

21. Chernov S. S. Methodical approach to modeling business processes management company / S. S. Chernov A. Yu. Perminov, V. M. Kuzichev // Problems of modern economy. – 2009. – №2.
22. Uskov A. E. Efficiency of business processes in the company's electric grid / A. E. Uskov, B. I. Shevchenko [Electron resource]. - Access mode: <http://cyberleninka.ru/article/n/effektivnost-biznes-protsessov-v-elektrosetevoy-kompanii>
23. Karaeva N. V. risks of modern electricity market in restructuring the energy sector of Ukraine / NV Karaeva, I. Gusev. // Efficient Economy. – 2010. – № 1. – [electronic resource]. – Access: http://nbuv.gov.ua/UJRN/efek_2010_1_8.
24. Gitelman L. D. Efficient energy company: The Economy. Management. Reforming. / L. D. Gitelman, B. E. Ratnikov. // М.: ЗАО "Olymp-Business." - 2002. - 544 p.
25. Buler K., Pritch G. Obuzdanie riska // Vestnik McKinsey. – 2004. – № 1(6).
26. Sviridenko A. Risk management in the electricity // Energy Market. – 2007. – № 4 (41).
27. Pudychева G. A. Controlling in the management of enterprise energy management [Text] / G. Pudychева // Journal of Social and Economic Research. – 2013 – Vol. 3 (2). – P. 83–89.
28. Falko S. Natsyonalnye controlling Features / S. Falk // Banking Management. – 2010. – № 9. – P. 13-18.
29. Volodkin K. S. Controlling business processes in the enterprise management system / K. S. Volodkin // Formation of market economy: Coll. Science. pr. / M-of Education and Science of Ukraine, SHEE "Kyiv. nat. Econ. University of them. Vadym Hetman "; redkol.: AA Belyaev (ed. ed.) [et al.]. – Kyiv: Kyiv National Economic University. – 2010. – № 24. - P. 266-274.

УДК 621.31

П.В. Соколовский., аспирант

**Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»
ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ЭФФЕКТИВНЫХ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ В
ЭНЕРГОСНАБЖАЮЩИХ КОМПАНИЯХ УКРАИНЫ**

Переход к развитию концепции Smart-Grid в Украине требует особой экономической стабильности в энергетике. Для этого необходимо определить основные составляющие в решении этого вопроса, выполнить соответствующее моделирование бизнес-процессов, провести их предварительный анализ, а также определить основные рычаги управления ими. В статье описаны ключевые составляющие построения и функционирования бизнес-процессов. Определены и описаны основные контролирующие и корректирующие составляющие бизнес-моделирования. Разработан ориентировочный план внедрения мероприятий по концепции Smart Grid до 2030 года.

Ключевые слова: энергоснабжающая компания, бизнес-процесс, Smart Grid, информационный обмен, контроллинг, риск менеджмент.

Надійшла 15.12.2016

Received 15.12.2016

УДК 658.264

Лисак О.В., пров. інж.

Інститут відновлюваної енергетики НАН України

**ВИЗНАЧЕННЯ ТЕРМІНІВ ОКУПНОСТІ
ЕЛЕКТРОТЕПЛОАКУМУЛЮЮЧИХ ОБІГРІВАЧІВ**

Стаття присвячена впровадженню електротеплоакуюлюючих обігрівачів, а саме визначенню термінів їх окупності в порівнянні з альтернативними варіантами систем опалення. В результаті проведеного в роботі аналізу показано, що за впровадження цих приладів найбільш вигідною для непобутових споживачів стане відмова від систем прямого електричного опалення, а для населення – від систем центрального опалення. Термін окупності було проаналізовано як для умов простого розрахунку, так і за врахування ставки дисконтування.

Ключові слова: теплонакопичувач, електротеплоакуюлюючий обігрівач, тарифи на електроенергію, електричне акумуляційне опалення.

Передмова.

Стаття написана на підставі тез для конференції «Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку» [1].

Вступ.

Важливою задачею в Україні є раціональне використання вже наявних енергетичних ресурсів, зокрема й надлишків виробленої електроенергії. Аби ці надлишки не були марно втраченими, стимулюють їх споживання, знижуючи вартість електроенергії в години їх виникнення (тобто створюючи пільговий тариф). Це сприяє тому, що частина надлишково виробленої енергії може бути ефективно використана споживачами, зацікавленими в заощадженні коштів в системах, що потребують використання електроенергії. Це також може стимулювати споживачів переходити на системи, що використовують електроенергію замість інших ресурсів. Зокрема на електричне акумуляційне опалення замість газового.

В цій роботі розглянуто подібні системи опалення з використанням електротеплоакumuлюючих обігрівачів (ЕО), також відомих як теплонакопичувачі та теплоакumuлюючі електропечі [2].

Таблиця 1 – Вартість електроенергії для опалення

Споживач	$b_{ел},$ грн/(кВт·год)	$B_{ел},$ грн/(МВт·год)
Населення	0,7140	714,0
Непобутовий споживач	2,1574	2157,4

Примітка: дані узяті з сайту Київенерго згідно запланованих вартостей на березень 2017 року

Таблиця 2 – Вартість центрального опалення

Споживач	$b_{цо},$ грн/Гкал	$B_{цо},$ грн/(МВт·год)
Населення	1416,96	1218,6
Непобутовий споживач	1337,77	1150,5

Примітка: дані узяті з сайту Київенерго станом на жовтень 2016 року.

Таблиця 3 – Вартість газового опалення

Споживач	$b_{газ},$ грн/1000 м ³	$B_{газ},$ грн/(МВт·год)
Населення	3600	401,2
Непобутовий споживач	8000	891,6

Примітка: дані для населення узяті згідно даних КиївГазЕнерджи станом на жовтень 2016 року, дані для непобутових споживачів узяті усереднено.

Для коректного порівнянні приведемо вказані величини до єдиного показника розмірності, а саме до питомої вартості одиниці виробленої енергії B , грн/(МВт·год). Для електроопалення та центрального опалення питому вартість визначаємо простою зміною одиниць вимірювання, а для систем газового опалення використовуємо формулу:

$$B_{газ} = \frac{b_{газ}}{1000} \cdot \frac{1}{Q_{н.р.}} \cdot \frac{1}{\eta_{газ}}, \quad (1)$$

де: $Q_{н.р.}$ – нижча теплота спалювання газу, приймається як $Q_{н.р.} = 34$ МДж/м³;

$\eta_{газ}$ – ККД газового котла, прийнято $\eta_{газ} = 0,95$.

Тепер розглянемо, якими будуть заощадження при використанні електричного акумуляційного опалення (за умови споживання електроенергії виключно в період дії пільгового тарифу).

Мета і задачі.

Метою роботи є встановлення термінів окупності ЕО. Розрахунок виконувався для кліматичних умов та вартості енергетичних ресурсів м. Києва. Визначення доцільності застосування ЕО провадилось з огляду на економію коштів у порівнянні з альтернативними варіантами систем опалення. Термін окупності за різних значень ставки дисконтування визначався в залежності від заданої економії коштів та вартості ЕО.

Визначення доцільності використання електротеплоакumuлюючого опалення.

Прийmemo, що незалежно від обраної системи опалення кількість теплоти, що спожита цими системами, є однаковою. У випадку електричних систем опалення умовно вважаємо, що вся спожита ними електроенергія перетворюється в теплоту. В якості альтернативи системі електричного акумуляційного опалення в цій роботі розглянуті: система прямого електричного опалення (без акумуляції), система центрального (водяного) опалення та система газового опалення.

В табл. 1-3 наведено вартість використання цими системами енергетичних ресурсів, яка позначається як b . Розмірність b приведена згідно вказаних компаніями величин. Між вказаними величинами є суттєва відмінність: вартість використання електроенергії, як і центрального опалення вказана на одиницю спожитої потужності, в той час як для газової системи опалення вказана вартість одиниці газу.

Всі порівняння будемо виконувати для тризонного тарифу на електроенергію для випадку різниці вартості 1 МВт·год енергії, а саме $\Delta B_{ек}$, грн/(МВт·год), по формулі:

$$\Delta B_{ек} = B_{поч} - k_{тф} \cdot B_{ел}, \quad (2)$$

де: $B_{поч}$ – вартість джерела теплової енергії, грн/(МВт·год);

$k_{тф}$ – тарифний коефіцієнт: для населення – 0,40; для побутових споживачів – 0,25.

Визначимо й відносне заощадження експлуатаційних коштів $\Delta B_{відн.(ек.)}$ як:

$$\Delta B_{відн.(ек.)} = \frac{B_{поч} - k_{тф} \cdot B_{ел}}{B_{поч}} \cdot 100\%. \quad (3)$$

Обчислення, зведені в табл. 4, свідчать, що в усіх випадках має місце зменшення експлуатаційної вартості систем опалення. Найбільше відносне заощадження експлуатаційних коштів у населення – становить 76,6%. У побутових споживачів найбільші заощадження виникають за переходу від системи прямого електричного опалення до системи акумуляційного опалення – економія становитиме 75%. Найменші заощадження як у випадку населення, так й у випадку побутових споживачів спостерігаються у випадку відмови від газового опалення на користь електричного акумуляційного опалення – заощадження складатимуть 39,5% у побутових споживачів та 28,8% – у населення.

Таблиця 4 – Порівняння економії за встановлення електричної акумуляційної системи опалення за вказаної альтернативної системи опалення

Альтернативна система опалення	Тип споживача	$\Delta B_{ек}$, грн/(МВт·год)	$\Delta B_{відн.(ек.)}$, %
Пряме електричне опалення	Населення	428	60,0
	Непобутовий споживач	1618	75,0
Центральне тепlopостачання	Населення	933	76,6
	Непобутовий споживач	611	53,1
Газове опалення	Населення	116	28,8
	Непобутовий споживач	352	39,5

Хоча заощадження є значними, потрібно враховувати й вартість встановлення систем електричного теплоакумуляційного опалення. Тому для подальшого розрахунку терміну окупності обираємо випадки з найбільшою абсолютною економією коштів: для побутових споживачів це відмова від прямого електричного опалення з економією в 1681 грн/(МВт·год), а для населення – відмова від центрального опалення з економією 933 грн/(МВт·год). Як бачимо, хоча відносні заощадження для розглянутих варіантів є практично однаковими, побутові споживачі в абсолютному значенні заощаджують на 80% більше у порівнянні з населенням. І чим меншими будуть абсолютні цифри річних заощаджень за експлуатації ЕО, тим довшим буде його термін окупності.

Визначення терміну період окупності електротеплоакумулюючих обігрівачів.

В табл. 5 наведено вартість ЕО $B_{ЕО}$, грн, в залежності від к виробника й типу приладу. В таблиці також наведена закордонна вартість таких приладів. Як можна побачити найбільш дешевими є прилади вітчизняного виробництва, а вартість закордонних приладів в Україні та закордоном є практично однаковою.

Важливими для аналізу термінів окупності є три складові. Перш за все, це те як співвідноситься потужність обладнання з необхідним розрахунковим тепловим потоком до приміщення. По-друге, це те, як буде працювати задане обладнання за умови, що час «зарядки» є відмінним від передбаченого конструкцією. По-третє, як на підбір обладнання буде впливати розрахункове значення напруги в мережі.

Щодо першої складової, то необхідну потужність приладу P , Вт, визначається як [3]:

$$P_{ел} = z_{пр} \cdot \frac{\tau_{доба}}{\tau_{зар}} \cdot Q_{тепл} \quad (4)$$

де: $z_{пр}$ – коефіцієнт для перерахунку тепловтрат приміщення в середнє за добу значення потреби в теплоті у приміщенні;

$\tau_{доба}$ – тривалість доби, $\tau_{доба} = 24$ год;

$\tau_{зар}$ – тривалість «заряду» приладу, год;

$Q_{тепл}$ – розрахункове значення тепловтрат приміщення, Вт.

Як свідчить аналіз з [3], вітчизняні та закордонні методи надають суттєво різні значення коефіцієнту $z_{пр}$, який визначає частку від максимального використання теплової потужності ЕО протягом доби. В цих розрахунках приймаємо два значення $z_{пр} = 0,5$ та $0,8$.

Для подальших розрахунків будемо визначати з рівняння (4) значення розрахункових тепловтрат, яке здатен компенсувати той чи інший ЕО з урахуванням зниження його потужності внаслідок відхилень значення напруги:

$$Q_{тепл} = P_{ел} \cdot \frac{1}{z_{пр}} \cdot \frac{\tau_{зар}}{\tau_{доба}} \cdot \left(\frac{U_{мережа}}{U_{ЕО}} \right)^2, \quad (5)$$

де: $U_{ЕО}$ – напруга приладу, згідно даних виробника, В;

$U_{мережа}$ – стандартна напруга в мережі, В.

Якщо тривалість «зарядки» обладнання складає 7 год, то вважаємо, що за 8 год прилад працюватимемо аналогічно умовам «зарядки» в 7 год. Якщо проектна «зарядка» обладнання складає 8 год, то питома вартість приладу розраховується по формулі (5) за $\tau_{зар} = 8$ год, але коли час «зарядки» того самого приладу зменшується до 7 год, то $\tau_{зар} = 7$ год і тепла потужність приладу зменшиться.

Вартість обладнання на одиницю тепловтрат приміщення $b_{ЕО}$, грн/кВт_(тепл), визначаємо як:

$$b_{ЕО} = \frac{B_{ЕО}}{Q_{тепл}}. \quad (6)$$

Отримані значення зведено в табл. 5. Графічне зображення зміни вартості приладів в умовах України показано на рис. 1. Як можна побачити, помітно на вартість приладів впливає значення $z_{пр}$, а також абсолютне значення теплової потужності приладу за прийнятих умов. Отриманий діапазон значно відрізняється від наведеного в літературі діапазону з [4], згідно якого вартість статичних ЕО була прийнята як 5700 грн/кВт та динамічних – 10000 грн/кВт. Наведені в цій роботі дані свідчать, що питома вартість статичних ЕО може бути як меншою, так і більшою (більш, ніж вдвічі), а вартість динамічних ЕО також може бути як вдвічі меншою за наведені в цій роботі дані, так і більшою.

Тепер визначимо тепловий потік протягом опалювального сезону на одиницю розрахункових тепловтрат приміщення для кліматичних умов м. Києва, а саме – тривалості опалювального періоду 187 діб та 40% використання встановленої потужності системи опалення згідно [5]. За таких умов 1 кВт встановленої потужності обладнання буде виробляти за опалювальний період таку кількість теплової енергії q_t , МВт·год/кВт_(тепл):

$$q_t = 0,4 \cdot 187 \cdot 24 \cdot 1 = 1795 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{кВт}_{(тепл)}} = 1,795 \frac{\text{МВт} \cdot \text{год}}{\text{кВт}_{(тепл)}}. \quad (7)$$

Спочатку визначимо різницю капітальних коштів на встановлення систем. Розрахунок виконаємо спрощено без врахування вартості лічильника та вартості встановлення й монтажу.

Вартість електричної системи опалення з електричними конвекторами (електричними обігрівачами прямої дії) приймаємо як $b_{ел.конв.} = 600$ грн/кВт [4]. Дане значення в деяких випадках є меншим за можливе значення вартості ЕО більш, ніж в 10 разів. Загалом, подальший розрахунок має спрощений характер, бо для визначення справжніх умов роботи потрібно враховувати якість підтримання системою комфортних параметрів в приміщенні [6].

Вартість ЕО розглянемо за умови «зарядки» 7 год: найдешевшим варіантом буде 4629 грн/кВт_(тепл), а найдорожчим – 33817 грн/кВт_(тепл). Додамо, що найдорожчі з цих приладів – ЕСО – є найбільш надійними та мають найбільш якісну автоматизацію роботи системи (включно з роботою в мережах «smart grid»), переваги якої за дійсного стану ринку електроенергії в Україні неможливо використати в повній мірі.

Тепер визначимо різницю вартості ЕО за вказаного діапазону та вартості системи прямого електричного опалення без врахування коштів на підключення електроенергії:

$$\Delta B_{капіт} = 4629 \dots 33817 - 600 = 4029 \dots 33217 \text{ грн/кВт}_{(тепл)}. \quad (8)$$

Заощадження коштів за опалювальний сезон на 1 кВт розрахункових тепловтрат приміщення для непобутових споживачів складатимуть за умови, що всі прилади забезпечують однаковий тепловий потік:

$$\Delta B_{факт.ек} = \Delta B_{ек} \cdot q_t = 1618 \cdot 1,795 = 2904 \text{ грн/кВт}_{(тепл)}. \quad (9)$$

Таблиця 5 – Розрахунок питомої вартості ЕО

Прилад	P, кВт	U, В	τ , год	B _{ЕО} , грн	Умови використання							
					$\tau_{\text{зар}} = 7$ год				$\tau_{\text{зар}} = 8$ год			
					$z_{\text{пр}} = 0,5$		$z_{\text{пр}} = 0,8$		$z_{\text{пр}} = 0,5$		$z_{\text{пр}} = 0,8$	
					Q _{тепл} , кВт	b _{ЕО} , грн/кВт	Q _{тепл} , кВт	b _{ЕО} , грн/кВт	Q _{тепл} , кВт	b _{ЕО} , грн/кВт	Q _{тепл} , кВт	b _{ЕО} , грн/кВт
Україна (U = 220 В), ТОВ «Теплотехника»: статичні ЕО												
АЭТ-С-1,2	1,2	220	7	4700	0,70	6 714	0,44	10 743	0,70	6 714	0,44	10 743
АЭТ-С-1,8	1,8	220	7	6100	1,05	5 810	0,66	9 295	1,05	5 810	0,66	9 295
АЭТ-С-2,4	2,4	220	7	7200	1,40	5 143	0,88	8 229	1,40	5 143	0,88	8 229
АЭТ-С-3	3	220	7	8100	1,75	4 629	1,09	7 406	1,75	4 629	1,09	7 406
Україна (U = 220 В), ТОВ «Теплотехника»: динамічні ЕО												
АЭТ-2,4	2,4	220	7	9500	1,40	6 786	0,88	10 857	1,40	6 786	0,88	10 857
АЭТ-3,2	3,2	220	7	11500	1,87	6 161	1,17	9 857	1,87	6 161	1,17	9 857
АЭТ-4	4	220	7	13700	2,33	5 871	1,46	9 394	2,33	5 871	1,46	9 394
Україна (U = 220 В), Elnur: статичні ЕО												
ADS084	0,8	240	8	7368	0,39	16 585	0,25	26 537	0,45	14 512	0,28	23 219
ADS124	1,2	240	8	9335	0,59	14 195	0,37	22 712	0,67	12 421	0,42	19 873
ADS168	1,6	240	8	10914	0,78	12 421	0,49	19 873	0,90	10 868	0,56	17 389
ADS208	2	240	8	12797	0,98	11 733	0,61	18 773	1,12	10 266	0,70	16 426
ADS2412	2,4	240	8	14515	1,18	11 009	0,74	17 614	1,34	9 633	0,84	15 412
ADS2812	2,8	240	8	16592	1,37	10 822	0,86	17 316	1,57	9 470	0,98	15 151
ADS3216	3,2	240	8	18365	1,57	10 447	0,98	16 716	1,79	9 141	1,12	14 626
Україна (U = 220 В), Elnur: динамічні ЕО												
ADL2012	2	240	8	22769	0,98	20 424	0,61	32 678	1,12	17 871	0,70	28 593
ADL3018	3	240	8	28005	1,47	16 745	0,92	26 791	1,68	14 652	1,05	23 443
ADL4024	4	240	8	33323	1,96	14 891	1,23	23 825	2,24	13 029	1,40	20 847
ADL5030	5	240	8	38281	2,45	13 720	1,53	21 952	2,80	12 005	1,75	19 208
Україна (U = 220 В), Elnur: сучасні статичні ЕО з додатковим електричним нагрівачем												
ЕСО158	0,975	240	8	14570	0,48	23 057	0,30	36 891	0,55	20 175	0,34	32 280
ЕСО208	1,3	240	8	16371	0,64	20 413	0,40	32 660	0,73	17 861	0,46	28 578
ЕСО308	1,95	240	8	20526	0,96	17 233	0,60	27 574	1,09	15 079	0,68	24 127
ЕСО408	2,6	240	8	25041	1,27	15 911	0,80	25 458	1,46	13 922	0,91	22 276
Великобританія (U = 240 В), Elnur: сучасні статичні ЕО з додатковим електричним нагрівачем												
ЕСО158	0,975	240	8	10637	0,57	20 865	0,36	33 384	–	–	–	–
ЕСО208	1,3	240	8	12631	0,76	19 434	0,47	31 095	–	–	–	–
ЕСО308	1,95	240	8	15734	1,14	16 658	0,71	26 653	–	–	–	–
ЕСО408	2,6	240	8	18227	1,52	14 765	0,95	23 624	–	–	–	–
Великобританія (U = 240 В), Dimplex: сучасні динамічні ЕО з додатковим електричним нагрівачем												
QM070	1,56	240	7	17530	0,91	21 620	0,57	34 592	–	–	–	–
QM100	2,2	240	7	19123	1,28	17 001	0,80	27 201	–	–	–	–
QM125	2,76	240	7	21115	1,61	14 878	1,01	23 805	–	–	–	–
QM150	3,3	240	7	22709	1,93	13 338	1,20	21 341	–	–	–	–

Примітки: ¹ Дані в цій таблиці мають виключно ознайомлювальний характер. ² Для Великобританії розглянуто лише тариф Е7. ³ Дані по вартості ЕО (вартість та термін окупності можуть бути іншими):

- ТОВ «Теплотехника» узяті з сайту виробника;
- Elnur в Україні – з [http://kontaktor.com.ua/energy-saving/teplovoy-e-nakopiteli-2/];
- ЕО у Великобританії – з [https://www.tlc-direct.co.uk/Main_Index/Heating_Index/Dimplex_Quantum/index.html]

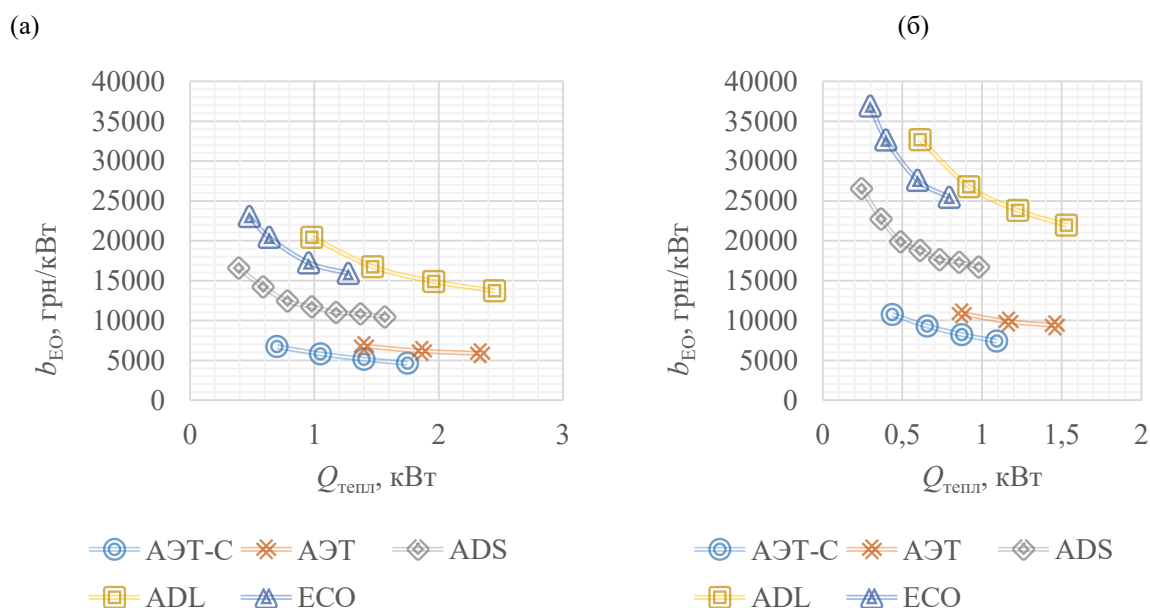


Рис. 1. Зміна питомої вартості ЕО в Україні за $\tau_{зар} = 7$ год та $z_{пр}$, яка складає: (а) 0,5 та (б) 0,8.

Таблиця 6 – Визначення заощаджень за переходу від прямого електричного опалення на електричне акумуляційне опалення для непобутових споживачів при різних значеннях E , %.

r , рік	E , %									
	0	3			10			22		
	$B_{с.д.}$, грн/кВт	$r_{д.}$	$B_{д.}$, грн/кВт	$B_{с.д.}$, грн/кВт	$r_{д.}$	$B_{д.}$, грн/кВт	$B_{с.д.}$, грн/кВт	$r_{д.}$	$B_{д.}$, грн/кВт	$B_{с.д.}$, грн/кВт
1	2904	0,971	2819	2819	0,909	2640	2640	0,820	2380	2380
2	5808	0,943	2737	5557	0,826	2400	5040	0,672	1951	4331
3	8712	0,915	2658	8214	0,751	2182	7222	0,551	1599	5931
4	11616	0,888	2580	10794	0,683	1983	9205	0,451	1311	7242
5	14520	0,863	2505	13299	0,621	1803	11008	0,370	1074	8316
6	17424	0,837	2432	15732	0,564	1639	12648	0,303	881	9197
7	20328	0,813	2361	18093	0,513	1490	14138	0,249	722	9919
8	23232	0,789	2292	20385	0,467	1355	15493	0,204	592	10510
9	26136	0,766	2226	22611	0,424	1232	16724	0,167	485	10995
10	29040	0,744	2161	24772	0,386	1120	17844	0,137	398	11393
11	31944	0,722	2098	26870	0,350	1018	18862	0,112	326	11719
12	34848	0,701	2037	28906	0,319	925	19787	0,092	267	11986
13	37752	0,681	1977	30884	0,290	841	20628	0,075	219	12205
14	40656	0,661	1920	32804	0,263	765	21393	0,062	179	12384
15	43560	0,642	1864	34668	0,239	695	22088	0,051	147	12531
16	46464	0,623	1810	36477	0,218	632	22720	0,042	121	12652
17	49368	0,605	1757	38234	0,198	575	23295	0,034	99	12751
18	52272	0,587	1706	39940	0,180	522	23817	0,028	81	12832
19	55176	0,570	1656	41596	0,164	475	24292	0,023	66	12898
20	58080	0,554	1608	43204	0,149	432	24723	0,019	54	12953

Порівняння вартості будемо виконувати за формулою з [5] без врахування коштів на обслуговування цих систем:

$$\Delta B_{\text{варт}} = \sum_{r=0}^n \frac{B_r^{\text{енерг}} (1+k)^n}{(1+E)^r} + \Delta B_{\text{капіт}}. \quad (10)$$

де: n – це термін, на який проводиться розрахунок, роки;

r – рік розрахунку, рік;

E – ставка дисконтування;

k – коефіцієнт приросту цін на енергоносії;

$B_r^{\text{енерг}}$ – вартість енергії в системі, грн/рік. У випадку даного аналізу $B_r^{\text{енерг}} = \Delta B_{\text{факт.ек}}$.

Виконаємо моделювання, прийнявши для всіх випадків коефіцієнт приросту цін на енергоносії $k = 0$. Ставку дисконтування проаналізуємо як за простого розрахунку терміну окупності, тобто $E = 0\%$, так і згідно $E = 3\%$, що використовувалась в [7], $E = 10\%$, що використовувалась в [8], та $E = 22\%$, що використовувалась в [9]. Термін, на який будуть розраховані дані системи, оцінимо як 20 років, що також використовувалось в [7], хоча розглянуті прилади часто експлуатують довше за вказаний термін.

Для зручності формулу (10) відтворимо через коефіцієнти як:

$$r_{\text{д.}} = \frac{1}{(1+E)^r}, B_{\text{д.}} = \frac{B_r^{\text{енерг}}}{(1+E)^r}, B_{\text{с.д.}} = \sum_{r=0}^n \frac{B_r^{\text{енерг}}}{(1+E)^r}.$$

За наведених в табл. 6 заощаджень експлуатаційних коштів та різниці капітальних витрат 4029...33217 грн/кВт, простий термін окупності ($E = 0\%$) складатиме від 1,39 року до 11,44 років:

$$\frac{4029}{2904} = 1,39 \text{ рік} \quad \text{та} \quad \frac{33217}{2904} = 11,44 \text{ рік}.$$

Такий термін окупності є цілком прийнятним для впровадження подібних приладів. За $E = 3\%$ найдешевший прилад окупиться лише на другий рік експлуатації ($B_{\text{с.д.}} = 5808$ грн/кВт $>$ $\Delta B_{\text{капіт}} = 4029$ грн/кВт), а найдорожчий – лише на п'ятнадцятий рік ($B_{\text{с.д.}} = 34668$ грн/кВт $>$ $\Delta B_{\text{капіт}} = 33217$ грн/кВт). За більших значень E найдорожчі прилади не окупаються за 20 років, а найдешевші – так само на другий рік експлуатації.

Тепер проаналізуємо термін окупності систем ЕО для населення за відмови від центральної системи опалення. В цьому випадку можливо проаналізувати ситуацію, коли населення замінює вже існуючу систему водяного опалення на систему електричного акумуляційного опалення – цей випадок не враховуватиме кошти, пов'язані з демонтажем чи утилізацією центральної системи водяного опалення, тобто $\Delta B_{\text{капіт}} = 4629...33817$ грн/кВт, а $B_r^{\text{енерг}}$:

$$B_r^{\text{енерг}} = \Delta B_{\text{ек}} \cdot q_{\text{ум}} = 933 \cdot 1,795 = 1675 \text{ грн/кВт}_{(\text{тепл})}. \quad (11)$$

Виконавши аналогічні розрахунки для населення, як раніше для побутових споживачів, отримаємо, що за простого терміну окупності ($E = 0\%$) встановлення найдешевших приладів виправдає себе лише на 3 рік, а й найдорожчих – лише на 21 рік за умови, що планується лише 20 років експлуатації. За більших значень E термін окупності найдешевших приладів буде знаходитись в межах 3...5 років, а найдорожчі не будуть себе окупати для розглянутого терміну в 20 років.

В [3] також йшла мова про те, що різні типи ЕО споживатимуть протягом опалювального сезону різну кількість теплоти. Ця різниця пов'язана з якістю регулювання теплового потоку в приміщенні. Зокрема, статичний ЕО з ручним керуванням буде споживати на 37% теплоти більше для забезпечення теплового режиму в приміщенні, ніж динамічний ЕО з автоматизованим керуванням [3]. Також потрібно враховувати й те, що статичні ЕО інколи рекомендують приймати з більшим запасом потужності, ніж динамічні ЕО [3], тобто номінальна потужність ЕО буде більшою, ніж в динамічного ЕО.

Якщо порівнювати вказані моделі між собою, то вартість електроенергії для них буде однаковою. Для населення $0,4 \cdot 714 = 286$ грн/(МВт·год), для інших споживачів – $0,35 \cdot 2157,4 = 755$ грн/(МВт·год). Для визначення річних перевитрат електроенергії за використання ЕО з менш якісним підтриманням теплового режиму в приміщенні, вважаємо перевитрати становитимуть 37% від значення спожитої теплоти згідно формули (7):

$$q_{\text{п}} = q_{\text{т}} \cdot \frac{37\%}{100\%} = 1,795 \cdot 0,37 = 0,664 \frac{\text{МВт} \cdot \text{год}}{\text{кВт}_{(\text{тепл})}}. \quad (12)$$

Таки чином, перевитрати в населення за один опалювальний сезон на одиницю потужності приладу складатимуть $286 \cdot 0,664 = 190$ грн/(кВт_(тепл)·рік), а в інших споживачів $755 \cdot 0,664 = 501$ грн/(кВт_(тепл)·рік). За простого терміну окупності в 20 років, для населення використання ЕО з кращим регулюванням буде економічно доцільним за різниці вартості ЕО меншої, ніж $20 \cdot 190 = 3800$ грн/кВт_(тепл), а для інших споживачів $20 \cdot 501 = 10020$ грн/кВт_(тепл).

Оскільки виробники вказаних в роботі приладів не надають даних щодо того, наскільки якісно по відношенню до інших моделей вони підтримують тепловий режим в приміщенні, обмежимося лише вказівкою на максимальні відмінності вартості приладу на одиницю їх потужності за однакового значення $\tau_{зар}$ та розглянутого діапазону $z_{пр} = 0,5 \dots 0,8$ в табл. 5. Проте це порівняння ускладнюється тим, що питома вартість приладів суттєво змінюється в залежності від загальної кількості необхідної теплової енергії, що має надходити в приміщення. Як свідчать дані з рис. 1, вартість приладів закордонного виробництва суттєво зменшується з загальною потужністю приладу.

Зокрема, різниця між найдорожчою та найдешевшою моделями статичних ЕО за можливого діапазону тепловтрат приміщення $0,75 \dots 1,25$ кВт за $\tau_{зар} = 7$ год знаходиться в межах $12,7 \dots 26,5$ тис. грн/кВт, що значно перевищує можливі заощадження навіть за умови, що дорожчі прилади економічніше витрачатимуть теплову енергію. Водночас, така ж різниця для динамічних ЕО за можливого діапазону тепловтрат приміщення $1,5 \dots 2$ кВт за $\tau_{зар} = 7$ год знаходиться в межах $11 \dots 23,8$ тис. грн/кВт, тому придбання дорожчих приладів навіть за умови (яку ще потрібно довести), так само є економічно невиправданим. Водночас, за умови зміни вартості цих приладів ситуація може змінитись (зокрема укріплення курсу гривні).

Висновки:

1. Наведений приклад визначення терміну окупності ЕО показав, що за дійсних тарифів подібні прилади будуть економічно доцільними за відмови населення від центрально опалення, а для непухотих споживачів – у випадку відмови від прямого електричного опалення.

2. На термін окупності ЕО значно впливає вартість енергетичних ресурсів, яка на сьогоднішній день є переважно фіксованою. В подальшому є сенс визначити те, як змінюватиметься термін окупності ЕО в залежності від ринкової вартості електроенергії, що обумовлена джерелом її виробництва.

3. Окрім застосування електроенергії по пільговому тарифу для забезпечення потреб системи опалення, її також можливо застосовувати для забезпечення потреб систем гарячого водопостачання. Тому в подальших роботах необхідно визначити те, скільки зможе заощадити споживач не лише за рахунок використання електричного акумуляційного опалення, але й за переходу на системи електричного акумуляційного гарячого водопостачання. Подібний розрахунок зможе представити користувачу всі можливі переваги за переходу на подібні системи теплопостачання.

Список використаної літератури

1. Лисак О. В. Термін окупності електричних теплоакумуляційних систем теплопостачання в залежності від тривалості періоду акумулювання [Текст] / О. В. Лисак // Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку. Збірник наукових праць III Міжнародної науково-технічної та навчально-методичної конференції у місті Києві 30 травня-01 червня 2016 р. – Київ, НТУУ «КПІ», 2016. – С. 43-44.

2. Малкін Е. С. Теплоакумуляючі електропечі. Термінологія і класифікація [Текст] / Е. С. Малкін, О. В. Лисак // Промислова електроенергетика та електротехніка (Промелектро). – 2014. – № 3. – С. 69–74. – ISSN 2409-2924.

3. Лисак, О. В. Визначення необхідної потужності електричних теплоакумуляційних обігрівачів [Текст] / 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.

4. Клєн А.Н. Эффективность применения теплонакопителей в частных домовладениях Украины [Текст] / А.Н. Клєн // Технологический аудит и резервы производства. – 2015. – № 6/1 (26). – С. 46-49. – ISSN 2226-3780. – doi: 10.15587/2312-8372.2015.56645.

5. Дешко В.І. Економічно доцільний тепловий захист будівлі з різними джерелами теплоти [Текст] / В.І. Дешко, Н.А. Буяк // Наукові вісті Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». – 2009. – № 3. – С. 74-81. – ISSN 1810-0546.

6. Дешко В.І. Показники опалення будівель і температурні умови комфортності [Текст] / В.І. Дешко, Н.А. Буяк // Промышленная теплотехника. – 2010. – № 1. – С. 66-70. – ISSN 0204-3602.

7. Gandarillas V. Feasibility of small scale energy storage technologies in rural areas : Master's thesis [Online document] / Victor Gandarillas. – Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Faculty of Engineering, University of Strathclyde, United Kingdom, 2015. Url: http://www.esru.strath.ac.uk/Documents/MSc_2015/Gandarillas.pdf.

8. Волощук В.А. Вплив змінності погодно-кліматичного чинника на невизначеність при виборі термічного опору огорожувальної конструкції будинку [Текст] / В.А. Волощук // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Харків : Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», 2012. – № 8. – С. 168-177. – ISSN 2078-774X.

9. Дешко В.І. Вибір теплового захисту та джерела тепла із врахуванням комфортних умов у будівлі [Текст] / В.І. Дешко, Н.А. Буяк, І.Ю. Білоус // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія: Технічні науки. – Київ : Київський національний університет технологій та дизайну. – 2015. – № 5. – С. 15–23. – ISSN 1813-6796.

O. Lysak

Institute of Renewable Energy, NAS of Ukraine

THE EVALUATION OF THE PAYBACK PERIOD FOR STORAGE HEATERS

The article describes the implementation of storage heaters. The main of topic is the evaluation of payback period of heating systems which use storage heaters. These systems are compared to district heating systems, gas heating systems and direct electric heating systems. The cost of all systems is taken as for Kyiv, Ukraine.

The analysis shows that at the current price level the implementation of storage heaters (storage electric heating) is the best option for residential dwellings which use district heating and for other consumers which use direct electric heating. It leads to the greatest reduction of operating costs and thus reducing payback periods. So only these cases are used to evaluate possible payback period. It is important to mention that the smallest reduction in operating costs for both types of consumers are both in the case of replacing gas heating systems with storage heaters.

In order to determine the payback period, it is calculated energy consumption per 1 kW of installed capacity of a storage heater and unit cost per 1 kW of installed capacity. Both manufactured in Ukraine and abroad storage heaters are presented in this article and their costs per 1 kW of installed capacity are analysed and compared. The payback period is analysed both for conditions of a simple calculation and for options when the discount rate is taking into account. Thus, the discount rate E varied from 0 to 22%. The calculations, made in this article, show that the cost of a storage heater varies considerably, and under simple calculation ($E = 0\%$) and the minimum cost of a storage heater payback period may be 3 ... 5 years, and with higher value of discount rate E and the use of a more expensive storage heater, the payback period can exceed payback period of 20 years.

Keywords: storage heaters, electric storage heating, storage heaters, heat transfer, payback period

References

1. Lysak O.V. (2016) Termin okupnosti elektrychnykh teploakumulatsionnykh system teplopostachannia v zalezhnosti vid tryvalosti periodu akumulivannia [Impact of storage period on payback period of electrical storage heating systems], Enerhetychni menedzhment [Energy management], NTUU KPI, pp. 43-44. [in Ukrainian]
2. Malkin E. S., Lysak, O. V. (2014) Teploakumuluiuchi elektropечи. Terminolohiia i klasyfikatsiia [Storage heaters. The terminology and the classification], Promyslova elektroenerhetyka ta elektrotekhnika [Industrial power and electrical engineering], № 3, pp. 69–74. [in Ukrainian]
3. Lysak O.V. (2016) Vyznachennia neobkhidnoi potuzhnosti elektrychnykh teploakumulatsionnykh obihrivachiv [Calculation of required power input of a storage heater], Visnyk Natsionalnoho universytetu «Lvivska Politekhnikha». Seriia «Teoriia i praktyka budivnytstva». [Proceedings of the National University "Lviv Polytechnic" Theory and practice of construction], №844, pp. 127-138. [in Ukrainian].
4. Klyon A. (2015) Efficiency of storage heaters in private housing estates of Ukraine. Technology audit and production reserves, [S.l.], v. 6, n. 1(26), pp. 46-49. doi: 10.15587/2312-8372.2015.56645. [in Russian].
5. Deshko V.I., Buyak N.A. (2009) Ekonomichno dotsilnyi teplovyi zakhyst budivli z riznymy dzherelamy teploty [The economically expedient thermal defense of building with different heating sources], Naukovi visti Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Ukrainy "Kyivskiy politekhnichnyi instytut" [Naukovi Visti NTUU KPI], №3, pp. 74-81. [in Ukrainian].
6. Deshko V.I., Buiak N.A. (2010) Pokaznyky opalennia budivel i temperaturni umovy komfortnosti [Indicators heating buildings and temperature comfort conditions]. Promyshlennaya teplotekhnika – Industrial heat engineering, 4, 66–70 [in Ukrainian].
7. Gandarillas V. Feasibility of small scale energy storage technologies in rural areas : Master’s thesis (2015), Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Faculty of Engineering, University of Strathclyde, United Kingdom, 2015. Url: http://www.esru.strath.ac.uk/Documents/MSc_2015/Gandarillas.pdf.
8. Voloshchuk V. A. (2012) Vplyv zminnosti pohodno-klimatychnoho chynnyka na nevyznachenist pry vybori termichnoho oporu ohorodzhuvальноi konstruktsii budynku, Visnyk Nats. tekhn. un-tu "KhPI" : zb. nauk. pr. Temat. vyp. : Enerhetychni ta teplotekhnichni protsesy i ustatkuvannia, NTU "KhPI", № 8. pp. 168-177.

9. Deshko V., Buyak N., Biloyts I. (2015) Vybir teplovoho zakhystu ta dzherela tepla iz vrakhuvanniam komfortnykh umov u budivli [Comprehensive choice of building envelope and the heat sources, taking into account the comfort conditions in buildings], Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dyzainu. Seriia: Tekhnichni nauky [Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design, Technical Science Series], №5, pp. 15-23.

О.В. Лысак

Институт возобновляемой энергетики НАН Украины

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРОКА ОКУПАЕМОСТИ ЭЛЕКТРОТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩИХ
ОБОГРЕВАТЕЛЕЙ**

Статья посвящена внедрению электротеплоаккумулирующих обогревателей, а именно определению сроков их окупаемости по сравнению с альтернативными вариантами систем отопления. В результате проведенного в работе анализа показано, что в случае внедрения этих приборов наиболее выгодным для бытовых потребителей станет отказ от систем прямого электрического отопления, а для населения - от систем центрального отопления. Срок окупаемости был проанализирован как для условий простого расчета, так и для условий наличия ставки дисконтирования.

Ключевые слова: теплонакопители, электротеплоаккумулирующий обогреватель, тарифы на электроэнергию, электрическое аккумуляционное отопление.

Надійшла 14.11.2016

Received 14.11.2016