

А.М. Ганжа, д-р техн. наук, проф., ORCID 0000-0003-3967-2421
В.М. Підкопай, канд. техн. наук, доц., ORCID 0000-0002-0212-1290
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»
Е.М. Немцев, аспірант,
ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

РАЦІОНАЛЬНІ ПАРАМЕТРИ ТЕПЛОНОСІЯ ВІД ДЖЕРЕЛА У СИСТЕМІ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ З УРАХУВАННЯМ ФАКТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБЛАДНАННЯ

Економія теплової енергії на джерелах та об'єктах її кінцевого споживання є одним із способів енергозбереження. Актуальною задачею є вибір найефективнішого з методів регулювання відпуску теплоти. Розроблені методи та засоби вибору раціональних параметрів теплоносія при відпуску теплоти від джерела враховують реальні характеристики обладнання елементів системи теплопостачання та їх взаємний вплив. Поставлено та розв'язано задачу мінімізації витрат коштів на природний газ та електроенергію з метою забезпечення необхідних параметрів повітря у приміщеннях споживачів у всьому діапазоні зміни температури зовнішнього повітря у опалювальному сезоні. Побудовано раціональний закон регулювання температури теплоносія при раціональній її витраті.

Ключові слова: теплопостачання, обладнання, споживач, регулювання, мінімізація, енергоефективність

Вступ. Очевидно, що для забезпечення якісного опалення будівель необхідно регулювати вироблення теплової енергії на джерелі не тільки від поточної температури зовнішнього повітря, але й враховувати фактичні втрати теплоти при транспортуванні теплоносія по теплотрасах до споживачів, що на даний момент зробити дуже важко через низку проблем. При цьому основним завданням такого регулювання є підтримання комфортної температури усередині приміщень.

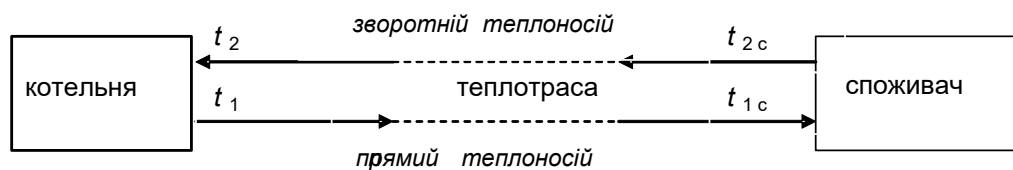
В Україні, як і в більшості країн колишнього Радянського Союзу, переважає центральне регулювання відпуску теплоти від джерела. Теплова енергія, що відпускається, централізовано регулюється в основному двома способами: зміною тільки температури або витрати теплоносія [3]. Найбільш широке застосування у вітчизняній теплоенергетиці отримало якісне регулювання, тобто зміна температури теплоносія на джерелі при постійній її витраті в залежності від температури зовнішнього повітря. У той же час за кордоном переважає кількісне регулювання, що дає можливість автоматизувати установки споживачів шляхом зміни витрати теплоносія в опалювальних системах і тим самим – знизити теплові втрати [4].

Основні методи, розрахунки регулювання теплового навантаження наведені в роботах Ю. Я. Соколова [3] та ін. На сучасному етапі дана проблема в основному розглядається з позицій впровадження приладів автоматики при поєднанні центрального, групового, місцевого та індивідуального регулювання навантаження [2].

Економія теплової енергії на джерелах та об'єктах її кінцевого споживання є одним із способів енергозбереження, що і є метою досліджень. Кожен з методів регулювання відпуску теплоти має свої переваги і недоліки і залежить від гідравлічної стійкості системи. Але показати який з цих методів ефективніший є актуальною задачею. Виходячи з цього, в даній роботі були поставлені такі завдання:

- розрахунок відпуску теплової енергії від котельні, фактичних обсягів втрат теплової енергії в теплових мережах і споживаної теплової енергії;
- розрахунок, аналіз і оптимізація варіантів компенсації теплових втрат при передачі теплової енергії джерелом теплопостачання з метою забезпечення розрахункового споживання теплоти у т. ч. – при якісному або кількісному регулюванні навантаження;
- порівняння мінімальних рівнів витрат коштів на енергоресурси в різних варіантах і визначення параметрів найбільш економічного режиму.

З метою розрахункового дослідження була складена система рівнянь теплового балансу та теплопередачі, гідравлічної моделі для схеми теплопостачання, що складається з джерела, системи транспортування та споживачів теплової енергії (див. рис.1):



t – температура теплоносія; 1 – прямий; 2 – зворотній; с – у споживача

Рисунок 1 – Схематичне відображення системи

а) температури прямого та зворотного теплоносія на кінцевих ділянках теплотраси

$$t_{1c} = t_{o,c} + (t_1 - t_{o,c}) \cdot e^{-\frac{K_{Iп} \cdot l}{W_M}}; \quad (1)$$

$$t_2 = t_{o,c} + (t_{2c} - t_{o,c}) \cdot e^{-\frac{K_{Iз} \cdot l}{W_M}}; \quad (2)$$

де K_l і l – лінійний коефіцієнт теплопередачі (еквівалентний) і довжина ділянки;

$t_{o,c}$ – температура оточуючого середовища;

W_M – еквівалент витрати теплоносія (води), який представляє множення масової витрати теплоносія на його теплоємність;

«п» і «з» – трубопровід, що подає (прямий), і зворотній; інші позначення відповідають рис.1,

б) теплова енергія, відпущена від котельні, і спожита опалювальною системою

$$Q_{\text{кот}} = W_M \cdot (t_1 - t_2); \quad (3)$$

$$Q_c = W_M \cdot (t_{1c} - t_{2c}). \quad (4)$$

Розрахунок спожитого опалювального навантаження ведеться за методикою, запропонованою Соколовим Ю. Я [3]. Споживану теплову енергію будівлями при даних $t_{o,c}$ і внутрішній температурі в приміщеннях $t_{вн}$ можна визначити за формулою [3]

$$Q_c = W_M \cdot (t_{1c} - t_{вн}) \cdot \varepsilon, \quad (5)$$

де ε – безрозмірна питома теплова продуктивність опалювальних приладів [3]

$$\varepsilon = \frac{1}{\frac{0,5 + \mu}{1 + \mu} + \frac{1}{\omega}}, \quad (6)$$

де ω – параметр, $\omega = \frac{k \cdot F}{W_m}$, k і F – коефіцієнт теплопередачі і площа теплопередачі всіх

опалювальних приладів;

μ – коефіцієнт змішання в змішувальному пристрої (елеваторі).

Ця формула справедлива для системи опалення в цілому.

Для опалювальних приладів величина $k \cdot F$ визначається за узагальненою формулою [3]

$$k \cdot F = \Phi \cdot \left(\frac{Q_{\Pi}}{Q_p} \right)^{\frac{n}{1+n}}, \quad (7)$$

де Φ – параметр теплообмінника, величина стала, $\Phi = 7,844 \cdot F_{\text{екм}}$; $F_{\text{екм}}$ – число еквівалентних квадратних метрів опалювальних приладів;

Q_p – розрахункова теплова продуктивність приладів опалення при розрахунковій мінімальній температурі зовнішнього повітря;

n – показник ступеня, для радіаторів $n=0,25$; конвекторів $n=0,2$ [3].

Після проведення деяких перетворень системи рівнянь, наведеної вище, невідомих параметрів залишилося всього два: температура прямого теплоносія на виході з джерела t_1 та еквівалент витрати теплоносія (води) W_m .

Таким чином, який найбільш раціональний спосіб компенсації втрат теплоти при транспортуванні теплоносія від джерела до споживача (збільшення температури або витрати теплоносія, що відпускається в мережу, або двома цими параметрами) повинна показати оптимізація (мінімізація) годинних витрат грошових коштів на паливо і електроенергію в діапазоні зміни температури зовнішнього повітря. Цільова функція

$$Z = C_{\Gamma} \cdot B_{\Gamma} + C_e \cdot P_e \rightarrow \min, \quad (8)$$

де B_{Γ} – годинна витрата природного газу з урахуванням залежності зміни питомої витрати палива (ефективності) при зміні навантаження котлів, тобто $Q_{\text{кот}}$;

P_e – електрична потужність, споживана мережними насосами, яка визначається як функція від еквівалента витрати теплоносія (води) W_m

$$P_e = \rho \cdot g \cdot Q_b \cdot H \cdot 10^{-3} / \eta_{\text{нп}} = g \cdot S \cdot W_m^3 / (\eta_{\text{нп}} \cdot (c_b \cdot \rho_b)^3). \quad (9)$$

де Q_b , H , $\eta_{\text{нп}}$ – об'ємна витрата води, напір, ККД насосної установки;

S – гідравлічна характеристика мережі, яка визначається окремим гідравлічним розрахунком складної розгалуженої теплової мережі;

c_b і ρ_b – теплоємність і густина води.

З метою забезпечення розрахункового теплового споживання опалювальною системою при даній температурі зовнішнього повітря необхідно поставити обмеження

$$Q_c = Q_p = \text{const}. \quad (10)$$

Розв'язання даної задачі оптимізації здійснюється методом множників Лагранжа.

При низьких температурах зовнішнього повітря може виявитися, що температура прямого теплоносія на вході в будівлі без елеваторів може бути вище граничного значення, встановленого нормами [1] (для житлових будинків 95°C). Тому в разі досягнення оптимізація проводиться тільки по витраті теплоносія, а температура приймається рівною 95°C .

Проведено розрахунковий аналіз фактичного відпуску теплоти від котельні і споживання та оптимізація параметрів теплоносія на джерелі в 3 варіантах:

- компенсація теплових втрат при передачі теплоти споживачам витратою теплоносія;
- компенсація теплових втрат при передачі теплоти споживачам температурою теплоносія;
- пошук оптимальної витрати і температури теплоносія.

Розрахунки проводилися в усьому діапазоні зміни температури зовнішнього повітря при регулюванні відпуску теплоти для м. Харків (від -23°C до $+8^{\circ}\text{C}$) при вартості природного газу за

даними на квітень 2017 року 5798,25 грн. за 1 тис. м³ і електроенергії 1,61814 грн. за 1 кВт·год. (без ПДВ). Отримані значення представлені на наведених нижче графіках.

На рис. 2 представлена залежність відпущеного і спожитого теплового навантаження. Фактичне споживання теплової енергії на всіх режимах нижче розрахункового через наявність втрат. Для всіх трьох варіантів оптимізації необхідне теплове навантаження на джерелі для забезпечення розрахункового теплоспоживання однакове, величина втрат складає $26 \div 29\%$.

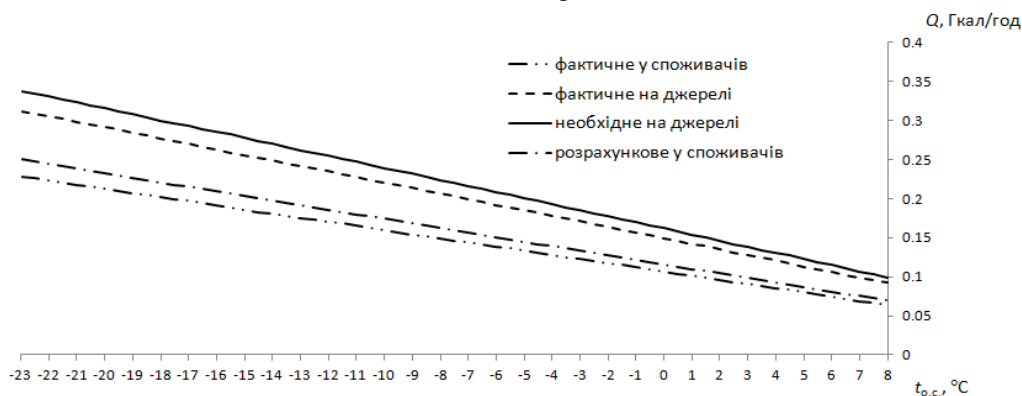


Рисунок 2 – Залежність теплового навантаження

На рис. 3 представлена залежність годинних витрат грошових коштів на паливо і електроенергію (тобто цільової функції). При забезпеченні розрахункового теплоспоживання мінімальне значення є при оптимальних витраті і температурі теплоносія. Однак, мінімальне значення витрат грошових коштів при компенсації теплових втрат при передачі теплоти споживачам температурою теплоносія близько до оптимального значення. Залежності мають практично лінійний характер, що дозволяє по ним знаходити мінімум витрат з урахуванням графіків завантаження котельні.

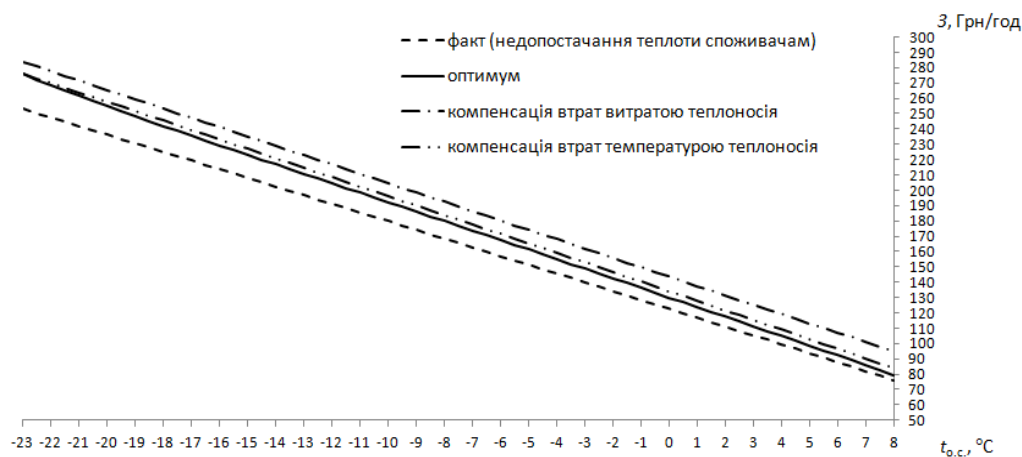


Рисунок 3 – Залежність годинних витрат грошових коштів на паливо і електроенергію

На рис.4 представлений графік залежності витрати теплоносія фактичної та при різних способах компенсації теплових втрат при передачі теплоти.

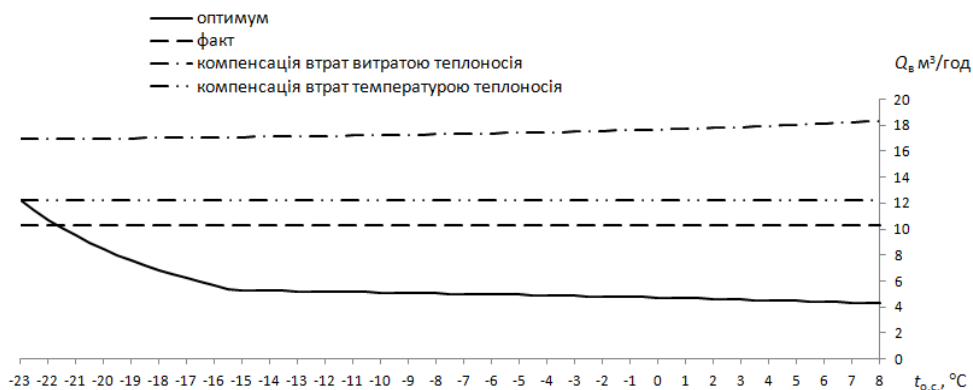


Рисунок 4 – Залежність витрати теплоносія

Як видно з наведеного графіка, при компенсації теплових втрат при передачі теплоти споживачам витратою теплоносія вона буде вищою розрахункової в 1,8 рази, що призведе до значних витрат електроенергії. Оптимальна витрата теплоносія на всіх режимах різна. Постійна витрата теплоносія при компенсації теплових втрат при передачі теплоти споживачам його температурою вище розрахункової в 1,2 рази з метою забезпечення температури на вході в будівлі не більше 95 °С. Злом графіка обумовлений дією цього обмеження при низьких температурах зовнішнього повітря (меншими – 15°C). Слід зазначити, що у випадках компенсації теплових втрат при передачі теплоти споживачам витратою теплоносія і оптимальній її витраті необхідно частотне регулювання електродвигунів насосів, а також імовірне гідравлічне розрегулювання теплових мереж та внутрішніх будинкових систем.

На рис. 5 представлена залежність температур теплоносія на джерелі (котельні). Як видно з рис. 5, оптимальна температура прямого і зворотного теплоносія має нерівномірну залежність. При її частій зміні може знизиться надійність системи через мінливі температурні впливи на метал трубопроводів.

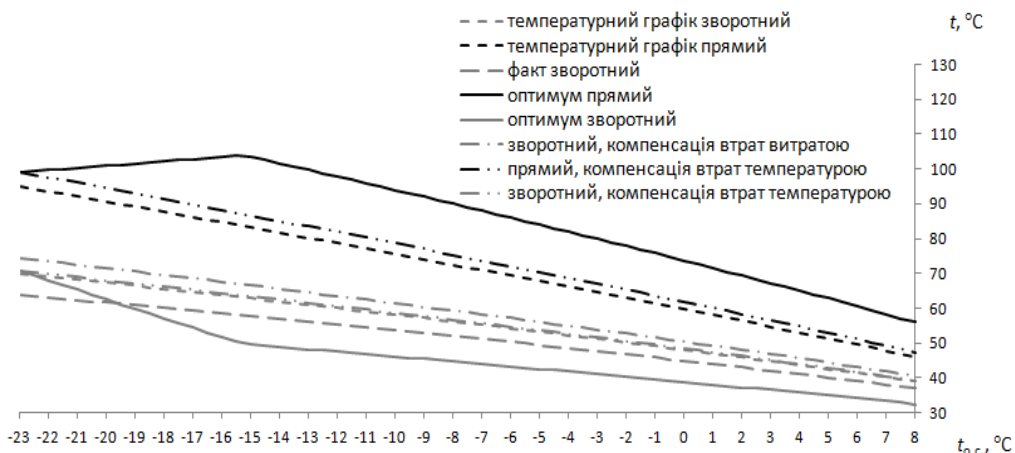


Рисунок 5 – Залежність температур теплоносія на джерелі

Висновок. Розроблені методи та засоби вибору раціональних параметрів теплоносія при відпуску теплоти від джерела, які враховують реальні характеристики обладнання елементів системи тепlopостачання та їх взаємний вплив. Поставлено та розв'язано задачу мінімізації витрат коштів на природний газ та електроенергію з метою забезпечення необхідних параметрів повітря у приміщеннях споживачів у всьому діапазоні зміни температури зовнішнього повітря у опалювальному сезоні. Побудовано раціональний закон регулювання температури теплоносія при раціональній її витраті.

Список використаної літератури

1. Отопление, вентиляция и кондиционирование (с изменениями и дополнениями): СНиП 2.04.05–91. – Официальное издание. – М. : Госстрой СССР, 1991.
2. Шарпов В. И. Регулирование нагрузки систем теплоснабжения / В. И. Шарпов, П. В. Ротов. – М: Издательство «Новости теплоснабжения», 2007. – 164 с.

3. Соколов Е. Я. Теплофикация и тепловые сети / Соколов Е. Я. – М.– Л. : Госэнергоиздат, 1963. – 360 с.
4. Ливчак В. И. Энергосбережение в системах централизованного теплоснабжения на новом этапе развития // Энергосбережение. – 2000. – №2.– С. 4-9.

A. Ganzha, д-р техн. наук, проф., ORCID 0000-0003-3967-2421
V. Pidkopay, канд. техн. наук, доц., ORCID 0000-0002-0212-1290
National Technical University "Kharkov Polytechnic Institute"

E. Nemtsev, аспирант,

State University "Donetsk National Technical University"

HEATER-TRANSFER AGENT OBJECTIVE PARAMETERS IN HEAT SUPPLY SYSTEM WITH ACCOUNT OF EQUIPMENT ACTUAL CHARACTERISTICS

The economy heating energy at sources and objects of its final consumption is one of the energy saving ways. The actual task is selecting the most effective method for regulating heat tempering. The developed methods and means of rational parameters choosing of the heater-transfer agent when heat tempering from the source take into account the equipment objective parameters of elements of the heat supply system and their interference. The task to minimize the consumption of means for natural gas and electrical energy in order to provide the required air parameters in the consumers premises in the entire range of outdoor air temperature changes in the heating season are assigned and solved. The temperature rational law regulation of the heater-transfer agent at its rational consumption is building.

Key words: heat supply, equipment, consumer, regulation, minimization, energy efficiency

References

1. Heating, ventilation and air conditioning (with changes and additions): SNiP 2.04.05–91. – Ofitsialnoe izdanie. – М. : Gosstroy SSSR, 1991.
2. Sharapov V. I. Regulation of the load of heat supply systems / V. I. Sharapov, P. V. Rotov. – М: Izdatelstvo «Novosti teplosnabzheniya», 2007. – 164 s.
3. Sokolov E. Ya. Heating and heating networks / Sokolov E. Ya. – М.– Л. : Gosenergoizdat, 1963. – 360 s.
4. Livchak V. I. Energy saving in district heating systems at a new stage of development // Energoberezhnie. – 2000. – #2.– S. 4–9.

УДК 697.341

А.М. Ганжа, д-р техн. наук, проф., ORCID 0000-0003-3967-2421
В.М. Подкопай, канд. техн. наук, доц., ORCID 0000-0002-0212-1290

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»

Э.М. Нецев, аспирант

ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»

РАЦИОНАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ ОТ ИСТОЧНИКА В СИСТЕМЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С УЧЕТОМ ФАКТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБОРУДОВАНИЯ

Экономия тепловой энергии на источниках и объектах ее конечного потребления является одним из способов энергосбережения. Актуальной задачей является выбор наиболее эффективного из методов регулирования отпуска теплоты. Разработанные методы и средства выбора рациональных параметров теплоносителя при отпуске теплоты от источника учитывают реальные характеристики оборудования элементов системы теплоснабжения и их взаимное влияние. Поставлена и решена задача минимизации расхода средств на природный газ и электроэнергию с целью обеспечения требуемых параметров воздуха в помещениях потребителей во всем диапазоне изменения температуры наружного воздуха в отопительном сезоне. Построен рациональный закон регулирования температуры теплоносителя при рациональном его расходе.

Ключевые слова: теплоснабжение, оборудование, потребитель, регулирование, минимизация, энергоэффективность

Надійшла 23.05.2017

Received 23.05.2017