі використано відомі співвідношення для коефіцієнтів теплообміну для таких найбільш вживаних у системах теплопостачання теплообмінників, якими є пластинчасті апарати. Визначено діапазон зміни площі поверхні теплопередачі підігрівників гарячої води і витрат мережної води залежно від співвідношення максимальних теплових навантажень гарячого водопостачання та опалення будівлі і величини ступеня ефективності утеплення споруди. Запропоновано формули для визначення параметрів теплообмінних апаратів гарячого водопостачання. Формули справедливі у діапазоні зменшення витрат теплоти на опалення внаслідок утеплення будівлі від 0 до 35 %. Оцінку зменшення опалювального навантаження проведено за умови забезпечення при термомодернізації будівлі, що споруджена за нормами, які діяли декілька десятиліть тому, сучасних вимог до величини термічного опору будівельних конструкцій. Температуру води у системі опалення утепленої будівлі визначено залежно від величини ступеня ефективності уте-

плення споруди при умові, що витрати води через систему опалення будівлі до її утеплення і після незмінні. Прийнятий до розгляду діапазон зміни співвідношення теплових навантажень гарячого водопостачання і опалення становить 0,6–1,2.

Отримані результати можуть бути корисними при порівнянні схем приєднання теплообмінних апаратів системи гарячого водопостачання для улаштування індивідуальних теплових пунктів утеплення будівель.

Ключові слова: централізоване теплопостачання; реформування систем теплопостачання; індивідуальний тепловий пункт; підігрівники гарячої води; одноступінчаста схема приєднання теплообмінників; площа поверхні теплопередачі, витрати мережної води для гарячого водопостачання.

A. A. Aleksakhyn, O. V. Kruhliakova, A. V. Boblovskyi, L. I. Tiutiunyk

PARAMETERS OF HOT WATER SUPPLY HEAT EXCHANGERS FOR HEAT STATIONS OF INSULATED BUILDINGS AT ONE-STAGE CONNECTION SCHEME

The peculiarities of functioning of centralized heat supply systems of residential microdistricts at carrying out works on ‘insulation’ of buildings in operation, namely, parameters of operation of hot water supply heating units are considered. The influence of the heating load reduction due to the works on increasing the heat transfer resistance of the building structures on the flow rate of network water and heat exchange area of hot water supply heaters has been analyzed. Estimates are made for conditions of use of one-stage parallel scheme connection for heat exchangers to heat distribution networks. The known relations for such most widespread in heat supply systems heat exchangers as plate apparatuses are used at calculations of a heat transfer surface. The range of change of the heat transfer surface of hot water heaters and the flow rate of network water depending on the ratio of the maximum heat loads of hot water supply and heating and the degree of insulation efficiency of the building is determined.

Formulas for determining the parameters of hot water supply heat exchangers are proposed. The formulas are valid in the range of reduction of heat consumption for heating of the building from 0 to 35 %. Assessment of the heating load reduction is performed on condition that the thermal modernization of a building constructed in accordance with the building requirements in force several decades ago provides modern requirements for the thermal resistance of building structures. The temperature of water in the heating system of the insulated building is determined depending on the building insulation efficiency, provided that the water flow rate through the heating system of the building before and after its insulation is unchanged. The range of variation of the ratio of hot water supply and heating heat loads accepted for consideration is 0,6–1,2.

The obtained results can be used at comparison of connection schemes of heat exchangers for hot water heating for installation on individual heat points of insulated buildings.

Keywords: district heating; reforming of heat supply systems; individual heat station; hot water heaters; single-stage scheme of heat exchangers connection; heat transfer surface area, flow rate of network water for hot water supply.