

УДК 697.278

Лисак Олег Віталійович

інженер відділу геотермальної енергетики, ORCID: 0000-0002-4934-0685

Інститут відновлюваної енергетики Національної академії наук України, Київ

ДИНАМІЧНЕ РЕГУЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ АКУМУЛЯЦІЙНИХ СИСТЕМ ТЕПЛО- ТА ХОЛОДОПОСТАЧАННЯ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МІКРОКЛІМАТУ ПРИМІЩЕНЬ

***Анотація.** Зараз в Україні актуальним питанням є зменшення вартості систем тепло- та холодопостачання для забезпечення мікроклімату приміщень. В цій роботі проведено аналіз акумуляційних підтипів розглянутих систем, що використовують електроенергію, вироблену в період дії пільгового тарифу, для генерації тепла чи холоду з метою забезпечення мікроклімату приміщень. Проведений аналіз створив підґрунтя для порівняння вартості електроенергії від різних джерел як в Україні, так і закордоном, а також продемонстрував переваги зміни вартості електроенергії в залежності від її реального споживання, яке має на меті забезпечити найбільш повне використання надлишків виробленої електроенергії. Також були розглянуті три варіанти систем з використанням акумуляції енергії: систем центрального холодопостачання з акумуляцією холоду, систем центрального опалення з акумуляцією теплоти та систем місцевого акумуляційного електроопалення. Для останніх систем було продемонстровано порівняння двох їх підтипів та представлено переваги систем, що здатні підтримувати різну температуру в обслуговуваних приміщеннях.*

***Ключові слова:** акумуляційні системи опалення, акумулятори холоду, динамічна зміна вартості електроенергії*

Постановка проблеми

Як правило, вибір технології для забезпечення потреб тепло- чи холодопостачання, обґрунтовують з огляду на зменшення витрат на систему протягом всього періоду експлуатації, тобто як мінімізацію витрат на встановлення системи та подальшу її експлуатацію. Не завжди можливо одночасно вирішити обидві задачі: зустрічаються випадки, коли системи з невеликими початковими капітальними витратами потребуватимуть значних коштів на свою експлуатацію та навпаки, коли системи, які потребуватимуть значних початкових капіталовкладень, не будуть занадто витратними при експлуатації.

За відповідного техніко-економічного обґрунтування можливо поєднати наведені вище системи з тим, аби раціонально використовувати кожен з них в залежності від потреби: для пікових короткочасних потреб – дешеві по капітальній вартості, для основних довготривалих потреб – дешеві в експлуатації. Можливо збільшу частку дешевших в експлуатації систем, якщо застосувати акумуляцію тепла чи холоду (в залежності від потреби), виробленого від дешевого джерела енергії та в подальшому використовувати акумульоване тепло чи холод в залежності від

потреби в період, коли потужність основного джерела або не є достатньою, або ж недоступною.

В цій роботі в якості основного ресурсу для генерації тепла чи холоду розглянуто надлишково вироблену електроенергію, яка тарифікується в окремі години доби по пільговим цінам (рис. 1). Зазначимо, що надлишок виникатиме або внаслідок загального спаду споживання електроенергії, що як правило трапляється протягом нічних годин (також спади споживання, хоч і не так значні як в нічні години, трапляються протягом денних годин), так і через надлишкове виробництво електроенергії внаслідок певних обставин (наприклад, за використання відновлюваних джерел енергії, виробництво електроенергії якими є змінним у часі).

Сьогодні акумуляція електроенергії для живлення систем тепло- та холодопостачання набуває нового змісту за поширення сучасних систем обліку та прогнозування спожитої електроенергії [1, 2], які впроваджують для максимально повної утилізації надлишків електроенергії, що виникає внаслідок «спадів» її споживання, підвищуючи ступінь використання дійсних потужностей з виробництва електроенергії. Це дозволяє заощаджувати кошти не лише споживачу за рахунок менших витрат, але й

виробнику електроенергії за рахунок більш рівномірного завантаження потужностей електрогенеруючих установок. Проте зауважимо, що повний перехід на виключно акумуляційні системи для всіх споживачів може не мати економічного сенсу [3].

Розглянемо яким чином можливо утилізувати надлишково вироблену електроенергію. На рис. 2. наведено чотири можливі випадки використання надлишково виробленої електроенергії за умови, що з появою дешевого тарифу в певні години будуть з'являтися лише нові споживачі електроенергії та не відбудеться вирівнювання графіку споживання електроенергії. На рис. 2а показана типова ситуація, за умовами якої тариф є єдиним і яка є базисом для подальшого аналізу. На рис. 2б показана зона (заштрихована), яку можна використати з появою пільгового тарифу на електроенергію в нічні години. Проте рекомендований діапазон використання електроенергії в зазначені години не обов'язково відповідатиме її реальному споживанню – тобто потенціал систем не буде використовуватись в повній мірі. Дещо схожа ситуація виникає й за використання електроенергії під часу денного спаду споживання – як показано на рис. 2в – але в даному випадку відбулись певні зрушення в реальному споживанні електроенергії – і в результаті заплановане споживання електроенергії відбуватиметься частково в години, коли це є небажаним. На рис. 2г показано споживання електроенергії, коли в режимі реального часу буде прийматись рішення про раціональність споживання електроенергії в ті чи інші години, що й забезпечуватиме найбільш повне споживання надлишків електроенергії.

Подібні системи з регулюванням споживання електроенергії в реальному часу для забезпечення потреб теплопостачання в системах опалення й гарячого водопостачання розглядають в грантовому проекті програми Horizon-2020 під назвою «RealValue» (Project ID: 646116), яка призначена для вивчення шляхів утилізації електроенергії, виробленої від відновлюваних джерел енергії [4, 5, 6]. В якості систем опалення в даному проекті були прийняті сучасні моделі електротеплоакумулюючих обігрівачів [7, 8, 9] та електричні акумуляційні баки-акумулятори в системах гарячого водопостачання.

Мета та задачі статті

Метою даної роботи є вивчення особливостей використання акумуляційних систем тепло- та холодопостачання.

Для цього були поставлені наступні задачі: проаналізувати вартість електроенергії від різних

джерел енергії в Україні та закордоном, та типи систем акумуляції тепло- та холодопостачання. Також, враховуючи зацікавленість в системах місцевого акумуляційного електроопалення у вищезгаданому проекті з програми Horizon-2020, розглянемо якість регулювання систем опалення як фактор що визначає їх енергетичну ефективність.

Аналіз вартості електроенергії

Розглянемо структуру виробництва та вартості електроенергії, використаної ПАТ «Київенерго» в 2016 році (див. табл. 1).

Частка в обсягах виробництва електроенергії в кожного i -ого джерела $b_{\text{пот},i}$, %, має сумарно складати:

$$\sum_{i=1}^n (b_{\text{пот},i}) = 100\%. \quad (1)$$

Частка у вартості електричної енергії в кожного i -ого джерела $z_{\text{пот},i}$, %, має сумарно складати:

$$\sum_{i=1}^n (z_{\text{ел},i}) = \sum_{i=1}^n (d_{\text{пот},i} \cdot b_{\text{пот},i}) = 100\%; \quad (2)$$

де $d_{\text{пот}}$ – відносна частка вартості, яку за відомих значення $b_{\text{пот}}$ та $z_{\text{пот}}$ й будемо визначати як:

$$d_{\text{пот}} = z_{\text{ел}} / b_{\text{пот}}. \quad (3)$$

Значення $b_{\text{пот}}$ та $z_{\text{пот}}$ надано в табл. 1, і відповідно до них обчислено значення $d_{\text{пот}}$.

Порівнювати вартість електроенергії будемо по відношенню до вартості АЕС, як найбільш прийняттого джерела електроенергії для систем акумуляційного електроопалення. Порівняння будемо здійснювати по формулі:

$$e_{\text{АЕС},i} = \frac{e_i - e_{\text{АЕС}}}{e_{\text{АЕС}}} \cdot 100\%; \quad (4)$$

де e_i – вартість i -ого джерела електроенергії; $e_{\text{АЕС}}$ – вартість електроенергії від АЕС. У випадку України приймаємо значення e як $d_{\text{пот}}$. Обчислені значення представлені в табл. 1.

Таблиця 1 – Порівняння вартості електроенергії від різних джерел в Україні на прикладі даних ПАТ «Київенерго» [10]

Джерело енергії	$b_{\text{пот},i}$ %	$z_{\text{пот},i}$ %	$d_{\text{пот}}$	$e_{\text{АЕС},i}$ %
АЕС	29,32	53,74	55	0
Генеруючі компанії ТЕС	45,96	31,78	145	165
Теплоелектроцентралі	12,51	7,01	178	227
ГЕС (крім малих)	5,23	6,21	84	54
ГЕС (малі)	0,56	0,13	431	690
ВЕС	2,54	0,66	385	605
Інші	3,88	0,47	–	–

Загалом	100,00	100,00	–	–
---------	--------	--------	---	---

Отримані значення демонструють, що в умовах України найдешевшим джерелом електроенергії є АЕС. Для всіх інших джерел вартість електроенергії є значно вищою, особливо для відновлювальних джерел – малих ГЕС та ВЕС.

Порівнюємо ситуацію, що склалась в Україні з закордонним досвідом. Порівнювати будемо з країнами, де технології використання надлишково виробленої електроенергії для забезпечення потреб тепло- та холодопостачання систем мікроклімату будівель набули широкого використання: США [11] та Великобританією [7, 8, 9].

Таблиця 2 – Порівняння вартості електроенергії закордоном

Джерело електроенергії	Вартість електроенергії*			$e_{\text{АЕС, в}} \%$		
	Min	Av	Max	Min	Av	Max
США, \$/(МВт·год)						
Сучасні АЕС	91,8	95,2	101,0	0	0	0
Вугільні ТЕЦ (прості)	87,1	95,1	119,0	-5	0	18
ГЕС	69,3	83,5	107,2	-25	-12	6
Газові ТЕЦ з використанням комбінованого циклу (стандартні)	70,4	75,2	85,5	-23	-21	-15
ВЕС (наземні)	65,6	73,6	81,6	-29	-23	-19
Великобританія, £/(МВт·год)						
Сучасні АЕС	82	93	121	0	0	0
Вугільні ТЕЦ з інтегрованим комбінованим циклом газифікації, включно зі збором зберіганням вуглецю	137	148	171	49	55	69
Газові ТЕЦ з використанням комбінованого циклу (стандартні)	65	66	68	-29	-31	-33
ВЕС (наземні)	47	62	76	-49	-35	-25

*Примітка: вартість електроенергії наведена на 2015 рік у вказаних грошових одиницях по відношенню на 1 МВт·год для США згідно даних Energy Information Administration (з перспективою на 2020 рік) [12], а для Великобританії – згідно даних Department for Business, Energy and Industrial Strategy [13].

Дані з вартості електроенергії наведено в табл. 2. Дані наведено для трьох діапазонів, а саме найнижчого (Min), середнього (Av) та максимального (Max). Порівняння вартості кожного

з наведених джерел електроенергії по формулі (4) будемо провадити для вартості відповідних діапазонів.

Результати табл. 2 свідчать про відмінну від України ситуацію. Перш за все, вартість електроенергії від кожного з вказаних джерел є більш збалансованою (відсутня ситуація, коли електроенергія від одного джерела коштує в декілька разів більше за інше). По-друге, в деяких випадках є дешевші альтернативи з виробництва електроенергії, ніж АЕС. Як в США, так і Великобританії в усіх діапазонах вартості дешевшим за використання АЕС було використання газових ТЕЦ та ВЕС.

Що стосується використання газових ТЕЦ для потреб теплопостачання замість безпосереднього спалювання газу на котельних, то тут побутують різні думки щодо прийнятності того чи іншого рішення. Водночас, саме відновлювані джерела енергії, такі як ВЕС, сьогодні вивчають закордоном з огляду на використання їх надлишково виробленої електроенергії для забезпечення потреб опалення [11].

В якості висновку вкажемо, що вартість електроенергії залежить й від ступені використання зазначених джерел – і оскільки ступінь їх використання зростатиме завдяки глибокій інтеграції цих систем для забезпечення потреб в тепло- та холодопостачанні, то вартість електроенергії може зменшитись. При цьому зазначимо, що вартість електроенергії в період дії пільгової вартості буде меншою за вартість електроенергії в період основного навантаження системи, до якого й має відношення вартість електроенергії з табл. 2. Наприклад, в Україні вартість електроенергії в пільговий період становить для побутових споживачів за тризонного тарифу лише 40% від її вартості в основні години, а для непобутових споживачів за аналогічного тарифу – взагалі 25%.

Огляд систем акумуляції систем тепло- та холодопостачання

В цій роботі обмежимося оглядом трьох систем, які забезпечують або ж потреби холодопостачання, або ж потреби теплопостачання, а саме: 1) систем центрального холодопостачання установок кондиціонування повітря, 2) систем центрального опалення та 3) систем місцевого акумуляційного електроопалення.

Системи центрального холодопостачання установок кондиціонування повітря.

Створення централізованих систем

холодопостачання має ту перевагу, що дозволяє централізовано зберігати холод, тим самим значно здешевлюючи вартість системи, ніж це було б за індивідуального встановлення установок з генерації холоду (наприклад, холодильних машин SPLIT-кондиціонерів). Виробництво холоду в нічні години в період дії пільгового тарифу не тільки коштуватиме дешевше, але й у випадку використання повітряної холодильної машини (ХМ) за, як правило, нижчої вночі температури зовнішнього повітря позитивно вплине на коефіцієнт перетворення холоду.

Використання акумуляторів холоду є досить витратним і тому потребує попереднього техніко-економічного обґрунтування, бо зі зменшенням вартості електроенергії дешевшим може бути безпосереднє споживання електроенергії, а не акумуляованні її в період дії пільгового тарифу. Так, якщо розглядати досвід Північної Америки [14, 15], то практику впровадження позапікових систем кондиціонування повітря (off-peak air conditioning) там стимулювало як раз підвищення вартості електроенергії і ті роки, коли її вартість знижувалась, знижувалась й зацікавленість у використанні систем акумуляції [16].

З оглядом різних варіантів систем акумулявання холоду можна ознайомитись в [17] та [18]. Найбільшу увагу серед них приділяють фазовим акумуляторам холоду [19]. В літературі є певні розбіжності щодо температури, яка застосовується для акумулявання холоду в цих акумуляторах: в [19] діапазон температури становив (-6)...(-3) °С, в [20] наводилось 0 °С, а в [21] температура складала 10 °С.

Що стосується частки акумуляованого холоду від загальної холодопродуктивності протягом доби, то вона залежить від багатьох факторів: вартості електроенергії та характеру теплонадходжень у часі до приміщень, коливань температури навколишнього повітря і т.д. [22, 23].

Окрім акумуляції холоду можливо використовувати джерела холоду з низькими значеннями температури, на кшталт води з відкритих водойм – і за цих умов відмовитись повністю або частково від використання холодильної машини, охолоджуючи холодоносій напряму через теплообмінник [24, 25]. Але встановлення таких систем не виключає необхідності резервування запасу холодної води, необхідної для роботи в пікових режимах.

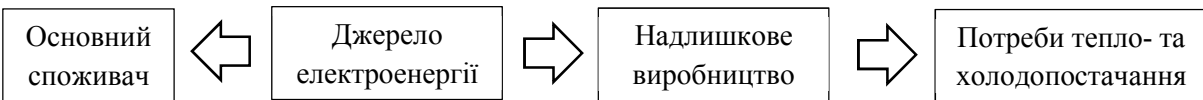


Рисунок 1 – Розподілення електроенергії

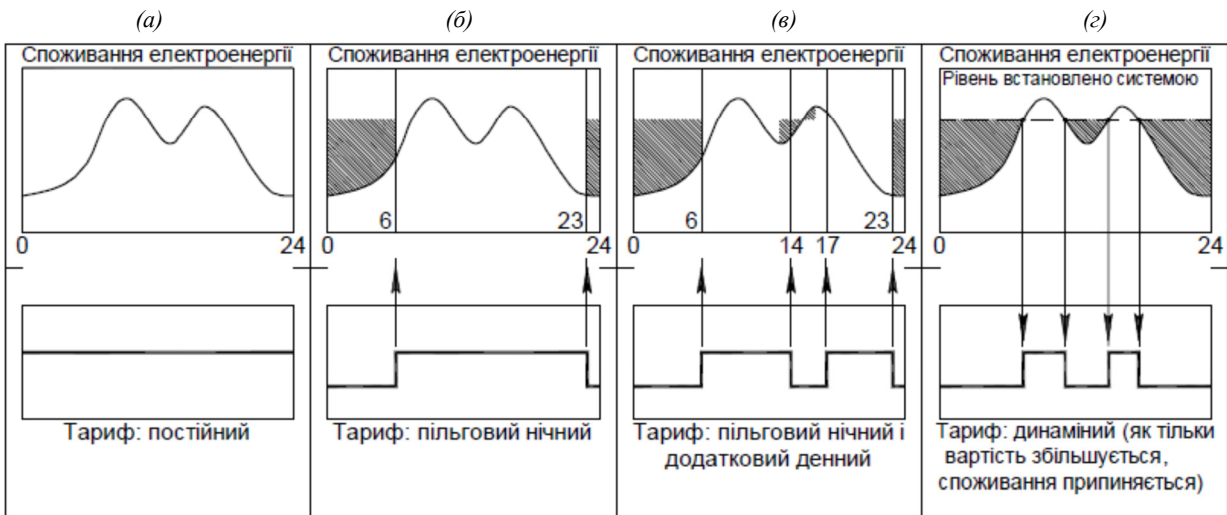


Рисунок 2 – Споживання електроенергії в залежності від вартості:

а) споживання електроенергії за єдиної вартості електроенергії; б) додаткове споживання надлишків електроенергії за пільгового тарифу в нічні години за сталого інтервалу; в) додаткове споживання надлишків електроенергії за пільгового тарифу в нічні та певні денні години за сталого інтервалу; з) додаткове споживання електроенергії за динамічного формування вартості.

Системи центрального тепlopостачання.

В [26] було продемонстровано, що ефективність системи центрального опалення зростатиме з її

централізацією: за однакової необхідної теплової потужності чим менше було акумуляторів (і чим, відповідно, була більшою теплоакумуляюча

здатність одного акумулятора), тим раціональніше використовувалась їх теплоакумуюча здатність – за потужніших акумуляторів зменшувалась потреба в електроенергії в години пікового теплоспоживання, тобто можливо було акумулювати енергію в кількості, достатній для забезпечення потреб теплопостачання протягом довшого періоду часу.

Як правило, системи центрального теплопостачання з акумуляцією або використовують в якості теплоакумуючого матеріалу (ТАМ) воду (або ж інший рідинний теплоносіє), або ж твердотільний матеріал. Генерація теплоти в цих системах може здійснюватися як за використання електричних нагрівачів опору, так і за допомогою теплових насосів. Відмінність варіантів полягає в тому, що за застосування електричних нагрівачів опору можливо досягти значення температури розігріву в твердотільних ТАМ, що сягає 600...800 °С (та з подальшим охолодженням ТАМ приблизно до 100 °С), в той час як за використання теплового насосу температура не буде перевищувати значень в 90 °С (і саме тому в цих системах використовуються переважно рідинні акумулятори). Розглянемо виконане в [3] порівняння системи центрального теплопостачання з застосуванням теплових насосів з водяним баком-акумулятором та з застосуванням центральних електротепло-акумуючих обігрівачів (ЦЕО), що використовують для акумуляції теплової енергії твердотільний ТАМ та нагрівають його за допомогою електричних нагрівачів опору [8]. З останніми системами можна ознайомитись на прикладі техніки виробництва компаній Schürer-Benz та Steffes. Варто зазначити, що масштаб впровадження цих систем може помітно відрізнятись: у випадку теплових насосів мова може йти про забезпечення жителів цілого району, в той час як ЦЕО мають меншу потужність та використовуються для теплопостачання окремих об'єктів, на кшталт приватного будинку.

Порівняння з [3] показало як змінюється необхідне резервування системи (в якості резерву виступали газові котли) в залежності від доступності електроенергії від ВЕС та потреби в теплопостачанні за використання теплових насосів та ЦЕО. Наведена методика продемонструвала, що чим дешевшою є електроенергія, тим більш вигідним буде застосування ЦЕО, а з підвищенням вартості електроенергії кращі показники демонструють теплові насоси. В усіх розглянутих випадках існувала економічна виправдана потреба у використанні резервної газової системи теплопостачання. Але навіть авторами роботи [3] даний розрахунок характеризувався як ідеалізований і зазначалось, що ситуація з вибором джерела опалення залежить від

більшої кількості факторів.

Розглянуті в цьому аналізі системи можливо скомбінувати в єдиному приладі [27], в якому тепловий насос забезпечує потреби в теплоті у повітряній системі опалення будинку і працює до певної заданої температури зовнішнього повітря, а коли температура зовнішнього повітря є нижчою за встановлене значення, починає використовуватись ЦЕО для нагріву повітря в даній системі опалення.

З економічними аспектами ЦЕО можна ознайомитись в [28], де були наведені формули для визначення оптимальної потужності ЦЕО в залежності від теплоспоживання будівлі.

Акумулявання в системах місцевого (кімнатного) акумуляційного електроопалення.

До таких систем відносяться електрокабельні системи підлогового акумуляційного опалення (ЕКС ОТА) та електротеплоакумуючі обігрівачі (ЕО), також відомі як теплонакопичувачі та теплоакумуючі електродіодні печі [7, 8, 9]. Принцип роботи ЕО, як в ЦЕО, полягає в акумулюванні теплоти в твердому матеріалі шляхом нагрівання його в період дії пільгового тарифу електричними нагрівачами опору.

Якщо порівнювати ЕКС ОТА та ЕО, то останні системи мають значну перевагу в тому, що здатні у випадку відповідної конструкції змінювати температуру в обслуговуваному приміщенні і саме такі ЕО й представлені сьогодні на ринках [8]. Розглянемо це більш детально в наступному розділі.

Динамічне регулювання місцевих систем опалення

На рис. 3. показано три варіанти підтримання температури в приміщенні. Так, використання ЕКС ОТА може бути допустимим, якщо протягом доби не очікується жодних змін температури приміщення. (рис. 3а). В такому разі температура приміщення буде коливатися в заданому діапазоні.

Водночас, зараз все більша увага приділяється можливості зниження температури в обслуговуваному приміщенні та заощадженні коштів. Якщо використовувати нерегульовані системи, спроектовані на єдине (найвище) значення температури в приміщенні, то в години, коли було б бажаним знизити температуру повітря в обслуговуваному приміщенні, цього б неможливо було б досягти внаслідок відсутності регулювання теплового потоку (рис. 3б). В такому разі мав би місце перегрів приміщення та нераціональне використання акумульованого тепла.

У випадку використання ЕО, здатного регулювати температуру в обслуговуваному

приміщенні, можливо було б знизити температуру (рис. 3в) і таким чином не перегрівати приміщення та заощаджувати кошти. Зокрема, одним з питань, які вивчає проект RealValue є вивчення того, як користувачі налаштовують температуру в приміщеннях, з тим, аби оптимізувати споживання електроенергії ЕО та оптимізувати прогнози зі споживання електроенергії.

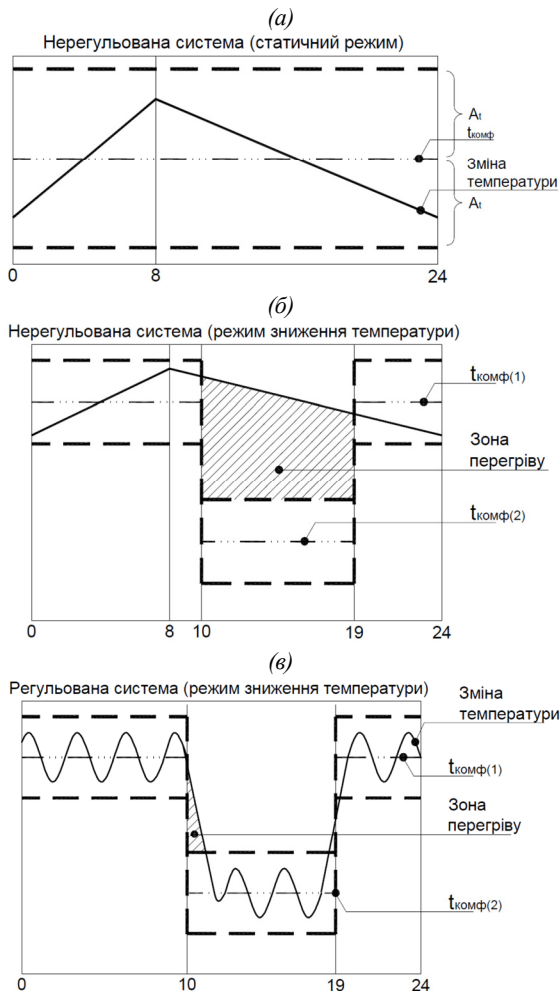


Рисунок 3 – Якість підтримання температури в приміщенні в залежності від необхідних її значень протягом доби:

(а) – нерегульована система (статичний режим); (б) – нерегульована система (режим зниження температури); (в) – регульована система (режим зниження температури).

Примітки: A_t – допустиме значення коливання температури в приміщенні.

В залежності від здатності до регулювання тепловіддача від ЕО загальна тепловіддача від приладу Q_{EO} , Вт, поділяється на дві складові: регульована тепловіддача Q_{per} , Вт, від повітряних каналів приладу та нерегульована тепловіддача $Q_{n.per}$, Вт, від зовнішніх поверхонь приладу:

$$Q_{EO} = Q_{per} + Q_{n.per} \quad (4)$$

Значення нерегульованої тепловіддачі (яке в літературі інколи характеризують як статичне – див. рис. 3а) від приладу може змінюватись протягом доби, так як воно залежить від температури ТАМ. Оскільки акумульоване тепло витрачається протягом доби, то й температура ТАМ зменшується, внаслідок чого й зменшується перепад температур в теплоізоляційному прошарку, що відділяє ТАМ від оточуючого середовища. Тому для підбору ТАМ необхідно проаналізувати два значення тепловіддачі: максимальної (в момент найвищої температури ТАМ) та мінімальної (в момент найнижчої температури ТАМ).

На відміну від нерегульованої тепловіддачі, максимальне значення регульованої тепловіддачі потрібно приймати таким, аби його можливо було б досягти в будь який період доби. Таким чином, здійснювати регулювання приладу можливо буде лише в тому випадку, коли сума мінімального значення нерегульованої тепловіддачі та регульованої тепловіддачі будуть перевищувати максимальне значення нерегульованої тепловіддачі від приладу:

$$Q_{per} + (Q_{n.per})_{min} > (Q_{n.per})_{max} \quad (5)$$

Підбір відповідної конструкції ЕО для заданого діапазону тепловіддачі потребує розрахунків для визначення співвідношення $(Q_{per}/Q_{n.per})$. Це співвідношення залежить від того, наскільки може коливатись значення необхідного теплового потоку до приміщення протягом доби. Певні рекомендації з цього питання наводились в [7].

Висновки

Було проаналізовано роботи, присвячені підвищенню ефективності використання наявних потужностей з виробництва електроенергії, які продемонстрували значну зацікавленість у вивченні систем з динамічним (непостійним у часі) акумулюванням електроенергії для забезпечення потреб систем тепло- та холодопостачання мікроклімату приміщень. Проведений аналіз показав суттєві відмінності в оцінці вартості електроенергії в Україні та тих країнах, де вказані вище системи отримали широке застосування. В подальшому планується вивчення впливу ціноутворення в Україні на стан справ з поширенням технології систем акумуляційного електроопалення.

Огляд питання вибору між двома типами місцевих систем опалення продемонстровано яким чином динамічне регулювання тепловіддачі від приладів дозволяє заощаджувати теплову енергію за умови зниження температури в обслуговуваному приміщенні та те, яким має бути співвідношення

регульованої та нерегульованої тепловіддачі від режиму у обслуговуваному приміщенні. приладу для забезпечення заданого теплового

Література

1. *Potential for Smart Electric Thermal Storage Contributing to a low carbon energy system [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.dimplex.co.uk/assets/Downloads_PDF/Kema_Report.pdf – назва з екрану*
2. *Nicolson M. Are consumers willing to switch to smart time of use electricity tariffs? The importance of loss-aversion and electric vehicle ownership / M. Nicolson, G. Huebner, D. Shipworth // Energy Research & Social Science. – 2017. – Volume 23. – pp. 82-96. – ISSN 2214-6296. – doi: 10.1016/j.erss.2016.12.001*
3. *Pensini A. Economic analysis of using excess renewable electricity to displace heating fuels / A. Pensini, C.N. Rasmussen, W. Kempton // Applied Energy. – 2014. – Volume 131. – pp. 530-543. – ISSN 0306-2619. – doi: 10.1016/j.apenergy.2014.04.111*
4. *RealValue [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.realvalueproject.com/> – назва з екрану*
5. *RealValue [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ec.europa.eu/inea/en/horizon-2020/projects/h2020-energy/realvalue> – назва з екрану*
6. *RealValue [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://cordis.europa.eu/project/rcn/196841_en.html – назва з екрану*
7. *Лисак О. В. Визначення необхідної потужності електричних теплоаккумуляційних обігрівачів / О. В. Лисак // Вісник Національного університету «Львівська Політехніка». Серія «Теорія і практика будівництва». – Львів : НУ «Львівська політехніка», 2016. – № 844. – С. 127-138. – ISSN 0321-0499.*
8. *Малкін Е. С. Теплоакмулюючі електронечі. Термінологія і класифікація / Е. С. Малкін, О. В. Лисак // Промислова електроенергетика та електротехніка (Промелектро). – 2014. – № 3. – С. 69–74. – ISSN 2409-2924.*
9. *Лысак Олег. Выбор теплоаккумулирующих электронапечей при внедрении в Украине / Олег Лысак, Эдуард Малкин // Будownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym. – Szczęstochowa (Poland) : Politechnika Szczęstochowska, 2015. – № 1 – С. 117–125. – ISSN 2299-8535.*
10. *Електроенергія з ОРЕ (2016 рік) [Електронний ресурс]. – Режим доступу http://kuivenergo.ua/elektroenergiya_z_ore – назва з екрану*
11. *Sateriale M.E. Modeling and analysis of masonry electro-thermal heating and storage for optimal integration with remote stand-alone wind-diesel systems: Master's thesis [Електронний ресурс] / Maura Eileen Sateriale. – College of Engineering and Mines, University of Alaska Fairbanks, United States, 2013. – Режим доступу <https://scholarworks.alaska.edu/handle/11122/4476> – назва з екрану*
12. *Levelized cost and levelized avoided cost of new generation resources in the Annual Energy (2015 year) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.eia.gov/outlooks/archive/aeo15/pdf/electricity_generation_2015.pdf – назва з екрану*
13. *Electricity generation costs [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/566567/BEIS_Electricity_Generation_Cost_Report.pdf – назва з екрану*
14. *Hasnain S.M. Review on sustainable thermal energy storage technologies, Part II: cool thermal storage / S.M. Hasnain // Energy conversion and management. – 1998. – Volume 39. – P. 1139-1153. – ISSN 0196-8904 – doi: 10.1016/S0196-8904(98)00024-7.*
15. *Nagengast B. A History of Comfort Cooling Using Ice / B. Nagengast // ASHRAE Journal. – New York. – Feb 1999. – pp. 49-57.*
16. *Bahnfleth W.P. Prospects for Cool Thermal Storage in a Competitive Electric Power Industry / W.P. Bahnfleth, D.T. Reindl // Journal of Architectural Engineering. – 1998. – Volume 4. – P. 18-25. – ISSN: 1076-0431 (Print); 1943-5568 (Online). – doi: 10.1061/(ASCE)1076-0431(1998)4:1(18).*
17. *Mahlia T.M.I. A review of available methods and development on energy storage; technology update / T.M.I. Mahlia, T.J. Saktisahdan, A. Jannifar, M.H. Hasan, H.S.C. Matseelar // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2014. – Volume 33. – P. 532-545. – ISSN 1364-0321. – doi: 10.1016/j.rser.2014.01.068.*
18. *Yau Y.H. A review on cool thermal storage technologies and operating strategies / Y.H. Yau, B. Rismanchi // Y.H. Yau, B. Rismanchi // Renewable and sustainable energy reviews. – 2012. – Volume 16. – P. 787-797. – ISSN 1364-0321. – doi: 10.1016/j.rser.2011.09.004.*
19. *Пуховий І.І. Акумулятори холоду з використанням фазового переходу / І.І. Пуховий, М.О. Кривошеєв // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2013. – № 1. – С. 74-49. – ISSN. 1997-9266.*
20. *Бондарь Е.С. Энергосберегающие системы кондиционирования воздуха с аккумуляцией холода / Е.С. Бондарь, П.В. Калугин // СОК. – 2006. – № 3. – С. 44-48.*
21. *Mehling H. Heat and cold storage with PCM / H. Mehling, L.F. Cabeza. – Berlin : Springer, 2008. – p. XVI, 308. – ISBN: 978-3-540-68556-2; e-ISBN: 978-3-540-68557-9. – doi: 10.1007/978-3-540-68557-9.*
22. *Дубовський С.В. Стан, перспективи і проблеми розвитку централізованого теплопостачання / С.В. Дубовський, О.С. Твердохліб, П.П. Куделя // Відновлювана енергетика. – 2015. – № 4. – С. 50-60. – ISSN 1819-8058.*
23. *Селивестров Ю. М. Экономика систем кондиционирования воздуха с аккумулятором холода / Ю. М. Селивестров, В. В. Ефремов // АВООК: вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. – 2013. – № 1. – С. 30-33. – ISSN 1609-7483.*

24. Лисак О. В. Використання відкритих поверхневих водойм для холодопостачання / О. В. Лисак, Є. О. Кулінко // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія: Технічні науки. – К. : Київський національний університет технологій та дизайну, 2015. – № 5. – С. 15–23. – ISSN 1813-6796.

25. Лисак О. В. Системи прямого охолодження від відкритих водойм / О. В. Лисак // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія: Технічні науки. – К. : Київський національний університет технологій та дизайну. – 2016. – № 5. – С. 57–65. – ISSN 1813-6796.

26. Hughes L. Meeting residential space heating demand with wind-generated electricity / L. Hughes // Renewable Energy. – 2010. – Volume 35. – Issue 8. – P. 1765-1772. – ISSN 0960-1481. – doi:10.1016/j.renene.2009.11.014

27. Forced Air Furnaces with Heat Pump [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://steffes.com/off-peak-heating/forced-air-heatpump.html> – назва з екрану

28. Bedouani B.Y. Central electric thermal storage (ETS) feasibility for residential applications: Part 2. Techno-economic study / B.Y. Bedouani, B. Labrecque, M. Parent, A. Legault // International Journal of Energy Research. – 2001. – Volume 25. – P. 73–83. – ISSN: 0363-907X (Print); 1099-114X (Online) – doi: 10.1002/1099-114X(200101)25:1<73::AID-ER611>3.0.CO;2-K.

Стаття надійшла в редколегію 05.04.2017

Рецензент: д.т.н., проф. Е. С. Малкін, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ.

Лысак Олег Витальевич

инженер отдела геотермальной энергетики, ORCID: 0000-0002-4934-0685

Институт возобновляемой энергетики Национальной академии наук Украины, Киев

ДИНАМИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АККУМУЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ ТЕПЛО- И ХОЛОДОСНАБЖЕНИЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МИКРОКЛИМАТА ПОМЕЩЕНИЙ

Аннотация. Сейчас в Украине актуальным вопросом является уменьшение стоимости систем тепло- и холодообеспечения для обеспечения микроклимата помещений. В этой работе проведен анализ аккумуляторных подтипов рассматриваемых систем, использующих электроэнергию, произведенную в период действия льготного тарифа для генерации тепла или холода с целью обеспечения микроклимата помещений. Проведенный анализ дал повод для сравнения стоимости электроэнергии от различных источников как в Украине, так и за рубежом, а также продемонстрировал преимущества изменения стоимости электроэнергии в зависимости от ее реального потребления, конечной целью которого является обеспечение наиболее полного использования излишков произведенной электроэнергии. Также были рассмотрены три варианта систем с использованием аккумуляции энергии: систем центрального холодообеспечения с аккумуляцией холода, систем центрального теплоснабжения с аккумуляцией теплоты и систем местного аккумуляторного электроотопления. Для последних систем было продемонстрировано сравнение двух их подтипов и представлены преимущества систем, способных поддерживать разную температуру в обслуживаемых помещениях.

Ключевые слова: аккумуляторные системы отопления, аккумуляторы холода, динамическое изменение стоимости электроэнергии

Lysak Oleg

Engineer, Geothermal department, ORCID: 0000-0002-4934-0685

Institute of Renewable Energy at National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

DYNAMIC REGULATION OF ELECTRIC SPACE HEATING AND COOLING SYSTEMS

Abstract. Nowadays in Ukraine it is an important issue is to reduce the cost of electric space heating and cooling. This paper analyzes the storage subtypes of the systems that use electricity generated during the period of low price for generating heat or cold and use it space heating or cooling, respectively. The analysis provided a comparison of the cost of electricity from different sources both in Ukraine and abroad, and demonstrated the benefits of changes in the cost of electricity based on its actual consumption, which is intended to ensure the fullest use of surplus electricity produced. There were considered three options for systems using stored energy: 1) central cooling systems with cold storage, 2) district heating systems with thermal storage and 3) room stores. There was made a special comparison of two types of room stores: 1) modern storages heaters with regulated heat output and 2) storage underfloor heating. It was demonstrated the advance of modern storage heaters on storage underfloor heating in terms of better maintaining room temperature. Storage heater can maintain different temperatures in room but it requires the right balance of regulated and unregulated heat output from unit.

Keywords: storage heating, cold storage, dynamic pricing of electricity