

ВИЗНАЧЕННЯ НЕОБХІДНОЇ ПОТУЖНОСТІ ЕЛЕКТРИЧНИХ ТЕПЛОАКУМУЛЯЦІЙНИХ ОБІГРІВАЧІВ

© Лисак О. В., 2016

Проаналізовано запропоновані в літературі методики підбору електричних теплоаккумуляційних обігрівачів (ЕТО). Як правило, ці методики визначають необхідну потужність електроспоживання ЕТО залежно від типу обраного приладу та періоду дії пільгового тарифу на електроенергію, параметрів приміщення (тепловтрата, призначення, теплотехнічних характеристик тощо). Більшість проаналізованих методик визначають необхідну потужність лише для якогось одного типу ЕТО з використанням певного коефіцієнта пропорційності для перерахунку значення тепловтрат приміщення в значення необхідної потужності електроспоживання ЕТО. Наведено характерні потужності електроспоживання різних типів ЕТО залежно від двох їх характеристик: організації тепловіддачі та розміщення нагрівачів. У сучасних приладах, на відміну від попередніх моделей, прийнято розміщувати у фронтальній поверхні додаткові нагрівачі для забезпечення більшої надійності роботи приладів та точнішого підтримання температурного режиму приміщення. Також потужність сучасних ЕТО зменшилась порівняно з моделями попередніх років, що можна пояснити відповідним зменшенням допустимих значень тепловтрат у сучасних будівлях. Проведений аналіз продемонстрував, що наведені методики розрахунків містять важливі для практики інженерних розрахунків розбіжності у визначенні потужності електроспоживання ЕТО.

Ключові слова: методика підбору, акумуляційні системи опалення, теплоакуюючі електропечі, теплонакопичувач, електричний акумуляційний обігрівач.

The article analyzes the methods proposed for selection of storage heaters. Generally, these methods determine the required power inputs for storage heaters depending on the period of cheap pick-off electricity tariff, space parameters (heat loss, purpose, thermal characteristics, etc.) and a chosen type of storage heater. Most of the analyzed methods determine the power input for only one type of storage heaters. The required power input is calculated by multiplying heat loss and a correlation factor. The typical power inputs of storage heaters are shown depending on their heat transfer type and a placement of heaters. In modern devices, unlike previous ones, additional heating elements are placed in a front panel to ensure greater reliability of devices and for maintaining accurate control of room temperature. Also, power inputs of modern storage heaters have decreased compared to previous ones. That can be explained by a corresponding reduction in the allowable values of heat loss in modern buildings. The analysis showed the discrepancy between calculation methodologies in terms of calculating power inputs for storage heaters.

Key words: sizing heat storage systems, storage heating, electric storage heating, storage heaters.

Постановка проблеми. Зараз все більше уваги приділяють системам опалення, які є економічно ефективнішими за традиційні системи опалення з використанням газу. Як одне з можливих рішень пропонується застосовувати системи електричного теплоаккумуляційного опалення, зокрема електричні теплоаккумуляційні обігрівачі (ЕТО), також відомі як теплонакопичувачі та теплоакуюючі електропечі [1]. Принцип роботи цих приладів наступний: під час дії

пільгового тарифу на електроенергію (ПТЕ) під час нагрівання теплоакumuлюючого матеріалу (ТАМ) в ньому накопичують теплоту, використовуючи якої протягом всієї доби, підтримують заданий тепловий режим у приміщенні, де встановлено ЕТО. В окремих випадках також додатково заряджають прилад в години, відмінні від часу дії ПТЕ. Процес накопичення тепла в ЕТО прийнято називати “зарядкою”, а процес віддачі тепла – “розрядкою”.

Існують різноманітні методики підбору ЕТО, які дають суттєво відмінні значення необхідної потужності приладу. Потрібно також зважати на те, що більшість таких приладів виробляється за кордоном, тому методики їх підбору можуть ґрунтуватись на кліматологічних та санітарно-гігієнічних нормах, відмінних від чинних в Україні, і їх безпосереднє застосування може призвести до суттєвих похибок.

Мета роботи: представити методики для підбору ЕТО та вказати на відмінності, які існують в літературі з їх підбору. Певні аспекти цієї теми вже було розглянуто в [2], і ця робота є її продовженням.

Класифікація моделей ЕТО для їх підбору. Сучасні моделі ЕТО з регульованою тепловіддачею за типом організації тепловіддачі поділяють на два типи [2]: статичні (С) та динамічні (Д). В обох типах приладів повітря проходить через конвективні канали, що розташовані в ТАМ, однак у статичних це відбувається лише завдяки природній конвекції, а в динамічних використовують вентилятор для примусового руху повітря. Прилади з нерегульованою (НР) тепловіддачею сьогодні не виробляють.

За типом розміщення електричних нагрівачів ЕТО поділяють на прилади, в яких нагрівачі розташовані лише в блоці з ТАМ (АК), та прилади, в яких нагрівачі розташовані як в блоці з ТАМ, так і мають додаткові нагрівачі, що, як правило, розміщено у фронтальній панелі (ФП). Розташовані у фронтальній панелі нагрівачі не працюють одночасно з нагрівачами, розташованими в блоці ТАМ. Однією з останніх тенденцій є те, що виробники спонукають споживачів до використання ЕТО типу ФП та до модернізації вже існуючих ЕТО типу АК в моделі типу ФП [3], що обґрунтовується зниженням експлуатаційних витрат при впровадженні подібних систем [4] та їх більшою надійністю. Сутність такого рішення полягає в тому, що у разі нестачі акумульованої теплоти за допомогою нагрівачів, що розташовані у фронтальній панелі, прогріти приміщення можливо набагато якісніше, ніж нагрівачами з блоку ТАМ, оскільки конструкцією останніх передбачено, що прилад віддає до обслуговуваного приміщення лише частку виробленої теплової енергії, а не всю. Тобто, нагрівачі блоку ТАМ будуть одночасно, окрім повітря, нагрівати й сам ТАМ, в чому відсутній сенс – нагрівання ТАМ доцільне лише в період дії ПТЕ. Фактично нагрівачі у фронтальній панелі є аналогом додаткового (резервного) електричного обігрівача прямої дії, який є необхідним для надійної роботи ЕТО у випадку вичерпання чи нестачі теплового потоку від раніше акумульованої в ТАМ теплоти.

Моделі ЕТО прийнято розрізняти за ступенем автоматизації їх роботи. Порівняно з класифікацією, наведеною в [2], у [5] прилади пропонується поділяти за ступенем автоматизації на три типи: 1) з ручним керуванням, 2) з автоматичним керуванням; 3) з “Select-type” керуванням (з централізованим керуванням). Різниця між автоматичним керуванням та керуванням типу “Select-type” полягає в тому, що автоматичного керування досягають за допомогою окремого приладу, а керування “Select-type” передбачає централізоване регулювання усіма ЕТО в будівлі. За централізованого регулювання ступінь споживання електроенергії визначатиметься для всієї будівлі, і якщо виробники електроенергії матимуть дані про очікуване енергоспоживання будівлі, то вони будуть здатні ефективніше використовувати надлишки електроенергії, раціонально розподіляючи наявні ресурси. Також за централізованого керування полегшується процес переналаштування приладів на найбільш економічно доцільні температурні режими приміщень залежно від характеру експлуатації будівлі.

Ступінь автоматизації роботи приладу впливає на рівень теплоспоживання приміщення протягом опалювального сезону. Загалом що вищим є рівень автоматизації та що більшим є діапазон регулювання тепловіддачі приладу, то більшу економію електроенергії він забезпечуватиме: згідно з [4] система опалення, що використовує ЕТО типу С-АК з ручним регулюванням, витрачала протягом опалювального сезону на 26–37 % теплоти більше, ніж система з ЕТО типу Д-ФП з автоматичним керуванням в аналогічному приміщенні. Ці значення наведено для умов, характерних для Великобританії, але можуть бути іншими для України внаслідок відмінності клімату та призначення приміщення, його характеристик тощо.

Вибір характеристик ЕТО. Проаналізуємо існуючі типоряди приладів за споживаною ними номінальною електричною потужністю $P_{\text{ном}}$, кВт, залежно від методу організації тепловіддачі та розміщення нагрівачів. Метою аналізу є демонстрація значень потужностей, на які орієнтуються виробники, та порівняння характерних значень потужності у різних типів ЕТО. Для підбору приладів необхідно перерахувати $P_{\text{ном}}$ в значення фактичного споживання електроенергії приладом згідно з потрібною потужністю $P_{\text{ел}}$, кВт. Окрім цього, на підбір необхідної потужності ЕТО впливатиме і його тип та інші характеристики, як показано в [2].

Для аналізу обмежимося лише приладами, тривалість “зарядки” $\tau_{\text{зар}}$, год, яких становить 7 та 8 год, оскільки саме такими є тривалості дії ПТЕ в Україні [6]. Також представимо номінальні значення необхідної напруги $U_{\text{ном}}$, В, оскільки для імпортих ЕТО характеристики наводять не за прийнятими в Україні значеннями напруги, а за значеннями напруги країн-виробників.

Характеристики приладів наведено в табл. 1. Діапазон номінальної потужності для моделей типу С-АК коливається в межах 0,8–3,4 кВт, для Д-АК – в межах 1,6–7 кВт, для С-ФП – в межах 1–2,6 кВт, для Д-ФП – в межах 1,6–3,3 кВт. Ці діапазони демонструють, що потужність моделей типу С є меншою, ніж в Д, що пояснюється більшим діапазоном регулювання тепловіддачі в моделях типу Д [1]. Також, номінальна потужність моделей типу ФП є меншою за попередні моделі типу АК, що можна пояснити меншими питомими значеннями теплоспоживання сучасних будівель, з потребами яких й було розроблено нові моделі.

Принципи підбору приладів. Перелік факторів, які слід враховувати при виборі ЕТО і які визначають рівень теплоспоживання приміщення, було зазначено в [7, 8], а саме: тепловтрати через огорожувальні конструкції приміщення; тепловтрати внаслідок інфільтрації повітря; характер теплонадходжень до приміщення; тривалість опалювального періоду; термальна маса конструкції (властивість будівельних конструкцій акумулювати теплову енергію та згладжувати коливання температури приміщення); частка теплонадходжень від приладу за рахунок прямого опалення. До цього списку також варто додати й характеристики ЕТО. Загалом наведені фактори можна враховувати й для оцінювання інших систем електричного теплоаккумуляційного опалення [9].

Серед наведених факторів потрібно звернути особливу увагу на врахування частки прямого електрообігріву в забезпеченні теплового режиму приміщення. Залежно від встановлених норм ЕТО може бути як єдиним приладом в приміщенні, так і мати певне резервування (додатковий електричний обігрівач прямої дії). Тому при підборі ЕТО необхідно визначити, чи буде цей прилад (або ж як система з ЕТО та іншим приладом) здатним забезпечити як добове теплоспоживання приміщення, так і максимальне теплоспоживання приміщення протягом доби.

Існують різні рекомендації із визначення допустимої (чи необхідної) частки прямого опалення в системі з ЕТО. Допустиму частку можуть характеризувати як частку спожитої теплоти за прямого обігріву приміщення відносно загального теплоспоживання приміщення протягом опалювального сезону, а також приймати її як частку від необхідного розрахункового теплового потоку до приміщення. Загалом наявність прямого обігріву може бути спричинена як економічними чинниками, так і підвищенням надійності підтримання теплового режиму: користувач повинен мати можливість регулювати температуру в приміщенні й за нестачі раніше акумульованої теплоти в нього має бути можливість підтримувати комфортний тепловий режим.

Варіювання номінального споживання електроенергії ЕТО ⁽⁵⁾

Принцип дії	Виробник	Назва приладу	$U_{ном}^{(1)}$, В	$\tau_{зар}^{(1)}$, год	Джерело	Номінальна потужність ⁽²⁾ енергоспоживання приладом електроенергії $P_{ном}$, кВт																						
						0,8	0,85	1	1,2	1,3	1,6	1,7	1,8	2	2,1	2,2	2,4	2,55	2,6	2,8	3	3,1	3,2	3,3	3,4	4	5	6
С-АК	ELNUR	ADS	220-240	8	[10]	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	-	-	-	-	
		AX	220-240	8	[11]	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-
	Stiebel Eltron	ETC-M	230	н.д.	[12]	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	-	-	-	-
		ETC-A	230	н.д.	[13]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Д-АК	Dimplex	XL/XLS	230-240	7 ⁽⁴⁾	[14]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		Теллотехника	н.д.	7	[15]	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	ELNUR	ADL	220-240	8	[16]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Stiebel Eltron	230	8 ⁽³⁾	[17]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
С-ФП	Теллотехника	АЭТ	220/380	7	[18]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		ТЕСНОТHERM	400	н.д.	[19]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	ELNUR	ЕСОМВІ	240	8	[20]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Quantum	220	7	[21]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Примітка: 1. Напряга та час “зарядки” наведені приблизно, дані можуть відрізнятися. В певних каталогах ці дані не наведено безпосередньо в розглянутому джерелі, і тому їх позначено як “н.д.”. 2. Значення $P_{ном}$ для приладів типу ФП відповідає більшій потужності одного з вказаних нагрівачів; в нашому випадку це потужність нагрівачів для накопичення теплової енергії. (вони не повинні працювати одночасно) та округлені з точністю до 100 Вт. 3. Тривалість “зарядки” приладу прийнято згідно з [22]. 4. Період зарядки приладів XL/XLS прийнято 7 год, як для приладів Quantum того самого виробника. 5. Наведені в цій таблиці дані мають виключно ознайомчий характер, а точні цифри та значення необхідно отримувати у безпосередніх виробників обладнання.

Згідно з [7] ЕТО підбирають так, аби орієнтовна кількість теплоти, що споживатиметься приладом протягом дії ПТЕ, становила 90 % від сезонного споживання теплоти, а інші 10 % забезпечувались за рахунок прямого обігріву, але рекомендація цієї інструкції стосується добре утеплених будівель. Максимальне обмеження частки прямого обігріву від сезонного споживання теплоти згідно з [7] не повинно перевищувати 20 % – відповідно, мінімальна частка теплоти, виробленої за ПТЕ, не повинна бути меншою за 80 %. Наведені рекомендації стосувались встановлення ЕТО в умовах Британських островів.

В Україні згідно з ДБН В.2.5-24:2012: “Електрична кабельна система опалення” [23] теплова потужність додаткових електричних опалювальних приладів у період напівпікових навантажень в енергосистемі могла становити до 25 % від тепловтрат приміщення при новому будівництві. У випадку житлових приміщень було вказано, що тривалість основного включення ЕКС ОТА повинна становити не менше 7 год, а додаткового включення (чи включень) – не менше 2 год, а потужність додаткової системи опалення повинна становити не менше 20 % від тепловтрат приміщення.

У приладів типу ФП відношення потужності нагрівачів у фронтальній панелі до потужності нагрівачів у ТАМ становить: для Ecombі [20] – 46 %, для Quantum – 40 % [21]. Розглянемо випадок пошкодження нагрівачів ТАМ і роботи фронтальних нагрівачів у режимі прямого опалення.

Для Ecombі порівняно з 8 год “зарядки” на 100 % вказаної потужності за роботи в аварійному режимі протягом 24 год та 46 % потужності прилад вироблятиме: $(46 \% \cdot 24 \text{ год}) / (100 \% \cdot 8 \text{ год}) = 1,38$ разів більше теплової енергії. Більше за одиницю значення цього показника означає, що ці прилади спроектовано з урахуванням компенсації пікової потреби в теплоспоживанні.

Узагальнення умов для підбору приладів. У [24, 25] підбирати ЕТО пропонували на основі рівняння для визначення теплового балансу між кількістю спожитої приладом електроенергії та часткою, яку було витрачено на опалення приміщення протягом доби:

$$P_{\text{ел}} \cdot t_{\text{зар}} = Q_{\text{об}}^{\text{доба}} + Q_{\text{ак}}^{\text{доба}}, \quad (1)$$

де $Q_{\text{об}}^{\text{доба}}$ – кількість теплоти, витраченої ЕТО для опалення приміщення, Вт·год; $Q_{\text{ак}}^{\text{доба}}$ – кількість теплоти, акумульованої в ЕТО та не витраченої до початку наступної “зарядки”, Вт·год.

У випадку, коли витрачається вся накопичена теплота ($Q_{\text{ак}}^{\text{доба}} = 0$ Вт·год), рівняння (1) набуває вигляду:

$$P_{\text{ел}} \cdot t_{\text{зар}} = Q_{\text{об}}^{\text{доба}}. \quad (2)$$

Оскільки прилади, як правило, підбирають залежно від значення їх потужності $P_{\text{ел}}$, то перепишемо рівняння (2) так:

$$P_{\text{ел}} = Q_{\text{об}}^{\text{доба}} / t_{\text{зар}}. \quad (3)$$

За відомого значення періоду “зарядки” приладу $t_{\text{зар}}$ та за типоряду приладів, що працюють за вказаного періоду зарядки, необхідно обрати такий прилад, який би задовольняв добову потребу в теплоспоживанні $Q_{\text{об}}^{\text{доба}}$. Визначимо її як:

$$Q_{\text{об}}^{\text{доба}} = z_{\text{пр}} \cdot t_{\text{доба}} \cdot Q_{\text{тепл}}. \quad (4)$$

де $z_{\text{пр}}$ – коефіцієнт для перерахунку тепловтрат приміщення в середнє за добу значення потреби в теплоті у приміщенні; $t_{\text{доба}}$ – тривалість доби, $t_{\text{доба}} = 24$ год; $Q_{\text{тепл}}$ – розрахункове значення тепловтрат приміщення, Вт. У літературі, як правило, значення теплонадходжень до приміщення $Q_{\text{надх}}$, Вт враховують не напряму, а через коефіцієнт $z_{\text{пр}}$.

Наведені розрахунки з формул (1)–(4) зведемо до рівняння:

$$P_{\text{ел}} = z_{\text{пр}} \cdot (t_{\text{доба}} / t_{\text{зар}}) \cdot Q_{\text{тепл}} \quad (5)$$

Співвідношення часу в рівнянні (5) залежить лише від періоду “зарядки” приладу. Запишемо співвідношення $t_{\text{відн}}$ як:

$$t_{\text{відн}} = t_{\text{доба}} / t_{\text{зар}}. \quad (6)$$

Отже, рівняння (5) з врахуванням формули (6) набуде вигляду:

$$P_{\text{ел}} = z_{\text{пр}} \cdot t_{\text{відн}} \cdot Q_{\text{тепл}} \quad (7)$$

Параметри $z_{\text{пр}}$ та $t_{\text{відн}}$ пов'яжемо в єдиний параметр $Z_{\text{д}}$, який слугує для перерахунку значення тепловтрат приміщення в необхідне значення потужності ЕТО:

$$Z_{\text{д}} = z_{\text{пр}} \cdot t_{\text{відн}} \quad (8)$$

і рівняння (7) з врахуванням (8) набуде вигляду:

$$P_{\text{ел}} = Z_{\text{д}} \cdot Q_{\text{тепл}} \quad (9)$$

Узагальнення умов для підбору ЕТО. В цій частині роботи проаналізовано п'ять методик з підбору ЕТО, наведених в літературі. Всі методики будемо зводити до виду рівняння (7) або (9), з приведеннями коефіцієнтів $Z_{\text{д}(i)}$ та $z_{\text{пр}(i)}$, де i – номер методики. Оскільки ці коефіцієнти залежать від теплових характеристик приміщення, будемо наводити за можливості питомі характеристики тепловтрат приміщення (без врахування теплонадходжень) на одиницю площі $q_{\text{тепл}}$, Вт/м²:

$$q_{\text{тепл}} = Q_{\text{тепл}} / F, \quad (10)$$

де F – площа приміщення, м².

Перша методика. У [26, 27] було наведено методику підбору ЕТО нерегульованого типу для офісного приміщення, де люди знаходяться лише протягом 9 год. Підбір приладів такого типу передбачав певне зниження температури в приміщенні до наступного часу “зарядки” приладу. Ця методика дає змогу умовно прийняти (за умови 8 год “зарядки” приладу), що на 1 кВт тепловтрат $Q_{\text{тепл}}$ необхідно обирати ЕТО зі споживанням $P_{\text{ел}} = 1,5$ кВт. Отже, визначимо $Z_{\text{д}(1)}$ за рівнянням (9) як:

$$Z_{\text{д}(1)} = P_{\text{ел}} / Q_{\text{тепл}} = 1500 / 1000 = 1,5. \quad (11)$$

Значення $z_{\text{пр}(1)}$ визначимо за рівнянням (8) та (6) як:

$$z_{\text{пр}(1)} = Z_{\text{д}(1)} / t_{\text{відн}} = Z_{\text{д}(1)} \cdot (t_{\text{зар}} / t_{\text{доба}}) = 1,5 \cdot (8 / 24) = 0,5. \quad (12)$$

Додамо, що в цій методиці зазначалось, що 1 кВт тепловтрат $Q_{\text{тепл}}$ відповідав 0,84 кВт необхідного теплового потоку ($Q_{\text{тепл}} - Q_{\text{надх}}$).

Друга методика. В [28] наведено графік для підбору $Z_{\text{д}(2)}$ залежно від $t_{\text{зар}}$. Причому методика вказувала, що значення, отримані з цього графіка, є доволі умовними, і їх діапазон може бути ширшим: найбільше з можливих значень $Z_{\text{д}(2)}$ перевищує найменше на 25 % і може бути як меншим, так і більшим за значення, наведені на графіку. Показники графіка стосувались лише житлових приміщень. Значення $Z_{\text{д}(2)}$ наведено в табл. 2, а значення $z_{\text{пр}(2)}$, обчислене аналогічно (12), так само подано в табл. 2.

Третя методика. Рекомендації з підбору ЕТО, наведені компанією Dimlex, представлено в [7]. Ці рекомендації ґрунтуються на документі “Design of Electric Space Heating Systems DOM 8” (2006), які використано у [8]. Наведена методика обмежується житловими приміщеннями і орієнтується на сучасні ЕТО типу Д за періоду “зарядки” 7 год. Формула для підбору приладу мала вигляд:

$$P_{\text{ел}} = (1 / t_{\text{зар}}) \cdot (t_{\text{доба}} \cdot z_3 \cdot y \cdot Q_{\text{тепл}} + c), \quad (13)$$

де z_3 – фактор, що оцінює необхідну кількість теплонадходжень протягом доби, отриманий з урахуванням інфільтрації, заданої тривалості періоду роботи системи опалення та деяких інших факторів; y – фактор, що враховує наявність частки прямого обігріву в забезпеченні теплового режиму приміщення; c – фактор, що визначає надбавку до значення необхідного теплового потоку у випадку наявності каміну, Вт.

Розглянемо кожен з цих факторів детальніше.

Значення z_3 наведено в [7, 8], і їх визначають залежно від типу приміщення та від рівня теплоізоляції приміщення (теплових втрат приміщення). Що меншими є тепловтрати приміщення, то меншим є коефіцієнт z_3 . Також, коефіцієнт z_3 відрізнятиметься залежно від призначення приміщення: наприклад, для кухні він менший, ніж для спальні.

Значення у визначають за емпіричною залежністю [7,8]:

$$y = 1 - K_y \sqrt{SD}, \quad (14)$$

де K_y – коефіцієнт, що залежить від типу приміщення: $K_y = 0,06$ – для вітальнь та кухонь та $K_y = 0,10$ – для вестибюлів та спалень; SD – частка теплової енергії, яка отримана в години, відмінні від часу дії ПТЕ, протягом опалювального сезону, %.

Зі значеннями c можна ознайомитись в [7,8]. Загалом не рекомендується використовувати ЕТО в приміщеннях з каміном, оскільки це призводитиме до значного збільшення тепловтрат. Зменшити ці тепловтрати можна, обладнавши камін регулятором тяги. Додамо, що в приміщеннях з природною вентиляцією застосування ЕТО, як і будь-яких інших приладів зі значною часткою тепловіддачі за рахунок конвекції [1, 8], призводитиме до збільшення тепловтрат.

Розглянемо випадок, коли використовується лише тепла енергія, вироблена в період дії ПТЕ ($SD = 0$ %; $y = 1$), а в приміщенні відсутній камін ($c = 0$) і заміною z_3 на $z_{пр(3)}$:

$$P_{ел} = (t_{доба}/t_{зар}) \cdot z_{пр(3)} \cdot Q_{тепл}. \quad (15)$$

Виробник також наводив приклад добору ЕТО типу Д-ФП (Quantum) із сучасним рівнем автоматики для різних типів приміщення (призначення, розміру огорожувальних конструкцій тощо) [3]. Згідно з цими даними, якщо замість ЕТО типу Д-ФП обирати прилади типу С-АК (XLS/XLN), необхідне значення потужності останніх мало бути подвоєним для випадків: вітальні (за внутрішньої температури 21 °С), кухні (18 °С) та офісних й громадських будівель (21 °С). Для спалень компанія рекомендувала використовувати системи прямого обігріву, що працюють 24 год на добу, а як заміни пропонувались прилади типу С-АК, потужність яких мала бути в півтора рази вищою за потужність систем прямого опалення при 7 год “зарядки”.

Четверта методика. В [29] наведено методику, в якій ЕТО підбирався вже не за призначенням приміщення, а за наявних значень теплонадходження. Підбирати статичний ЕТО пропонували за формулою:

$$P_{ел} = t_{відн} \cdot z_{пр(4)} \cdot Q_{тепл}, \quad (16)$$

де $z_{пр(4)}$ – понижуючий фактор, що залежить від теплонадходжень до приміщення та теплової стійкості огорожувальних конструкцій:

$$z_{пр(4)} = 1 - (Q_{надх}/Q_{тепл}) - R, \quad (17)$$

де R – коефіцієнт, що враховує теплову стійкість будівлі та залежить від типу огорожувальних конструкцій будівлі. Згідно з [29] було лише три типи конструкцій за їхньою масою, а найбільше зі значень R відрізняється від найменшого у 2,3 рази. Схожа методика умовного поділу конструкцій на три типи за ефективною здатністю до акумуляції теплової енергії приміщенням є в ДБН В.2.5-24:2012: “Електрична кабельна система опалення” для підбору ЕКС ОТА для житлових приміщень, наведених у [23].

Цю методику пропонували для добору не лише одного приладу, а сукупності приладів. В прикладі з [29] обирали не лише ЕТО, але й електричні обігрівачі прямої дії.

Також в прикладі розрахунку з [29] тривалість теплонадходжень не впливала на значення $z_{пр(4)}$: теплонадходження до приміщення тривали лише 10 год. Цей період часу використовували лише для підбору потужності електричних обігрівачів прямої дії.

П'ята методика. У цій методиці розглянуто підбір системи ЕКС ОТА, яка є найближчим аналогом систем з використанням ЕТО. Підбір виконаємо згідно з ДБН В.2.5-24:2012: “Електрична кабельна система опалення” [23] для випадку з нежитловою будівлею з додатка Г.

Підбір потужності ЕКС ОТА за таких умов відбуватиметься за формулою:

$$P_{ел} = (t_{доба}/t_{зар}) \cdot k_z \cdot Q_{тепл}. \quad (18)$$

де k_z – коефіцієнт запасу, який враховує відхилення опору нагрівального кабелю, застосування автоматичного терморегулятора тощо; як правило, приймають не меншим за 1,2.

Цікаво, що в попередній версії ДБН ця частка становила 1,3 [30] та характеризувалася ширше, а саме як: “коефіцієнт запасу, що враховує можливість перевищення фактичних втрат теплоти у

приміщенні порівняно з розрахунковими; можливість зниження фактичної напруги в електричній мережі порівняно з номінальною; необхідність швидкого прогрівання підлоги за низьких зовнішніх температур” [31]. Значення коефіцієнта $k_z = 1,3$ також рекомендували виробником подібних систем [32].

Для подальших розрахунків приймаємо значення $k_z = 1,2$ та модифікуємо формулу (18), де $z_{пр(5)} = k_z$.

Аналіз наведених методик підбору ЕТО. Всі методики поєднує те, що вони визначають теплоспоживання протягом доби, використовуючи значення теплових втрат приміщення, а не фактичної потреби теплоти в ньому (з врахуванням теплового потоку). Характерні значення коефіцієнтів для різних методик проаналізуємо для періодів 7 та 8-годинної “зарядки” ЕТО (табл. 2).

Як можна побачити, з першої до четвертої методики розрахунку (які, до речі, є закордонними) коефіцієнт $z_{пр} < 1$, а в методиці для підбору ЕКС ОТА (яка є вітчизняною) – навпаки, $z_{пр} > 1$. Цю відмінність можливо пояснити тим, що закордонні методики передбачають можливість зменшення температури приміщення в певні години доби (наприклад, за відсутності людей у приміщенні), а також те, що значення температури зовнішнього повітря в діапазоні розрахункового та нижчого буде короточасним, і за значної термальної маси зовнішніх огорожувальних конструкцій тепловтрати приміщення не перевищуватимуть розрахункових значень. У випадку їх перевищення рекомендувалось використовувати резервні системи прямого обігріву.

Таблиця 2

Значення Z_d та $z_{пр}$ в залежності від номеру методики та різних умов роботи

№ з/п	Джерело	Засіб опалення приміщення	Приміщення	$q_{тепл},$ Вт/м ²	Z_d ($\tau_{зар}$)		$z_{пр}$ ($\tau_{зар}$)	
					7 год	8 год	7 год	8 год
1	[26,27]	ЕТО взагалі	Житлові приміщення	–	2,70	2,49	0,79	0,83
2	[27]	ЕТО типу НР	Офіс, в якому знаходяться люди протягом 8 год	124	–	1,50	–	0,50
3*	[7,8]	ЕТО взагалі (хоча в [7] акцент був зроблений на Д-ФП)	Спальня	50	2,74	–	0,80	–
				25	1,85	–	0,54	–
			Кухня	50	1,71	–	0,50	–
			Вітальня	50	2,57	–	0,70	–
4	[29]	ЕТО типу С	Приміщення з наведеного в джерелі прикладу	62,5	2,47	–	0,72	–
5	[23]	ЕКС ОТА (додаток Г)	Нежитлові приміщення	–	4,11	–	1,20	–

Примітка: 1. Кількість значень Z_d та $z_{пр}$ з [7,8] є більшою за наведену в прикладі. 2. Для третьої методики наведені значення Z_d та $z_{пр}$ можуть змінюватись залежно від типу ЕТО.

Серед наведених значень $z_{пр}$ найбільшу увагу привертає 2-га методика. Хоча розглянуте в ній приміщення має значні тепловтрати порівняно з іншими та найгірший з огляду на можливості регулювання тепловіддачі тип ЕТО – НР, значення $z_{пр}$ в 2-й методиці є одним з найменших.

Аналогічне значення $z_{пр}$ також наведено для кухні з 3-ї методики, в якій тривалість “зарядки” є на годину меншою, але при цьому тепловтрати приміщення є в 2,5 разу меншими та використовується ЕТО типу Д. У випадку 2-ї методики наведено значення $z_{пр}$ можливо обґрунтувати раніше вказаним допустим зниженнями температури в приміщенні за відсутності людей та тим, що подібні розрахунки стосувались експлуатації приладів за температури навколишнього повітря $-1,1-12,2$ °С ($30-54$ °F). Тому не виключено, що в регіонах з холоднішим кліматом цей прилад не зміг би забезпечити теплого режиму приміщення, і тому при підборі значення $z_{пр}$ доцільно було б вказувати і допустимість застосування тих чи інших значень $z_{пр}$ для того чи іншого значення температури зовнішнього повітря.

Узагальнення отриманих рекомендацій. Коли йдеться про причини підвищення встановленої потужності ЕТО, то одним з приводів для цього може слугувати зниження напруги в мережі, якщо така вимога буде попередньо зумовлена в проекті. Альтернативою підвищенню потужності приладу може бути використання додаткового часу “зарядки”.

Знизити потужність ЕТО і, відповідно, необхідне значення теплового потоку дозволяють значна термальна маса зовнішніх огорожуючих конструкцій та тимчасове зниження температури приміщення за відсутності людей в ньому. Для демонстрації переваг зниження температури виконаємо розрахунки в першому наближенні, згідно з якими температура приміщення змінюється миттєво, а температура навколишнього повітря є постійною протягом доби.

Введемо параметр питомих тепловтрат на одиницю перепаду температур між температурою приміщення $t_{вн.розр}$, °С, та температурою навколишнього середовища $t_{зовн.розр}$, °С, і позначатимемо цей параметр як $q_{град}$, Вт/°С:

$$q_{град} = Q_{тепл} / (t_{вн.розр} - t_{зовн.розр}). \quad (19)$$

Тепер представимо параметр $z_{експ}$, що характеризує співвідношення тепловтрат протягом доби за змінної температури внутрішнього приміщення до значення тепловтрат протягом доби за постійної температури внутрішнього повітря:

$$z_{експ} = \frac{q_{град} \cdot \tau_{експ} \cdot (t_{вн.розр} - t_{зовн.розр}) + q_{град} \cdot (t_{доба} - t_{експ}) \cdot (t_{вн.зн} - t_{зовн.розр})}{q_{град} \cdot t_{доба} \cdot (t_{вн.розр} - t_{зовн.розр})} = \frac{\tau_{експ} \cdot (t_{вн.розр} - t_{зовн.розр}) + (t_{доба} - t_{експ}) \cdot (t_{вн.зн} - t_{зовн.розр})}{t_{доба} \cdot (t_{вн.розр} - t_{зовн.розр})}, \quad (20)$$

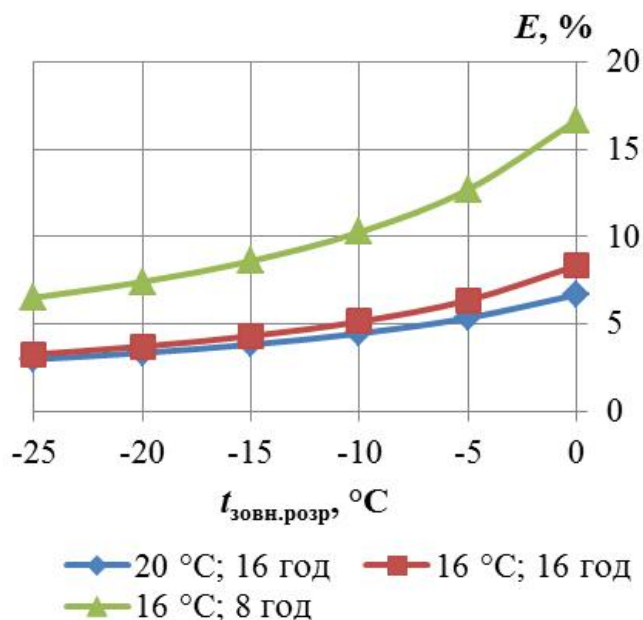
де $\tau_{експ}$ – тривалість періоду, за якого температура в приміщенні дорівнює $t_{вн.розр}$, год; $t_{вн.зн}$ – значення зниженої температури внутрішнього повітря, °С.

Зниження необхідної встановленої потужності E , %, визначатимемо як:

$$E = (1 - z_{експ}) \cdot 100\% \quad (21)$$

Згідно ДБН В.2.5–67:2013 “Опалення, вентиляція та кондиціонування” [33] температуру повітря в приміщенні упродовж періоду їх невикористання можливо знижувати не більше, ніж на 4 °С від нормованої температури, але не нижче ніж 12 °С у житлових, громадських та адміністративно-побутових будівлях. Додамо, що зустрічаються й відмінні підходи: так, в [34] наведено рекомендації зі зниження температури до 10...14 °С. Виробники приладів також мають відмінні підходи до цього питання. Так, в [19] є рекомендації щодо зниження температури у випадку відсутності людини в житловому приміщенні протягом декількох годин до 18 °С, а протягом декількох діб – до 16 °С, а нижчі значення не рекомендували для запобігання утворенню конденсату. В [35] прилад був налаштований на зниження температури на 3 °С. У [22] розглянуто можливість встановлення температури, зниженої до 10 °С. Згідно з [36] користувач мав можливість налаштувати прилад на підтримання температури приміщення в діапазоні від 7 до 26 °С. За тривалої відсутності людей в приміщенні рекомендувалось приймати 10 °С, а температуру 7 °С вважали мінімально допустимою для запобігання промерзанню приміщення.

На рисунку наведено значення можливого зниження потужності ЕТО. Згідно з цими графіками це зменшення є помітним лише у випадку, коли тривалість експлуатації приміщення є порівняно незначною, а розрахункове значення температури навколишнього повітря – порівняно високим. Надалі дані необхідно уточнити з урахуванням впливу термальної маси конструкції на цей показник. Також потрібно враховувати й те, наскільки швидко прилад здатен змінювати температуру приміщення [2]. Певні рекомендації з цього питання наведено в [5].



Зниження заданої потужності ЕТО за зниженнями температури приміщення протягом доби за $t_{\text{вн.розр}}$ та $\tau_{\text{експ}}$ за зменшення температури на 4 °C

Висновки: 1. Як показав аналіз, необхідна потужність ЕТО суттєво залежить від призначення приміщення. Тому значну увагу в подальших дослідженнях слід приділити тому, як саме призначення приміщення впливає на його середньодобове теплоспоживання і вплив яких факторів матиме при цьому вирішальне значення. Так само потрібно проаналізувати залежність між типом ЕТО та значенням необхідної номінальної потужності приладу задля створення економічно обґрунтованих методик підбору найбільш оптимальних типів ЕТО для тих чи інших приміщень.

2. Потрібно оцінити можливість застосування в умовах України закордонних методик підбору ЕТО. Для цього необхідно перевірити достовірність застосування наведених у закордонних методиках факторів, що визначають необхідну потужність ЕТО, для умов впровадження в Україні, а також враховувати, як це вплине на рівень автоматизації приладів. Особливу увагу при цьому слід звернути на енергоощадний режим роботи ЕТО за відсутності людей у приміщенні.

3. Перспективними об'єктами для впровадження сучасних ЕТО із централізованим керуванням є офісні приміщення, оскільки тривалість перебування в них людей є порівняно короткочасною і в цих приміщеннях ефект від зниження температури буде одним з найбільших. Проте для визначення економії від вказаного зниження необхідно детальніше розглянути питання швидкості розігріву приміщення (тобто швидкості відновлення комфортного для працівників температурного режиму).

1. Малкін Е. С, Лисак О. В. Теплоаккумуляторные электропечи. Терминология и классификация // Промислова електроенергетика та електротехніка (Промелектро). – 2014. – № 3. – С. 69–74. – ISSN 2409-2924. 2. Лысак О., Малкин Э. Выбор теплоаккумуляторных электропечей при внедрении в Украине // Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym. – Częstochowa (Poland) : Politechnika Częstochowska, 2015. – № 1 – С. 117–125. – ISSN 2299-8535. 3. Heat Design Service – Quick Guide. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.dimplex.co.uk/products/domestic_heating/installed_heating/heater_sizing_table.htm. –15.07.2016 р. 4. Running Costs of Conventional

Electric Space Heating Systems. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.dimplex.co.uk/assets/Running_Costs.pdf. –15.07.2016 р. 5. *The Government’s Standard Assessment Procedure for Energy Rating of Dwellings : 2012 edition*. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.bre.co.uk/filelibrary/SAP/2012/SAP-2012_9-92.pdf. –15.07.2016 р. 6. Лусак О. В. Термін окупності електричних теплоаккумуляційних систем теплопостачання в залежності від тривалості періоду акумулювання // *Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку: збірник наукових праць III міжнародної науково-технічної та навчально-методичної конференції (30 травня-01 червня 2016 р.)*. – Київ, НТУУ “КПІ”, 2016. – С. 43-44. 7. *Guide to the design of electric space heating systems (DOM 8)* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.dimplex.co.uk/assets/Downloads_PDF/DOM8.pdf. – 20.07.2016 р. 8. Oughton D. R., Hodkinson S. L. *Faber & Kell’s Heating and Air-Conditioning of Buildings*. – 10th edition. – Amsterdam ; London : Butterworth-Heinemann, 2008. – XIX, 786 p. – ISBN 978-0-75-068365-4. 9. Черных Л. Ф. Тепловые режимы помещений при энергосберегающем теплоаккумуляционном напольном электроотоплении: дис. ... доктора техн. наук : 05.23.03. / Черных Людмила Фёдоровна. – К., 2009. – 445 с. 10. *ADS static storage heaters : technical data sheet*. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.elnur-global.com/dl-files/elnures/ft/en/f_ads_en.pdf. – 15.07.2016 р. 11. *Static manual storage heater*. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.elnur-global.com/dl-files/elnures/ft/en/f_ax_en.pdf. – 15.07.2016 р. 12. *Stiebel Eltron: ETC 085 M*. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.stiebel-eltron.com/en/home/products-solutions/central_heating/storage_heating/etc-m/etc_085_m/technical-data.product.pdf. – 15.07.2016 р. 13. *Stiebel Eltron: ETC-A*. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.stiebel-eltron.com/en/home/products-solutions/central_heating/storage_heating/etc-a/etc_170_a.product.pdf. – 15.07.2016 р. 14. *Storage Heater XL/XLS Range*. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.glendimplexireland.com/product_details/XL24.htm?section_id=332. – 15.07.2016 р. 15. *Электрический теплоаккумуляционный обогреватель (статический)*. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://teplotehnika.dp.ua/teploakkumulyator_staticheskij/. – 15.07.2016 р. 16. *ADL dynamic storage heater*. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.elnur-global.com/dl-files/elnures/ft/en/f_adl_en.pdf. – 15.07.2016 р. 17. *Stiebel Eltron: ETS 200-700 ELECTRONIC*. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.stiebel-eltron.com/en/home/products-solutions/central_heating/storage_heating/ets_200-700_electronic/ets_700.product.pdf. – 15.07.2016 р. 18. *Электрический теплоаккумуляционный обогреватель (динамический)*. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://teplotehnika.dp.ua/teploakkumulyator_dinamicheskij/. – 15.07.2016 р. 19. *Technotherm: Storage Heater TTW*. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.technotherm.com/electrical-dynamic-storage-heater-ttw.html>. – 15.07.2016 р. 20. *Elnur: Ecombi (Technical Data Sheet)*. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ecombi-northamerica.com/download/ecombi-technical-sheet-canada-0416-50.pdf>. – 15.07.2016 р. 21. *Dimlex: Quantum Trade Brochure*. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.dimplex.co.uk/assets/kb/brochure/0/Quantum_Trade_Brochure.pdf. – 15.07.2016 р. 22. *Теплоаккумуляторы: эксплуатация и монтаж*. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.stiebel-eltron.ru/sites/default/files/ETS_%20%28RUS%29.pdf. – 15.07.2016 р. 23. *Електрична кабельна система опалення: ДБН В.2.5-24:2012 – [Дата введення в дію 2012-10-01]*. – К. : Укрархбудінформ, 2012. – 83 с. – (Державний стандарт України). 24. Третьякова Л.Д., Луц Т.С. *Енергозберігаючі системи опалення виробничих приміщень // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія “Технічні науки”*. – 2013. – № 6. – С. 262–268. – ISSN 1813-6796. 25. Третьякова Л. Д., Білан В. В. *Методика вибору потужності акумуляційних електрообігрівачів // Проблеми охорони праці, промислової та цивільної безпеки: збірник матеріалів сьомої науково-методичної конференції (13-14 листопада 2012 р.)*. – Київ, НТУУ “КПІ”, 2015. – С. 172–174. – ISBN 978-966-699-670-4 (серія), ISBN 978-966-699-689-6. 26. Кривошеин И. А. *Бытовые электронагревательные приборы и установки*. – М. : Изд-во МКХ РСФСР, 1963. – 184 с. 27. Bates E. *Development of transportable thermal-storage space heaters // Proceedings of the IEE-Part A: Power Engineering*. – 1957. – Vol. 104. – № 17. – С. 415-423. – ISSN 0369-8882. – doi: 10.1049/pi-a.1957.0108. 28. *ASHRAE Handbook: HVAC Systems and Equipment*. –

Atlanta : American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning, 2012. – 916 p. – ISBN 978-1-936504-26-8. 29. Moss Keith J. Heating and water services design in buildings. – London ; New York : Spon Press, 2003. – 2nd edition. – 320 p. – ISBN 0-415-29185-2. 30. Мацевитый Ю.М., Ганжа Н.Г., Хищенко А.В. Оценка энергетической эффективности систем электроотоплительно-нагревательного отопления административных зданий // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2011. – 10 (92). – С. 9–16. – ISSN 2313-8890 (Online), ISSN 2218-1849 (Print). 31. Електрична кабельна система опалення: ДБН В 2.5-24-2003 – [втратив чинність]. – К. : Держбуд України, 2004. – 60 с. – (Державний стандарт України). 32. DEVI. Пособие: кабельные электрические системы отопления. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.c-o-k.ru/library/catalogs/devi/1690/15606.pdf>. – 15.07.2016 р. 33. Опалення, вентиляція та кондиціонування: ДБН В.2.5 – 67:2013 – [Дата введення в дію 2014-01-01]. – К. : Мінрегіон України, 2013. – 140 с. – (Державний стандарт України). 34. Юркевич Ю. С., Савченко О. О. Оптимізація теплового режиму захищення під час чергового опалення в приміщенні // Вісник Національного університету “Львівська політехніка”. – Львів, 2010. – В. 677: Теплоенергетика. Інженерія докілья. Автоматизація. – С. 42–45. – ISSN 0321-0499. 35. ECOMBI : Installation instructions and user guide. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.elnur.co.uk/wp-content/uploads/2015/10/ecombi-system-user-manual.pdf>. – 15.07.2016 р. 36. Dimplex. Quantum Heater: Operating Instructions. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.dimplex.co.uk/assets/kb/operating_instructions/0/Quantum_Operating_Instructions_Issue_5_Series_D.pdf. – 15.07.2016 р.