

М. Ф. Боженко канд. техн. наук, доцент, М. І. Новіцький
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

ВИСОКОЕФЕКТИВНІ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ БУДІВЕЛЬ

Виконані розрахунки порівняльної ефективності двотрубних та однотрубних вертикальних насосних систем водяного опалення. Доведено, що двотрубна система опалення має менші зведені витрати порівняно з однотрубною. Отриманий комплексний безрозмірний параметр оцінки нагрівальних приладів, який дає можливість вибору найбільш ефективних їх типів.

Ключові слова: система опалення, зведені витрати, експлуатаційні витрати, капіталовкладення.

Вступ

Відомо, що на теплопостачання житлових, громадських та промислових будівель витрачається біля однієї третини всього органічного палива, яке видобувається [1].

До найбільших споживачів теплоти в системах теплопостачання відносять системи опалення.

Опаленням, за визначенням нормативної літератури [2], - є штучне нагрівання приміщення в опалювальний період року для компенсації теплових втрат та підтримання нормованої температури із середньою незабезпеченістю 50 год/рік.

До складу системи опалення (СО) входять засоби для отримання, транспортування і передачі теплоти в усі приміщення, що обігріваються. СО обслуговується, як правило, комплексом автоматизованої системи управління, що підтримує задану температуру повітря у приміщенні незалежно від коливань температури зовнішнього повітря [3].

Регулювання витрати теплоти на опалення може бути центральним і місцевим, і його забезпечення є необхідною умовою економії енергетичних ресурсів, що дуже важливо в нинішній ситуації, яка пов'язана з дефіцитом в Україні органічного палива.

Постановка задачі

Системи опалення поділяють на місцеві і центральні.

Найпоширенішими серед центральних є системи водяного опалення з вимушеною циркуляцією, які можуть бути вертикальними і горизонтальними, однотрубними і двотрубними, з верхнім і нижнім розведенням. Якщо вибір між вертикальними і горизонтальними системами та з верхнім і нижнім розведенням обумовлюється, в основному, конструктивними особливостями будівель, то порівняння однотрубних і двотрубних потребує більш детального аналізу на основі відповідних розрахунків.

В 80 – 90 роках двадцятого століття побутувала думка, що найбільші переваги мають однотрубні СО, в яких капіталовкладення в трубопроводі були значно меншими, ніж в двотрубних. Цей тезис і спонукав переважне спорудження в будівлях вертикальних однотрубних СО. Але, на наш погляд, окрім капіталовкладень потрібно враховувати і експлуатаційні витрати в систему опалення.

Метою даної роботи є порівняльний аналіз систем водяного опалення будівель за величиною зведених витрат, які враховують капіталовкладення і експлуатаційні витрати, і визначення найбільш ефективної системи, що характеризується меншими зведеними витратами.

Результати розрахунків та їх аналіз

На рис.1 представлені фрагменти циркуляційних кілець вертикальних однотрубної та двотрубної систем опалення триповерхової будівлі. Однотрубна система вибрана з П-подібними стояками і зміщеними замикальними ділянками, а двотрубна – з верхнім розведенням. На нагрівальних приладах обох систем опалення встановлені регулювальні клапани.

Порівняння двох систем опалення виконано для розрахункового циркуляційного кільця за зведеними витратами на прикладі три-, шести-, дев'яти- і дванадцятиповерхового будинків у м. Києві.

Зведені витрати, грн, розраховували за формулою [4]

$$V_{зв} = K + (V_{екс} + a K) z_n, \quad (1)$$

де K – капіталовкладення, грн; $V_{екс}$ – експлуатаційні витрати, грн/рік; a – коефіцієнт амортизаційних відрахувань, 1/рік; z_n – нормативний термін окупності капіталовкладень, років.

Враховуючи, що термін зміни виробничої технології для систем опалення складає 40 ... 50 років, в розрахунках брали величину $a = 0,025$ 1/рік, а $z_n = 8,33$ роки, як для енергетики.

Капіталовкладення в систему опалення, грн

$$K = K_{тр} + K_{н.р} + K_{монт}, \quad (2)$$

де $K_{тр}$, $K_{н.р}$, $K_{монт}$ – капіталовкладення в трубопроводі і фасонні частини, нагрівальні прилади та

монтаж системи опалення відповідно, грн.

При визначенні капіталовкладень всі ціни були взяті станом на 01.01.2014 року.

Експлуатаційні витрати, грн/рік

$$V_{\text{екс}} = V_{\text{т}} + 3 + V_{\text{ел}}, \quad (3)$$

де $V_{\text{т}}$ – витрати на тепло, грн/рік; 3 – заробітна плата обслуговуючого персоналу, грн/рік; $V_{\text{ел}}$ – витрати на електроенергію, грн/рік.

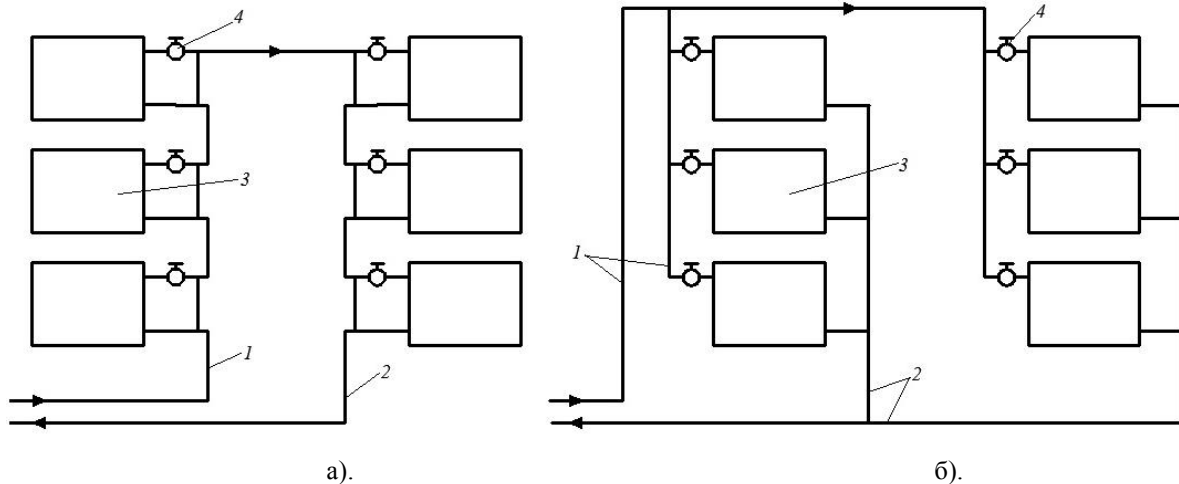


Рис. 1. Циркуляційні кільця однотрубної (а) та двотрубної (б) систем опалення: 1-подавальний трубопровід; 2-поворотний трубопровід; 3-нагрівальні прилади; 4-регулювальні клапани.

Оскільки заробітна плата буде однаковою для всіх варіантів, а кількість теплоти, яка необхідна для компенсації втрат теплоти через зовнішні обгородження і підтримання заданої температури в приміщенні буде також однаковою, то в експлуатаційних витратах враховували тільки витрати на електроенергію, грн/рік, які визначали за формулою

$$V_{\text{ел}} = N \cdot C_{\text{ел}} \cdot n_0 \cdot 24, \quad (4)$$

де N – електрична потужність привода насоса, кВт; $C_{\text{ел}}$ – ціна електроенергії, грн/кВт·год; n_0 – тривалість опалювального періоду, діб.

Електрична потужність привода насоса, Вт

$$N = \frac{G \cdot \Delta P}{\rho \cdot \eta_{\text{н}}}, \quad (5)$$

де G – витрата теплоносія, кг/с; ΔP – втрати тиску в системі опалення, Па; ρ – густина води, кг/м³;

$\eta_{\text{н}}$ – ККД насоса.

Витрата теплоносія, кг/с

$$G = \frac{Q_{\text{ст}}}{c_{\text{в}}(t_{\text{г}} - t_0)}, \quad (6)$$

де $Q_{\text{ст}}$ – теплова потужність розрахункового циркуляційного кільця, Вт; $c_{\text{в}}$ – теплоємність води, Дж/(кг·К); $t_{\text{г}}$ і t_0 – температура теплоносія в подавальному і поворотному трубопроводах відповідно, °С.

Теплова потужність системи опалення повинна покривати розрахункові втрати теплоти, які визначаються на підставі теплового балансу приміщення. В розрахунках брали теплове навантаження нагрівальних приладів, розташованих на першому і останньому поверхах будівлі по 1900 Вт, а для всіх проміжних поверхів – по 1700 Вт.

Втрати тиску в системі опалення, Па [5]

$$\Delta P = \Delta P_{\text{л}} + \Delta P_{\text{м}} = \frac{\rho \cdot \omega^2}{2} \left(\frac{\lambda}{d} l + \Sigma \xi \right), \quad (7)$$

де $\Delta P_{\text{л}}$ – втрати тиску на тертя, Па; $\Delta P_{\text{м}}$ – втрати тиску в місцевих опорах, Па; λ – коефіцієнт гідравлічного тертя; d і l – відповідно внутрішній діаметр і довжина трубопроводу, м; $\Sigma \xi$ – сума коефіцієнтів місцевих гідравлічних опорів; ω – швидкість теплоносія, м/с.

Для порівняння використовували найбільш поширені системи опалення з металевими трубопроводами і секційними нагрівальними приладами, їх параметри розраховані за методикою [6]. Результати розрахунків капіталовкладень, експлуатаційних і зведених витрат наведені в табл. 1, а зміна зведених витрат в залежності від поверховості будівель – на рис. 2.

Порівняльні розрахунки систем опалення

Параметр	Значення параметра в залежності від поверховості будівлі для однотрубних (1) та двотрубних (2) систем опалення							
	3 поверхи		6 поверхів		9 поверхів		12 поверхів	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Капіталовкладення K , грн	6775	7145	11835	12500	16421	17665	20531	23210
Втрати тиску ΔP , Па	2367	1334	5235	2589	6487	3018	14622	6569
Витрата води G , кг/с	0,097	0,097	0,183	0,183	0,269	0,269	0,355	0,355
Електрична потужність привода насоса N , Вт	0,244	0,137	1,016	0,503	1,851	0,861	5,507	2,474
Експлуатаційні витрати $V_{\text{екс}}$, грн/рік	44,66	25,16	186,3	92,13	339,4	157,9	1010	453,5
Зведені витрати $V_{\text{зв}}$, грн	10126	10073	19452	18344	29653	26955	40727	36654

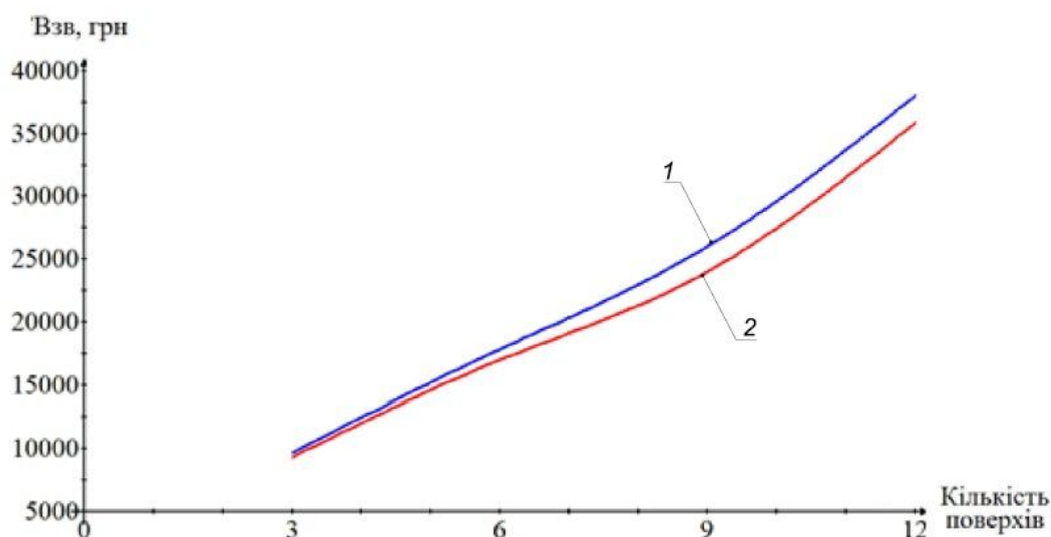


Рис. 2. Залежність зведених витрат від поверховості будівель для систем опалення:
1 – однотрубні ; 2 – двотрубні

З рис. 2 видно, що навіть при більших капіталовкладеннях двотрубну систему опалення використовувати доцільніше ніж однотрубну, особливо при збільшенні поверховості будинків.

Температурний комфорт в приміщенні залежить й від типу нагрівальних приладів. До опалювальних

приладів висувають ряд вимог, за якими їх класифікують, аналізують ступінь досконалості та проводять порівняння (див. табл. 2).

Таблиця 2.

Вимоги до нагрівальних приладів [3]

Економічні	Мінімальні витрати на виготовлення, монтаж і експлуатацію.
Теплотехнічні	Максимальна густина питомого теплового потоку.
Експлуатаційні	Опалювальні прилади повинні пропорційно реагувати на автоматичну керуваність їх тепловіддачею; забезпечувати авторитет теплоти у приміщенні; бути довговічними, температуростійкими.
Виробничо-монтажні	Максимальна механізація робіт при виробництві та монтажу, достатня механічна міцність.

При техніко-економічному обґрунтуванні вибору опалювальних приладів особливу увагу слід приділяти їх інерційності. Від неї в сучасних системах опалення з терморегуляторами залежать показники економічної ефективності та санітарної гігієнічності.

В залежності від матеріалу опалювальні прилади розділяють на металеві (чавунні, сталеві, алюмінієві, мідні тощо), біметалеві (сталеві-алюмінієві, мідно-алюмінієві, обміднені), неметалеві та комбіновані [3].

При виборі нагрівальних приладів звертають увагу на ряд факторів (див. табл. 3), які впливають на їх роботу.

Таблиця 3.

Порівняльний аналіз нагрівальних приладів

Тип радіатора	Питомий об'єм Теплоносія, л/кВт	Стійкість до корозії	Стійкість до гідроударів	Робочий тиск, МПа	Випробувальний тиск, МПа	Питома маса (металоемність), кг/кВт	Лінійна густина теплового потоку, Вт/м	Середня ціна, грн/кВт
Чавунний	9,06	Висока	Низька	0,9	1,5	42,5	1056	544
Сталевий панельний	2,54	Низька	Уразливість до гідравлічних ударів	1,0	1,3	16,6	1748	778
Алюмінієвий	1,98	Схильність до корозії	Уразливість до гідравлічних ударів	1,6	2,4	7,8	1887	456
Сталево – алюмінієвий	1,32	Висока	Висока	1,8	2,4	8,5	1210	636
Мідно – алюмінієвий	0,57	Висока	Висока	1,6	2,4	4,7	1775	1046

Інерційність системи опалення визначає об'єм теплоносія. Малий об'єм радіаторів сприяє їх низькій тепловій інерційності, тобто швидкому нагріву і охолодженню. Корозія та гідравлічні удари можуть викликати руйнування опалювальних приладів, трубопроводів та інших елементів системи. Вони властиві централізованим системам опалення і являють собою серйозну загрозу деяким видам опалювальних приладів. Робочий і випробувальний тиск теплоносія в системі опалення - ці параметри особливо актуальні при виборі нагрівальних приладів для централізованих систем опалення, характерною особливістю яких є експлуатація при порівняно високих значеннях тиску теплоносія. Маса і габаритні розміри визначають трудомісткість транспортування і відповідно впливають на зручність проведення процедури монтажу. Мала маса радіаторів сприяє зручності монтажу. Можливе розміщення приладів на легкій конструкції стін, гіпсокартонних перегородках.

Вибір нагрівальних приладів здійснюється на основі поверхні нагріву, отриманої з рівняння теплопередачі, але для орієнтовної оцінки типу нагрівального приладу запропонована методика, що включає переваги та їх недоліки.

Введемо наступні безрозмірні параметри

K_v – безрозмірний параметр об'єму

$$K_v = \frac{V_{min}}{V_i} \quad (8)$$

де V_{min} та V_i – мінімальне та фактичне значення об'єму води в нагрівальному приладі, м³.

K_p – безрозмірний параметр тиску

$$K_p = \frac{P_{min}}{P_i} \quad (9)$$

де P_{min} та P_i – мінімальне і фактичне значення тиску в нагрівальному приладі, МПа.

$K_{ст}$ – безрозмірний параметр, який враховує стійкість до корозії (K_k) і до гідроудару (K_r)

$$K_{ст} = K_k K_r \quad (10)$$

При визначенні коефіцієнтів стійкості до корозії (K_k) і до гідроудару (K_r) для цих показників згідно з даними табл. 3 були присвоєні наступні значення: висока стійкість – 1; низька – 0,8; уразливість або схильність – 0,9.

K_m – безрозмірний параметр маси нагрівального приладу

$$K_m = \frac{M_{min}}{M_i} \quad (11)$$

де M_{min} та M_i – мінімальне та фактичне значення маси нагрівального приладу, кг.
 $K_{ц}$ – безрозмірний параметр ціни нагрівального приладу

$$K_{ц} = \frac{Ц_{min}}{Ц_i} \quad (12)$$

де $Ц_{min}$ та $Ц_i$ – мінімальне та фактичне значення ціни нагрівального приладу, грн.

Узагальнений безрозмірний параметр оцінки нагрівальних приладів, який отриманий за пріоритетним впливом кожного з перелічених вище поточних безрозмірних параметрів, представлено у вигляді

$$K_{пр} = \frac{K_v K_M K_{ст} K_{ц}}{K_p} \quad (13)$$

Порівняльний аналіз нагрівальних приладів за величинами безрозмірних параметрів наведено в табл. 4.

Таблиця 4.

Значення безрозмірних параметрів нагрівальних приладів

Тип радіатора	K_v	K_p	$K_{ст}$	K_M	$K_{ц}$	$K_{пр}$
Чавунний	0,063	1	0,8	0,11	0,84	0,0047
Сталевий панельний	0,22	0,9	0,72	0,28	0,59	0,029
Алюмінієвий	0,29	0,56	0,81	0,6	1	0,25
Сталево – алюмінієвий	0,43	0,5	1	0,55	0,72	0,34
Мідно – алюмінієвий	1	0,56	1	1	0,44	0,79

З табл. 4 видно, що за максимальною величиною безрозмірного параметра, при практичному виборі нагрівальних приладів перевагу треба віддавати мідно-алюмінієвим або сталевому-алюмінієвим нагрівальним приладам.

Висновки

1. В результаті розрахунків і порівняльного аналізу отримані переваги двотрубною системою опалення за меншими величинами зведених витрат порівняно з однокрубною. І навіть при однаковій величині зведених витрат доцільніше використовувати двотрубною СО, оскільки при її використанні можливе індивідуальне регулювання температури в приміщенні на нагрівальних приладах, що сприяє зменшенню теплоспоживання.

2. Отриманий комплексний безрозмірний параметр оцінки нагрівальних приладів, який дає можливість вибору найбільш ефективних їх типів.

Список літератури

1. Богословский В.Н. Отопление : учеб. для вузов / В.Н. Богословский, А.Н. Сканави. – М. : Стройиздат, 1991. – 735 с.
2. ДБН В.2.5–67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування повітря. – Чинні від 2013-09-01. – Київ : Мінрегіонбуд та ЖКГ України, 2013. – 167 с.
3. Пирков В.В. Особливості проектування сучасних систем водяного опалення / В.В. Пирков. – К. : П ДП «Такі справи», 2003. – 176 с.
4. Богуславский Л.Д. Энергосбережение в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха : справ. пособ. / Л.Д. Богуславский, В.И. Ливчак, В.П.Титов и др.; под ред. Л.Д. Богуславского и В. И.Ливчака. – М. : Стройиздат, 1990. – 624 с.
5. Яушовец Р. Гидравлика – сердце водяного отопления / Р. Яушовец. – Herz Armaturen, Вена, 2005. – 201 с.
6. Любарец О. П. Проектування систем водяного опалення / О. П. Любарець, О. М. Зайцев, В. О. Любарець. – Herz Armaturen, Відень – Київ – Сімферополь, 2010. – 200 с.

M.F. Bozhenko, M.I. Novitskyi

National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute» HIGHLY EFFECTIVE HEATING SYSTEM OF BUILDINGS

The calculations of comparative effectiveness between two-pipe and one-pipe vertical pump water heating systems were done. It is proved that two-pipe heating system has less reduced costs compared to one-pipe. The resulting dimensionless parameter allows to appreciate heaters, and make selection for the most effective type.

Keywords: heating system, reduced costs, operating costs, investments.

1. Bohoslovskiy V.N. Otoplenye : ucheb. dlia vuzov / V.N. Bohoslovskiy, A.N. Skanavy. – М. : Stroiyzdat, 1991. – 735 с.

2. DBN V.2.5–67:2013. Opalennia, ventyliatsiia ta kondytsiuvannia povitria. – Chynni vid 2013-09-01. – Kyiv : Minrehionbud ta ZhKH Ukrainy, 2013. – 167 c.
3. Pyrkov V.V. Osoblyvosti proektuvannia suchasnykh system vodianoho opalennia / V.V. Pyrkov. – K. : II DP «Taki spravy», 2003. – 176 c.
4. Bohuslavskiy L.D. Enerhosberezhenye v systemakh teplosnabzheniya, ventyliatsyy u kondytsyonyrovaniya vozdukha : sprav. posob. / L.D. Bohuslavskiy, V.I. Lyvchak, V.P. Tytov y dr.; pod red. L.D. Bohuslavskoho y V. I. Lyvchaka. – M. : Stroiizdat, 1990. – 624 c.
5. Iaushovetts R. Hydravlyka – serdtse vodianoho otopleniya / R. Yaushovetts. – Herz Armaturen, Vena, 2005. – 201 c.
6. Liubarets O. P. Proektuvannia system vodianoho opalennia / O. P. Liubarets, O. M. Zaitsev, V. O. Liubarets. – Herz Armaturen, Viden – Kyiv – Simferopol, 2010. – 200 c.

УДК 697.1

М. Ф. Боженко канд. техн. наук, доцент, **Н. И. Новицкий**

Национальный технический университет Украины «КПИ»

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ ЗДАНИЙ

Выполнены расчеты сравнительной эффективности двухтрубных и однотрубных вертикальных насосных систем водяного отопления. Доказано, что двухтрубная система отопления имеет меньшие приведенные затраты по сравнению с однотрубной. Получен комплексный безразмерный параметр оценки нагревательных приборов, который дает возможность выбора наиболее эффективных их типов.

Ключевые слова: система отопления, приведенные затраты, эксплуатационные расходы, капиталовложения.

Надійшла 25.11.2014

Received 25.11.2014

УДК 621.06

В.И. Коньшин, канд. техн. наук, доцент; **Р.П. Рыбинский**

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО АЛЬТЕРНАТИВНОМУ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЮ ОБОРУДОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ПОЛНОГО ОБЕСТОЧИВАНИЯ АЭС

Приведены варианты альтернативного электроснабжения оборудования при полном обесточивании АЭС. Выполнены расчеты частот повреждения активной зоны реактора ВВЭР-1000 для основных исходных событий с учетом предложенных вариантов. В настоящей работе проведено исследование существующего дефицита надежности обеспечения электроснабжением основных систем и элементов, в условиях полного обесточивания энергоблока. В результате анализа определены особенности предложенных вариантов аварийного электроснабжения, их преимущества и недостатки в условии аварии с полным обесточиванием энергоблоков АЭС.

Ключевые слова: полное обесточивание энергоблока, частота повреждений активной зоны, электроснабжение, исходное событие аварии.

Под полным обесточиванием понимается потеря секций нормального электроснабжения собственных нужд с наложением отказов трех дизелей системы надежного электроснабжения с невозможностью их восстановления [4]. Для возобновления электроснабжения возможны только альтернативные пути с подключением внешних источников к секциям надежного питания. В настоящей работе, в качестве внешних источников, рассмотрены:

- газотурбинная установка (ГТУ);
- дополнительный дизель-генератор (ДГ);