

А.М. Андрущенко, В.Р. Нікульшин, А.Є. Денисова

ПЕРЕВАГИ СИСТЕМ ЕЛЕКТРИЧНОГО ОПАЛЕННЯ З НІЧНИМ АКУМУЛЮВАННЯМ ТЕПЛОТИ В УМОВАХ УКРАЇНИ

Мета. Мета дослідження - розробка системи електричного опалення з нічним акумулюванням теплоти та об'єднання її енергозберігаючого характеру в порівнянні з іншими можливими варіантами опалення. *Методика.* Методика заснована на сучасних стандартах України і включає наступні основні допущення: коефіцієнт корисної дії електричного котла приймається рівним 100 %; залежність опалювального навантаження будівлі від зовнішньої температури вважається лінійною; для всіх розрахункових варіантів опалення, що використовують різні енергетичні ресурси, режим роботи системи опалення відстежує погодні умови відповідно до температури зовнішнього повітря. *Методика* передбачає визначення основних технічних характеристик системи з урахуванням можливості включення електричного бойлера в денний час на половину розрахункового навантаження. *Результати.* На основі запропонованого методу була розроблена розрахункова програма для визначення щомісячного теплоспоживання будівлі і розрахунку вартості опалення при використанні різних енергетичних ресурсів. Ця програма також дозволяє зіставляти вартості централізованого теплопостачання як по теплоті, що спожита, так і при оплаті за величиною опалювальної площі. *Наукова новизна.* Вперше наведені метод і програма розрахунку систем електроопалення з нічним акумулюванням теплоти, що враховують діючі стандарти України та дозволяють визначати основні технічні характеристики системи, а також розраховувати вартості опалення при використанні різних видів енергетичних ресурсів. *Практичне значення.* Використання запропонованої методики дозволяє проектувати енергозберігаючі системи електричного опалення з нічним акумулюванням теплоти. Наведено чисельний приклад для реальних погодних умов м. Києва. Доведено, що термін окупності переходу на електроопалення для варіанту заміни централізованого теплопостачання з оплатою за спожиту теплоту складає менше, ніж 3 роки, для варіанту заміни централізованого теплопостачання з оплатою за опалювальну площу складає менше, ніж 1 рік. Бібл. 10, табл. 4, рис. 2.

Ключові слова: енергозбереження, електроопалення, нічна акумуляція теплоти, витрати на різні види енергетичних ресурсів.

Цель. Цель исследования - разработка системы электрического отопления с ночным аккумулярованием теплоты и обоснование ее энергосберегающего характера по сравнению с другими возможными вариантами отопления. *Методика.* Методика основана на современных стандартах Украины и включает следующие основные допущения: коэффициент полезного действия электрического котла принимается равным 100 %; зависимость отопительной нагрузки здания от внешней температуры считается линейной; для всех расчетных вариантов отопления, использующих различные энергетические ресурсы, режим работы системы отопления отслеживает погодные условия в соответствии с температурой наружного воздуха. *Методика* предусматривает определение основных технических характеристик системы с учетом возможности включения электрического бойлера в дневное время на половину расчетной нагрузки. *Результаты.* На основе предложенного метода была разработана расчетная программа для определения ежемесячного теплопотребления здания и расчета стоимости отопления при использовании различных энергетических ресурсов. Эта программа также позволяет сопоставлять стоимости централизованного теплоснабжения как по потребленной теплоте, так и при оплате по величине отапливаемой площади. *Научная новизна.* Впервые приведены метод и программа расчета систем электроотопления с ночным аккумулярованием теплоты, учитывающие действующие стандарты Украины и позволяющие определять основные технические характеристики системы, а также рассчитывать стоимости отопления при использовании различных видов энергетических ресурсов. *Практическое значение.* Использование предлагаемой методики позволяет проектировать энергосберегающие системы электрического отопления с ночным аккумулярованием теплоты. Приведен численный пример для реальных погодных условий г. Киева. Показано, что срок окупаемости перехода на электроотопление для варианта замены централизованного теплоснабжения с оплатой за потребленную теплоту составляет менее 3 лет, для варианта замены централизованного теплоснабжения с оплатой за отапливаемую площадь составляет менее 1 года. Библ. 10, табл. 4, рис. 2.

Ключевые слова: энергосбережение, электроотопление, ночная аккумуляция теплоты, расходы на разные виды энергетических ресурсов.

Вступ. Різке і нерівномірне подорожчання вартості різних видів енергоресурсів, які використовуються для опалення, спонукає до пошуку альтернативних економічних рішень.

Знизити витрати на опалення можна за рахунок зниження втрат теплоти огорожувальними конструкціями будівель в результаті їх термомодернізації [1], а також за рахунок переходу на використання альтернативних енергетичних ресурсів.

Серед альтернативних варіантів, в першу чергу для великих міст, в останні роки розглядаються електричне опалення з нічним акумулюванням теплоти [2]

і електричний підігрів теплоносія в нічний час в системах централізованого теплопостачання.

В обох випадках буде досягатися ефект вирівнювання добового графіка електричного навантаження об'єднаної енергосистеми України, що сприятливо позначиться на її роботі за рахунок більш повного завантаження українських АЕС, що виробляють електроенергію за найнижчою вартістю в порівнянні з іншими видами генерації. Ще одним позитивним аспектом застосування електроопалення за умови його достатнього поширення, є економія природного газу.

© А.М. Андрущенко, В.Р. Нікульшин, А.Є. Денисова

Було розглянуто найбільш простий варіант електроопалення – використання ТЕНів, а не теплових насосів.

Теплові насоси, як відомо, дозволили б приблизно в три рази зменшити витрати електроенергії на опалення, але при цьому мали б вимагати багатотисячних доларових вкладень з терміном окупності від 3 років і більше, що в нинішній економічній ситуації для України мало прийнятне.

Проблема пошуку ефективних рішень для різних систем опалення є актуальною протягом останніх десятиліть і залишатиметься такою в найближчому доступному для огляду майбутньому.

Число публікацій з цієї тематики обчислюється десятками тисяч. Тому коротко зупинимося тільки на деяких з них.

Значна частина публікацій присвячена системам централізованого опалення (як від ТЕЦ, так і від котелень).

Особливий інтерес для даної роботи представляють публікації, в тому числі і вітчизняні, в яких розглянуті питання електроопалення з акумуляцією теплоти.

В [3] проведено пошуки раціональних комбінацій систем електроопалення з поновлюваними джерелами енергії, економічно обґрунтовані тарифи для опалення наведені в [4], в [5] – оцінені можливості раціонального компонування теплоаккумуляторів з системами електроопалення, в [6] – показані можливості врахування потреби гарячого водопостачання в системах електроопалення, в [7] – оцінений вплив ринкових факторів на ефективність систем електроопалення, в [8] – показані можливості ефективного використання теплоаккумуляторів як для електроопалення, так і гарячого водопостачання.

На відміну від них в даній роботі акцент зроблений не на теоретичний опис розрахунку самих систем опалення, а на практичні результати таких розрахунків.

Звідси виникає наступна проблема – визначення необхідного опалювального навантаження будівлі (незалежно від конкретного виду використаної внутрішньобудинкової системи опалення), порівняння на цій основі різних можливих варіантів підведення теплоти до будівлі і вибору найбільш економічного з них.

Мета дослідження – обґрунтування енергозберігаючого характеру системи електричного опалення з нічним акумулюванням теплоти в порівнянні з іншими можливими варіантами опалення.

Для досягнення поставленої мети повинні бути вирішені наступні завдання:

- розробити метод і програму розрахунку для визначення основних технічних характеристик (корисний об'єм бака-акумулятора гарячої води і потужність електронагрівача) електричної системи опалення з акумулятором теплоти та обліком електроенергії по тризонному тарифу;
- порівняти вартості централізованого теплопостачання з газовим опаленням, з цілодобовим електричним опаленням при обліку електроенергії по однострунковому тарифу, а також з пелетним опаленням;
- привести чисельний приклад розрахунку і порівняльний аналіз витрат на опалення офісної будівлі,

розташованої в м. Києві (за реальними погодними умовами в цьому місті) і показати переваги системи опалення з нічним теплоакмулюванням.

Короткий опис системи електроопалення з акумулятором теплоти. Зарядка теплового акумулятора [9] (рис. 1) проводиться при включенні електродвигуна і циркуляційного насоса зарядного контуру, переважно в нічний час.

Подача теплоносія до опалювальних приладів будівлі забезпечується циркуляційним насосом витратного контуру безперервно протягом всього опалювального сезону.

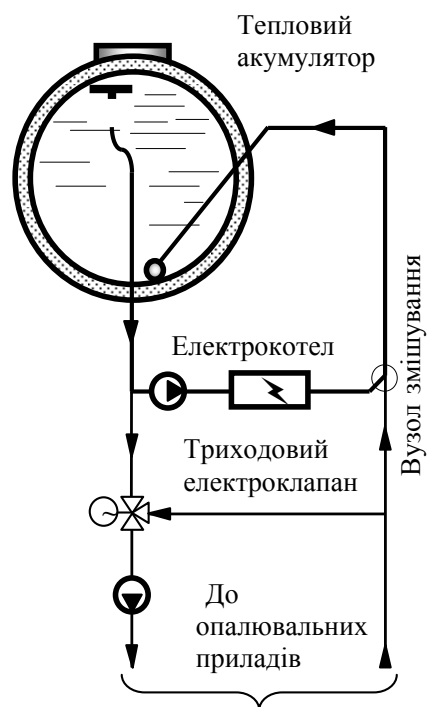


Рис. 1. Принципова схема системи електричного опалення з водяним тепловим акумулятором

Схемою передбачено погодне регулювання температури теплоносія, що подається до опалювальних приладів за рахунок підмішування частини повернутого теплоносія за допомогою триходового електроклапана.

Тим самим забезпечується енергозберігаючий режим роботи і необхідне опалювальне навантаження системи в залежності від температури зовнішнього повітря.

Метод розрахунку. У розрахунку прийняті наступні допущення:

- тепловий акумулятор і електродвигун розташовані безпосередньо в опалювальному приміщенні, тому не враховуються втрати теплоти через теплову ізоляцію акумулятора і через поверхню електродвигуна;
- ефективність електродвигуна прийнята рівною 100 %;
- залежність опалювального навантаження будівлі від температури зовнішнього повітря має лінійний характер: зовнішній температурі +18 °C відповідає нульове опалювальне навантаження, мінімальній розрахунковій температурі зовнішнього повітря відповідно до статистичних кліматичними даними [10] відповідає 100 % -ве опалювальне навантаження будівлі;

опалення працює тільки при температурах зовнішнього повітря нижче +8 °С;

- передбачається, що при всіх варіантах використання різних енергоресурсів система працює в режимі адекватного погодного регулювання;

- корисна різниця температур теплоносія в повністю зарядженому тепловому акумуляторі і повністю розрядженому прийнята рівною 35 К;

- розрахунок поточного значення температури теплоносія в об'ємі теплового акумулятора при роботі системи виконується за моделлю ідеального перемішування, без урахування температурної стратифікації;

- тарифи і ціни різних енергоресурсів прийняті відповідно до [10] за станом на грудень 2017 р.

Методикою розрахунку враховується можливість включення електрокотла в денний час, в напівпіковий період навантаження енергосистеми, при температурах зовнішнього повітря нижче заданої температури виключно нічного електроспоживання t^{night} , при цьому також передбачається включення електрокотла на неповну потужність.

При лінійній залежності між температурою зовнішнього повітря і опалювальним навантаженням будівлі, частка повного опалювального навантаження будівлі в залежності від температури зовнішнього повітря, складе:

$$q/q^{\text{calc}} = \varphi^q = (t_{\text{in}}^{\text{calc}} - t)/(t_{\text{in}}^{\text{calc}} - t^{\text{calc}}), \quad (1)$$

де q – питоме опалювальне навантаження будівлі, Вт/м², при поточному значенні температури зовнішнього повітря t , °С; q^{calc} – питоме максимальне розрахункове опалювальне навантаження будівлі, Вт/м², при нормативній мінімальній розрахунковій температурі зовнішнього повітря t^{calc} , °С; t – поточна температура зовнішнього повітря, °С; $t_{\text{in}}^{\text{calc}} = +18$ °С – розрахункова температура повітря, при якій опалювальне навантаження дорівнює нулю; t^{calc} – нормативна мінімальна розрахункова температура зовнішнього повітря, для Києва $t^{\text{calc}} = -22$ °С.

Питомі нормативні втрати теплоти будівлею за опалювальний сезон є сума щомісячних втрат теплоти протягом опалювального сезону:

$$Q_{\text{year}}^{\text{norm}} = q_{\text{oct}} + q_{\text{nov}} + q_{\text{dec}} + q_{\text{jan}} + q_{\text{feb}} + q_{\text{mar}} + q_{\text{apr}}, \quad \text{кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2, \quad (2)$$

де $q_{\text{oct}} \dots q_{\text{apr}}$ – щомісячні питомі втрати теплоти, кВт·год/м², які з урахуванням (1) можна виразити у вигляді:

$$q_{\text{oct}} = \varphi_{\text{oct}}^q \cdot q^{\text{calc}} \cdot \tau_{\text{oct}} = (18 - t_{\text{oct}}) \cdot q^{\text{calc}} \cdot \tau_{\text{oct}} / (18 - t^{\text{calc}}),$$

$$q_{\text{apr}} = \varphi_{\text{apr}}^q \cdot q^{\text{calc}} \cdot \tau_{\text{apr}} = (18 - t_{\text{apr}}) \cdot q^{\text{calc}} \cdot \tau_{\text{apr}} / (18 - t^{\text{calc}}),$$

де $\varphi_{\text{oct}}^q \dots \varphi_{\text{apr}}^q$ – частки повного опалювального навантаження при середньомісячних температурах зовнішнього повітря відповідного місяця опалювального періоду; $\tau_{\text{oct}} \dots \tau_{\text{apr}}$ – число годин у відповідному місяці опалювального періоду, год; q^{calc} – питомі втрати теплоти будівлею, кВт/м², при нормативній мінімальній розрахунковій температурі зовнішнього повітря t^{calc} , °С; $t_{\text{oct}} \dots t_{\text{apr}}$ – середньомісячні температури повітря у відповідному місяці, °С.

Тоді:

$$q_{\text{year}}^{\text{norm}} = q^{\text{calc}} \cdot [\tau_{\text{oct}} \cdot (18 - t_{\text{oct}}) + \tau_{\text{nov}} \cdot (18 - t_{\text{nov}}) + \tau_{\text{dec}} \cdot (18 - t_{\text{dec}}) + \tau_{\text{jan}} \cdot (18 - t_{\text{jan}}) + \tau_{\text{feb}} \cdot (18 - t_{\text{feb}}) + \tau_{\text{mar}} \cdot (18 - t_{\text{mar}}) + \tau_{\text{apr}} \cdot (18 - t_{\text{apr}})] / (18 - t^{\text{calc}}), \quad \text{кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2.$$

Отже, максимальні розрахункові питомі втрати теплоти будівлею, кВт/м², при нормативній мінімальній розрахунковій температурі зовнішнього повітря, дорівнюють:

$$q^{\text{calc}} = (18 - t^{\text{calc}}) \cdot q_{\text{year}}^{\text{norm}} / [\tau_{\text{oct}} \cdot (18 - t_{\text{oct}}) + \tau_{\text{nov}} \cdot (18 - t_{\text{nov}}) + \tau_{\text{dec}} \cdot (18 - t_{\text{dec}}) + \tau_{\text{jan}} \cdot (18 - t_{\text{jan}}) + \tau_{\text{feb}} \cdot (18 - t_{\text{feb}}) + \tau_{\text{mar}} \cdot (18 - t_{\text{mar}}) + \tau_{\text{apr}} \cdot (18 - t_{\text{apr}})], \quad \text{кВт}/\text{м}^2.$$

Максимальне розрахункове опалювальне навантаження будівлі при нормативній мінімальній розрахунковій температурі зовнішнього повітря t^{calc} відповідає значенню $\phi^q = 1$ та дорівнює:

$$\Phi^{\text{calc}} = A \cdot q^{\text{calc}}, \quad \text{кВт}, \quad (3)$$

де A – сумарна опалювальна площа будівлі, м².

Добове споживання теплоти будівлею при нормативній мінімальній розрахунковій температурі зовнішнього повітря t^{calc} :

$$Q^{\text{calc}} = 24 \cdot \Phi^{\text{calc}}, \quad \text{кВт}\cdot\text{год}/\text{доба}. \quad (4)$$

При мінімальній розрахунковій температурі виключно нічного електроспоживання t^{night} , °С, опалювальне навантаження Φ^{night} і добове споживання теплоти будівлею Q^{night} складуть:

$$\Phi^{\text{night}} = \Phi^{\text{calc}} \cdot \varphi^{\text{night}} = \Phi^{\text{calc}} \cdot (t_{\text{in}}^{\text{calc}} - t^{\text{night}}) / (t_{\text{in}}^{\text{calc}} - t^{\text{calc}}), \quad \text{кВт}, \quad (5)$$

$$Q^{\text{night}} = 24 \cdot \Phi^{\text{night}}, \quad \text{кВт}\cdot\text{год}/\text{доба}. \quad (6)$$

За час пільгового нічного електроспоживання (протягом 7 год) при температурі t^{night} необхідно провести повну зарядку водяного теплового акумулятора одночасно з подачею теплоти на опалення будівлі.

При цьому запас теплоти, накопиченої в тепловому акумуляторі, повинен забезпечити опалення будинку протягом денного періоду тривалістю 17 год.

Отже, загальна кількість теплоти в тепловому акумуляторі складе:

$$Q^{\text{acc}} = 17 \cdot \Phi^{\text{night}}, \quad \text{кВт}\cdot\text{год}. \quad (7)$$

Оскільки тепловий акумулятор повинен зарядитися протягом 7 годин одночасно з подачею теплоти на опалення будівлі, електрична потужність котла складе:

$$N = \Phi^{\text{night}} + Q^{\text{acc}}/7, \quad \text{кВт}. \quad (8)$$

Корисний об'єм теплового акумулятора:

$$V^{\text{acc}} = Q^{\text{acc}} / (c_p \cdot \rho \cdot \Delta T^{\text{acc}}), \quad \text{м}^3, \quad (9)$$

де $c_p = 4,19$ кДж/(кг·К) – питома ізобарна теплоємність води; $\rho = 1000$ кг/м³ – щільність води; $\Delta T^{\text{acc}} = 35$ К – корисна різниця температур води в тепловому акумуляторі.

Розрахункова тривалість роботи електричного котла протягом доби в денний час при нормативній мінімальній розрахунковій температурі зовнішнього повітря:

$$\tau^{\text{day}} = (Q^{\text{calc}} - Q^{\text{night}}) / N, \quad \text{год}. \quad (10)$$

За результатами розрахунків τ^{day} повинна виходити менше, ніж тривалість напівпікового періоду для виключення роботи електрокотла в піковий денний період з найбільш дорогим тарифом.

На базі виразів (1-10) підготовлена програма в MS Excel для варіантних порівняльних розрахунків систем електричного опалення з тепловим акумулятором.

Нижче наведено приклад розрахунку такої системи опалення офісної будівлі, розташованої в м. Києві.

Результати порівняльного розрахунку систем опалення та їх обговорення. Вихідні дані і результа-

Сезонні витрати на опалення при використанні різних енергоресурсів

Спожита теплота за сезон, Гкал	72,2
Спожита теплота за сезон, МВт·год	83,9
Нормативні максимальні сезонні тепловтрати будівлі за ДБН В2.6-31:2016, не більш, МВт·год	83
Вартість спожитої електроенергії за опалювальний сезон при наявності адекватного погодного регулювання, тис. грн.	41,2
Вартість спожитої електроенергії за опалювальний сезон при цілодобовому електроопаленні без теплового акумулятора, але при наявності адекватного погодного регулювання, тис. грн.	164,7
Вартість централізованого теплопостачання за опалювальний сезон при тарифі за відпущену теплоту при наявності адекватного погодного регулювання, тис. грн.	92,8
Вартість централізованого теплопостачання за опалювальний сезон при тарифі за опалювальну площу, тис. грн.	210
Загальний обсяг спожитого за опалювальний сезон газу, при наявності адекватного погодного регулювання, тис. м ³	8,6
Вартість спожитого за сезон на опалення природного газу, тис. грн.	83,5
Вартість пелетного опалення при наявності адекватного погодного регулювання, тис. грн.	50,6

ти розрахунку наведені в табл. 1. для офісної будівлі площею 1000 м² з максимальним питомим розрахунковим опалювальним навантаженням $q^{calc} = 40 \text{ Вт/м}^2$, що відповідає добре утепленій будівлі.

Розрахункова сумарна потужність ТЕНів електродкотла становить (при роботі переважно вночі) 102,9 кВт, при корисному об'ємі теплового акумулятора 12,52 м³, тоді як розрахункова потужність електродкотла, при цілодобовій роботі без теплового акумулятора, дорівнює 40 кВт.

Розрахунок виконаний для випадку, коли при температурі зовнішнього повітря нижче -12 °С буде відбуватися включення електродкотла на 50 %-ній потужності для підігріву теплоносія в денний час.

При мінімальній розрахунковій температурі тривалість денного включення електродкотла не перевищить 5 годин.

У табл. 2 представлені результати розрахунків помісячних витрат на опалення будівлі при використанні різних енергоресурсів і форм оплати.

У табл. 3 і на рис. 2 показані результати розрахунків сумарних сезонних витрат на опалення будівлі при використанні різних енергоресурсів.

Таблиця 1

Вихідні дані і технологічні результати розрахунку

Сумарна опалювальна площа будівлі, м ²	1000
Максимальне питоме опалювальне навантаження будівлі, Вт/м ²	40
Нормативні максимальні сезонні тепловтрати будівлі по ДБН В2.6-31:2016, кВт·год/м ²	83
Мінімальна зовнішня температура виключно нічного електроспоживання (при більш низьких температурах відбувається денне включення електродкотла), °С	-12
Частка електричної потужності при денному включенні електродкотла, %	50
Розрахункова сумарна потужність ТЕНів електродкотла, кВт	102,9
Розрахункова потужність ТЕНів електродкотла при цілодобовій роботі без теплового акумулятора, кВт	40
Корисна різниця температур води в теплому акумуляторі, К	35
Корисний розрахунковий об'єм теплового акумулятора, м ³	12,52
Базовий тариф електроенергії без ПДВ, коп./(кВт·год)	163,545
Вартість спожитої теплоти при централізованому теплопостачанні, грн./Гкал	1286,07
Вартість централізованого теплопостачання при оплаті за одиницю опалювальної площі, грн./(м ² ·міс.)	30
Вартість природного газу для промислової котельні, грн./тис. м ³	9692,4
Вартість природного газу в складі спожитої теплоти при централізованому теплопостачанні, з урахуванням ККД газового котла, грн./Гкал	1156,6
Вартість пелет, грн./т	2410
Теплотворна здатність пеллет, МДж/кг	18
Вартість пелетної теплоти з урахуванням ККД пелетного котла, грн./Гкал	700,7
Вартість теплоти при цілодобовому електроопаленні без теплового акумулятора, грн./Гкал	2282,4

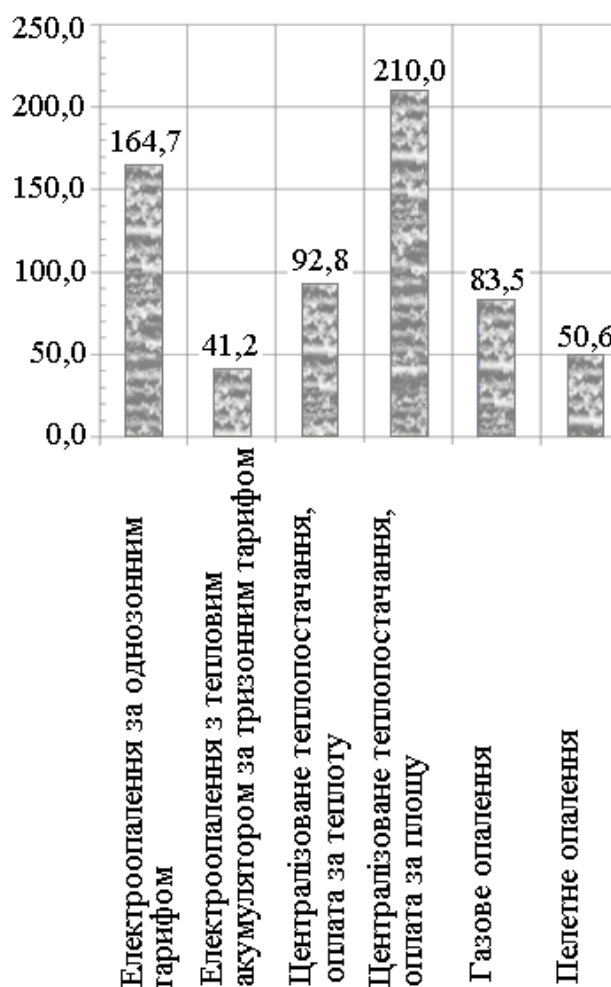


Рис. 2. Сезонні витрати на опалення при використанні різних енергоресурсів, тис. грн.

Таблиця 3

Помісячні витрати на опалення при використанні різних енергоресурсів

Місяць	жовтень	листопад	грудень	січень	лютий	березень	квітень
Середня температура, град. С	7,5	1,2	-3,5	-5,9	-5,2	-0,4	7,5
Спожита теплота, Гкал/місяць	3,84	10,40	13,75	15,29	13,41	11,77	3,71
Спожита теплота, кВт-год/місяць	4464	12096	15996	17782	15590	13690	4320
Вартість спожитої електроенергії, тис. грн./місяць	2,19	5,93	7,85	8,72	7,65	6,72	2,12
Вартість спожитої електроенергії при цілодобовому електроопаленні без теплового акумулятора, тис. грн./місяць	8,76	23,74	31,39	34,90	30,60	26,87	8,48
Вартість централізованого теплопостачання при оплаті за відпущену теплоту, тис. грн./місяць	4,94	13,38	17,69	19,66	17,24	15,14	4,78
Вартість централізованого теплопостачання при оплаті за опалювальну площу, тис. грн./місяць	30	30	30	30	30	30	30
Вартість еквівалентного газу, що витрачається на опалення, тис. грн./місяць	4,44	12,03	15,91	17,68	15,50	13,61	4,3
Вартість пелетного опалення, тис. грн./місяць	2,69	7,29	9,64	10,71	9,39	8,25	2,6

Таблиця 4

Характеристики системи електроопалення з акумулятором теплоти

Вихідні дані для розрахунку	
Розрахункова сумарна потужність ТЕНів	102,9 кВт
Корисна розрахункова місткість теплового акумулятора	12,52 м ³
Розрахункова різниця температур в зарядному циркуляційному контурі	5 К
Розрахункова різниця температур в витратному циркуляційному контурі	10 К
Швидкість руху води в зарядному циркуляційному контурі	1,5 м/с
Швидкість руху води в витратному циркуляційному контурі	1,5 м/с
Швидкість руху води в змішаному циркуляційному контурі	1 м/с
Результати розрахунку основних технологічних характеристик системи опалення:	
Розрахункова витрата води в зарядному циркуляційному контурі	4,913 кг/с 17,69 т/ч
Розрахункова витрата води в витратному циркуляційному контурі	0,955 кг/с 3,44 т/ч
Діаметр труб зарядного циркуляційного контуру	0,0646 м 64,6 мм
Діаметр труб витратного циркуляційного контуру	0,0285 м 28,5 мм
Діаметр патрубків теплового акумулятора	0,0864 м 86,4 мм
Вартісні показники системи опалення	
	вартість, грн.
Електрокотел	15000
Циркуляційний насос зарядного контуру	8300
Циркуляційний насос витратного контуру	2900
Тепловий бак-акумулятор	18000
Теплова ізоляція	10000
Триходовий регулюючий клапан Ду32	1700
Сервопривід до триходового регулюючого клапану Ду32	2500
Блок автоматичного керування	16000
Запірна арматура, труби, трійники, фітинги, теплоізоляція комунікацій	20000
Монтажні роботи	45000
Сумарна вартість	139400

За розрахунком, сумарне споживання теплоти будівлею протягом опалювального сезону становить 83,9 МВт-год, що практично відповідає нормативному рівню 83 МВт-год, отже, прийняте в розрахунку значення максимальної питомої опалювального навантаження 40 Вт/м² також відповідає нормативним тепловим втратам будівлі.

Найменші сезонні витрати на опалення в сумі 41,2 тис. грн. забезпечуються при використанні електричного опалення з нічним акумуляванням теплоти і з використанням тризонного обліку споживаної електроенергії. Відносно невеликі витрати 50,6 тис. грн. відповідають опаленню пелетами, однак якщо врахувати супутні фактори, пов'язані з необхідністю періодичної доставки, зберіганням

пелет і видаленням відходів, то електроопалення виглядає набагато кращим.

При використанні газового котла, сезонні витрати складуть 83,5 тис. грн., що вдвічі більше, ніж при електроопаленні з нічним акумуляванням теплоти.

У разі використання централізованого теплопостачання, оплата його послуг в обсязі 92,8 тис. грн. за опалювальний сезон не набагато перевищує витрати на газове опалення.

Найбільші сезонні витрати на опалення в сумі 210 тис. грн. виникають у разі щомісячної оплати послуг централізованого теплопостачання за тарифом 30 грн. за кожен квадратний метр опалювальної площі протягом опалювального сезону, тобто при відсутності зареєстрованого теплолічильника.

Якщо використовувати електроопалення без теплового акумулювання, то за умови адекватного погодного регулювання, сезонні витрати складуть 164,7 тис. грн., що менше, ніж при централізованому теплопостачанні з оплатою послуг за тарифом за опалювальну площу.

Розглянемо також доцільність проведення реконструкції існуючих систем опалення шляхом заміни джерела теплоти на електроопалення з тепловим акумулятором за тризонним тарифом. Порівняння здійснено з найбільш поширеним варіантом теплопостачання у великих містах України – централізованим теплопостачанням як з оплатою за споживану теплоту, так і з оплатою за опалювальну площу.

Розрахунки системи електроопалення представлені у зведеній табл. 4. Порівняння сумарної вартості запропонованої системи електроопалення (табл. 4) з річними витратами на централізоване теплопостачання (рис. 2) доводить, що термін окупності переходу на електроопалення з централізованого теплопостачання з оплатою за споживану теплоту становить 2,7 року, а з оплатою за опалювальну площу – 0,83 року.

Таким чином, використання систем електроопалення з нічним акумулюванням теплоти доцільне не тільки для нових систем опалення, але і для існуючих.

Висновки.

1. Наведено метод і програма розрахунку систем електроопалення з нічним акумулюванням теплоти.

Метод враховує діючі стандарти України та дозволяє визначати основні технічні характеристики системи з урахуванням можливості включення електродвигуна на половину розрахункової потужності в денний час.

2. Запропонований метод і розроблена програма дозволяють визначати щомісячне споживання теплоти будівлями і розраховувати вартості опалення при використанні різних видів енергетичних ресурсів, а також дозволяють порівнювати витрати на централізоване теплопостачання з оплатою за спожиту кількість теплоти і при оплаті за опалювальну площу.

3. Наведено чисельний приклад для реальних погодних умов м. Києва показав економічні переваги використання електроопалення з нічним акумулюванням теплоти.

За українськими тарифами на грудень 2017 року вартість електроопалення з нічним акумулюванням теплоти в два рази нижче, ніж для централізованого теплопостачання з оплатою за спожиту теплоту.

4. Доведено, що термін окупності переходу на електроопалення для варіанту заміни централізованого теплопостачання з оплатою за спожиту теплоту складає менше, ніж 3 роки, для варіанту заміни централізованого теплопостачання з оплатою за опалювальну площу – складає менш, ніж 1 рік.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Veeraboina P., Yesuratnam G. Significance of design for energy conservation in buildings: building envelope components //

International Journal of Energy Technology and Policy. – 2013. – vol.9. – no.1. – pp. 34-52. doi: 10.1504/IJETP.2013.055814.

2. Arteconi A., Patteeuw D., Bruninx K., Delarue E., D'haeseleer W., Helsen L. Active demand response with electric heating systems: Impact of market penetration // Applied Energy. – 2016. – vol.177. – pp. 636-648. doi: 10.1016/j.apenergy.2016.05.146.

3. Li J., Fang J., Zeng Q., Z Chen. Optimal operation of the integrated electrical and heating systems to accommodate the intermittent renewable sources // Applied Energy. – 2016. – vol.167. – pp. 244-254. doi: 10.1016/j.apenergy.2015.10.054.

4. Ziemele J., Gravelins A., Blumberga A., Blumberga D. Sustainability of heat energy tariff in district heating system: Statistic and dynamic methodologies // Energy. – 2017. – vol.137. – pp. 834-845. doi: 10.1016/j.energy.2017.04.130.

5. Patteeuw D., K Bruninx., Arteconi A., Delarue E., D'haeseleer W., Helsen L. Integrated modeling of active demand response with electric heating systems coupled to thermal energy storage systems // Applied Energy. – 2015. – vol.151. – pp. 306-319. doi: 10.1016/j.apenergy.2015.04.014.

6. Парасочка С.О., Хрящевський В.М. До питання про електроакумуляційне опалення та гаряче водопостачання // Житлово-комунальне господарство України. – 2009. – №8(21). – С. 34-37.

7. Параска Г.Б., Миколюк О.А. Оцінка ефективності використання електричних систем опалення // Енергетика: економіка, технологія, екологія. – 2015. – №4. – С. 73-79.

8. Трепутнев В.В. Электрические теплоаккумуляторы для отопления и горячего водоснабжения // Новости тепло-снабжения. – 2010. – №4. – С. 116-118.

9. Патент України № 57479. Система теплопостачання / Андрищенко А.М., Панасюк О.В. – Заявл. 01.2006; опубл. 25.02.2011, Бюл. №4.

10. <http://www.nerc.gov.ua/?id=11889>.

REFERENCES

1. Veeraboina P., Yesuratnam G. Significance of design for energy conservation in buildings: building envelope components. *International Journal of Energy Technology and Policy*, 2013, vol.9, no.1, pp. 34-52. doi: 10.1504/IJETP.2013.055814.

2. Arteconi A., Patteeuw D., Bruninx K., Delarue E., D'haeseleer W., Helsen L. Active demand response with electric heating systems: Impact of market penetration. *Applied Energy*, 2016, vol.177, pp. 636-648. doi: 10.1016/j.apenergy.2016.05.146.

3. Li J., Fang J., Zeng Q., Z Chen. Optimal operation of the integrated electrical and heating systems to accommodate the intermittent renewable sources. *Applied Energy*, 2016, vol.167, pp. 244-254. doi: 10.1016/j.apenergy.2015.10.054.

4. Ziemele J., Gravelins A., Blumberga A., Blumberga D. Sustainability of heat energy tariff in district heating system: Statistic and dynamic methodologies. *Energy*, 2017, vol.137, pp. 834-845. doi: 10.1016/j.energy.2017.04.130.

5. Patteeuw D., K Bruninx., Arteconi A., Delarue E., D'haeseleer W., Helsen L. Integrated modeling of active demand response with electric heating systems coupled to thermal energy storage systems. *Applied Energy*, 2015, vol.151, pp. 306-319. doi: 10.1016/j.apenergy.2015.04.014.

6. Parasochka S.O., Hryshchhevs'kyj V.M. Regarding electrical heating with accumulation and heat water supply. *Housing and communal services of Ukraine*, 2009, no.8(21), pp. 34-37. (Ukr).

7. Paraska G.B., Mykoljuk O.A. Efficiency of electrical heating systems usage. *Power Engineering: economics, technique, ecology*, 2015, no.4, pp. 73-79. (Ukr).

8. Treputnev V.V. Electrical heat accumulators for heating and heat water supply. *News of heat supply*, 2010, no.4, pp. 116-118. (Rus).

9. Andrjushhenko A.M., Panasjuk O.V. *Systema teplopостachannja* [System of heat supply]. Patent UA, no.57479, 2011. (Ukr).

10. Available at: <http://www.nerc.gov.ua/?id=11889> (accessed 02 December 2017). (Ukr).

Надійшла (received) 08.01.2018

Андрющенко Анатолій Михайлович¹,
Нікульшин Володимир Русланович¹, д.т.н., проф.,
Денисова Алла Євгенівна¹, д.т.н., проф.,

¹ Одеський національний політехнічний університет,
65044, Одеса, пр. Шевченко, 1,
e-mail: amandr@ukr.net; vnikul@paco.net;
alladenysova@gmail.com

A.M. Andryushchenko¹, V.R. Nikulshin¹, A.E. Denysova¹

¹ Odessa National Polytechnic University,
1, Shevchenko Avenue, Odessa, 65044, Ukraine.

Advantages of electrical heating systems with night heat accumulation in Ukrainian conditions.

Purpose. To develop electrical heating systems with night heat accumulation and to prove its advantages comparable with others possible variants of heating. **Methodology.** We have proposed a methodology which is based on the current Standards of Ukraine and included few main assumptions: the efficiency of the electric boiler is assumed equal 100 %; the dependence of the building heating load on the outside temperature is linear; all the variants of different energy resources calculating for the system operating correspond to the adequate (depending on weather) regulation. Methodology allows to determine the main technical characteristics of the system taking into account the possibility of switching on the electric boiler in the daytime using the half-loading. On the base of suggested methodology was developed the calculation program for determine the monthly consumption of heat by the building and estimate the cost of

heating using different energy sources. This program also allows to compare the payment for centralized heat supply services at the tariff for the consumed heat with a payment for the heated area tariff. **Results.** We have obtained a method for electrical heating systems with night heat accumulation calculation. Method bases on the current Standards in Ukraine and allows to determine the main technical characteristics of the system taking into account the possibility of switching on the electric boiler in the daytime. On the base of suggested method was developed the calculation program for determine the monthly consumption of heat by the building and estimate the cost of heating using different energy resources. This program also allows to compare the payment for centralized heat supply services at the tariff for the consumed heat with a payment for the heated area tariff. **Originality.** For the first time we have suggested methodology and developed the calculation program for electrical heating systems with night heat accumulation which is based on the Ukrainian Standards and allows to determine the monthly consumption of heat by the building and estimate the cost of heating using different energy sources. **Practical value.** We have developed a method and calculation program which allows to design the energy saving electrical heating systems with night heat accumulation. We have demonstrated on the numerical example for the real weather conditions of Kyiv city the economical advance of using electric heating with night heat accumulation comparable with all others options (centralized heat supply, gas heating, pellet heating). For December 2017 tariffs in Ukraine, the cost of electrical heating with night heat accumulation are two times lower than in the case of centralized heat supply with payment for consumed heat. We have proved that the refund period for implementation of electrical heating systems with night heat accumulation instead of centralized heat supply services at the tariff for the consumed heat is less than 3 years, and for centralized heat supply services at the tariff for the heated area tariff is less than 1 year. References 10, tables 4, figures 2.

Key words: energy saving, electrical heating, night heat accumulation, cost of heating for different energy resources.