

УДК 697.1

## Опалення виробничих приміщень зі змінним тепловим режимом

М.П. Сенчук<sup>1</sup>, К.О. Хованський<sup>2</sup>

<sup>1</sup>к. т. н., доцент, Київський національний університет будівництва і архітектури, smp\_21@ukr.net.

<sup>2</sup>магістрант, Київський національний університет будівництва і архітектури, kir-523@ukr.net.

*Проаналізовано зміну теплового режиму приміщень різного функціонального призначення залежно від стаціонарних і нестаціонарних витрат і надходжень теплоти протягом доби. Проілюстровано визначення за добовими графіками співвідношення потужностей фонові і догрівальної систем опалення приміщень. Показано доцільність застосування за певних умов теплового режиму догрівальної системи в робочий і неробочий час.*

*Ключові слова: зміна теплового режиму, втрати і надходження теплоти, тепловий баланс, фонові і догрівальні системи опалення, робочий і неробочий час.*

**Вступ.** Опалення промислових будівель і споруд згідно з вимогами [1–3] та інших нормативних документів забезпечується різними видами систем залежно, в першу чергу, від функціонального призначення та категорій виробничих приміщень. На вибір схеми опалення також впливають інші чинники, зокрема режим використання приміщення (робочий і неробочий час), співвідношення теплового навантаження на опалення в основний і черговий періоди доби, наявний вид джерела теплової енергії, що використовується в технологічному процесі виробництва, організації технологічного процесу та праці працюючих в робочій зоні приміщення (необхідність центрального опалення чи достатньо місцевого обігрівання на робочих місцях), відмінними вимогами до виду і параметрів теплоносія тощо. Проектування опалення промислових будівель і споруд доцільно виконувати на підставі техніко-економічного обґрунтування різних варіантів схем організації опалення окремих приміщень з урахуванням санітарно-гігієнічних, виробничо-монтажних, архітектурно-будівельних, техніко-економічних, експлуатаційних вимог. Відмінність зміни теплових режимів приміщень протягом доби і в цілому за опалювальний період вимагає застосування систем з оптимізованими за погодними умовами автоматичним регулюванням з додатковим коригуванням за необхідною результуючою внутрішньою температурою, що обумовлює стабільність теплового комфорту та енергоефективність роботи.

**Постановка проблеми.** Наявність на більшості промисловому об'єктів приміщень з різними температурно-вологісними режимами роботи в робочий та

неробочий час, з неоднаковими співвідношеннями потужності системи опалення через можливу суттєву різницю теплонадходжень в робочий час у приміщеннях різного функціонального призначення ускладнює, за єдиної центральної системи опалення будівлі, підтримання нормованої результуючої температури - комплексного показника радіаційно-конвективних умов мікроклімату в різних приміщеннях. Виникає необхідність проектування самостійних віток системи водяного опалення по обслуговуванню окремих або групи приміщень з необхідними параметрами теплоносія та алгоритмом регулювання, що призводить до ускладнення будови системи, а відповідно і до збільшення капітальних затрат.

**Аналіз останніх публікацій.** Відповідно до [1] рекомендується застосовувати для опалення приміщень зі змінним тепловим режимом основну систему опалення з використанням її в черговому режимі (у неробочий час або під час перерв у використанні приміщень) або в поєднанні її з черговою системою як окремої системи. Також для згаданих приміщень можна застосовувати комбіновану систему опалення, що складається з постійно діючої фонові системи опалення для часткового обігрівання та періодично працюючої догрівуючої системи у робочий час, яка є більш гнучкою в регулюванні змінного теплового режиму. Разом з тим, не встановлено основні принципи щодо вибору основної та/або чергової чи комбінованої систем опалення, а визначення щодо застосування догрівуючої системи тільки у робочий час за деяких змінних теплових режимів є необґрунтованим.

**Постановка задачі.** Важливим етапом в проектуванні опалення виробничих приміщень є обґрунтоване встановлення конструктивних та теплових характеристик системи опалення окремих приміщень, а також алгоритму регулювання з досягненням ефективного використання енергоресурсів при нормованому підтриманні внутрішньої температури упродовж робочого дня, в неробочий час та в період переходу з одного на інший режим використання приміщень. Вибір способу опалення основною та/або черговою чи комбінованою системами залежить від багатьох режимних і конструктивних факторів характерних для конкретної виробничої будівлі. Тому у роботі передбачається на конкретному прикладі опалення приміщень виробничого підприємства системами з функціями основного і чергового режиму роботи та комбінованої системи опалення в складі фонові і догрівуючої проаналізувати результати рішень по забезпеченню раціонального регулювання при змінному тепловому навантаженні, як упродовж робочого часу, так і протягом доби.

**Основна частина.** У виробничих приміщеннях (крім приміщень з виділенням отруйних речовин, які проектуються за спеціальними нормативними документами) наряду з системами повітряного опалення, робота яких здебільшого суміщена з системами припливної вентиляції, найпоширеніші системи водяного опалення, як найбільш гігієнічні, надійні в експлуатації і регульовані в широких межах використання. Застосовуються також такі системи

опалення: парові, променисті, електричні приладові та кабельні, електричні та газові з високотемпературними випромінювачами [1-5].

У промисловій будівлі з фіксованою тривалістю робочого дня, технологічного процесу за центральної системи опалення здійснюють автоматичне регулювання теплового потоку залежно від погодних умов з додатковим коригуванням за внутрішньою температурою характерного за призначенням будівлі приміщення, що має найбільші питомі тепловтрати. У випадку необхідності регулювання роботи окремих віток систем опалення з різними параметрами теплоносія та режимом роботи протягом доби проектують індивідуальні теплові пункти з автоматичним регулюванням їх теплових потоків залежно від погодних умов з додатковим коригуванням за внутрішньою температурою приміщень, які обслуговують вітки, за якого забезпечується підтримання розрахункової внутрішньої температури, перехід систем на роботу в робочий чи неробочий час, відключення чергової системи в робочий час у приміщеннях з надлишками тепла тощо.

Підтримання внутрішньої температури повітря у виробничому приміщенні може забезпечуватися однією системою опалення, запроєктованою на більшу теплову потужність в основний чи неробочий час з відповідним зниженням цієї потужності при зміні режиму використання приміщення з основного на неробочий або навпаки. Також може проектуватися комбінована система опалення, що складається з постійно діючої фонові системи опалення для часткового обігрівання на прийнятному температурному рівні та періодично працюючої догрівуючої системи, яка підвищує внутрішню температуру до заданого регульованого рівня відповідно до зміни теплового режиму. У цьому випадку економічно доцільним є застосовувати постійний гідравлічний режим у фоновій або незалежній черговій системах, тобто без установки на опалювальних приладах автоматичних терморегуляторів, а автоматичне регулювання за внутрішньою температурою приміщень забезпечується на приладах догрівуючої системи. Потужність фонові системи автоматично регулюється в індивідуальних теплових пунктах за погодними умовами. З урахуванням нормативних рекомендацій у виробничих приміщеннях опалювальні прилади розташовують під вікнами для забезпечення комфортних умов на робочих місцях біля зовнішніх стін.

Комбіновані системи опалення повинні забезпечувати в холодний період року в опалюваних приміщеннях виробничих будівель (крім приміщень, для яких параметри повітря встановлені іншими нормативними документами) упродовж періоду їх невикористання зниження внутрішньої температури повітря не більше ніж на 4 °С від нормованої температури, але не нижче ніж 5 °С. До початку використання приміщення або до початку роботи системи опалення повинні відновити нормований температурний рівень.

Тепловий режим приміщення головним чином обумовлюється тепловим балансом між тепловтратами та теплонадходженнями при нормованій температурі внутрішнього повітря. Тепловий баланс приміщень визначається величиною  $\pm\Delta\Phi_Q$ , кВт, рівною різниці між сумарними величинами надходження

теплоти  $\Sigma\Phi_{тепл}$ , кВт, та втратою теплоти  $\Sigma\Phi_{втр}$ , кВт, в приміщенні при нормованій температурі внутрішнього повітря:

$$\pm\Delta\Phi_Q = \Sigma\Phi_{тепл} - \Sigma\Phi_{втр}. \quad (1)$$

За наявності в робочий час у приміщенні теплонадлишків, тобто при позитивній величині різниці між сумарними надходженнями та втратами теплоти  $+\Delta\Phi_Q$ , кВт, система опалення проектується тільки для чергового режиму роботи приміщення.

Нижче, на прикладі опалення виробничих приміщень механічного цеху, розглянуто можливі шляхи оптимізації роботи системи опалення в умовах нестационарного теплового режиму приміщень, як і основний, так і в черговий періоди їх використання. Прийнято комбіновані системи: фонові – водяні, догрівуючі – повітряні з електричними калориферами. За опалювальні прилади прийнято реєстри з гладких труб, які конструктивно прості з можливістю їх розташування на ширину вікна та мають гладку поверхню для зручного очищення від пилу.

Розрахункові параметри зовнішнього повітря для місця будівництва у м. Чернігів: розрахункова зовнішня температура  $\theta_e = -23$  °С, середня за опалювальний період температура  $\theta_{оп} = -0,9$  °С, тривалість опалювального періоду  $Z_{оп} = 187$  діб, температурна зона - I. У табл. 1 наведено результати розрахунку теплового балансу приміщень, з технологічними відділеннями різного призначення: 1 – збірне, 2 – токарне, 3 – зварювальне, 4 – нікелювальне, 5 – фарбувальне.

Таблиця 1

Тепловий баланс виробничих приміщень

№ пр	Робочий час					Неробочий час				
	$t_b$ , °С	$\Sigma\Phi_{втр}$ кВт	$\Sigma\Phi_{тепл}$ кВт	Баланс, кВт		$t_b$ , °С	$\Sigma\Phi_{втр}$ кВт	$\Sigma\Phi_{тепл}$ кВт	Баланс, кВт	
				$-\Delta\Phi_Q$	$+\Delta\Phi_Q$				$-\Delta\Phi_Q$	$+\Delta\Phi_Q$
1	19	23,7	0,8	22,9	-	15	16,8	-	16,8	-
2	19	32,8	11,2	21,6	-	15	24,2	-	24,2	-
3	18	7,5	19,5	-	12,0	14	6,8	-	6,8	-
4	19	16,5	0,2	16,3	-	15	14,9	-	14,9	-
5	19	8,4	5,1	3,3	-	15	7,6	-	7,6	-

Основні втрати теплоти виробничими приміщеннями: втрата теплоти через зовнішні та/або внутрішні огорожувальні конструкції, втрата теплоти на нагрівання зовнішнього повітря, що потрапляє у приміщення за рахунок інфільтрації або шляхом організованого припливу для вентиляції приміщень. Основні теплонадходження до виробничих приміщень становлять: теплонадходження від працюючих, тепловиділення від джерел штучного освітлення, технологічного устаткування і обладнання, від нагрітих поверхонь

технологічних трубопроводів. Втрати теплоти на нагрівання транспортних засобів, матеріалів і виробів, які потрапляють у приміщення ззовні, є нестационарними.

Зміна режиму використання приміщення з основного на черговий режим, а далі з чергового на основний (зниження/підвищення внутрішньої температури) супроводжується тепловиділенням від нагрітих виробів, технологічного обладнання і конструкцій зовнішніх огорожень, які остигають у приміщенні, або витратою теплоти на їх догрівання до температурного рівня основного режиму, що потребує збільшення теплової потужності системи.

Величина надходжень/втрат теплоти від виробів, обладнання, конструктивних шарів огорожень в значній мірі визначається їхньою масою. Нижче наведено розрахунок витрати теплоти, при зміні внутрішньої температури приміщення, на догрівання конструкцій зовнішньої стіни (ЗС), які забезпечують опір теплопередачі не менше нормативного  $R_{q\ min} = 1,7$  (м<sup>2</sup>·К)/Вт за нормального режиму експлуатації і при тепловій інерції огороження  $D > 1,5$ , що відповідає умовам І температурної зони, основний шар яких з бетону ніздрюватого конструкційно-теплоізоляційного різної масивності.

Витрату теплоти на нагрівання  $k$ -го конструктивного шару  $\Sigma\Phi_k$ , кВт, можна визначити за формулою

$$\Sigma\Phi_k = c_k A_k \delta_k \cdot [(\tau_{e,k}^o - \tau_{z,k}^o)/2 - (\tau_{e,k}^u - \tau_{z,k}^u)/2], \quad (2)$$

де  $c_k$  – теплоємність матеріалу відповідного шару, кДж/(кг К);  $A_k$  – площа поверхні шару, м<sup>2</sup>;  $\delta_k$  – товщина шару, м;  $\tau_{e,k}^o$  і  $\tau_{z,k}^o$  – відповідно температури, °С, на внутрішній і зовнішній поверхні  $k$ -го шару при внутрішній температурі приміщення  $t_{e,}$  °С, в робочий час;  $\tau_{e,k}^u$  і  $\tau_{z,k}^u$  – відповідно температура на внутрішній і зовнішній поверхні  $k$ -го шару при температурі приміщення  $t_{e,}$  °С, в неробочий час.

Температури на поверхнях шарів, починаючи від внутрішньої поверхні огороження, визначають за формулою

$$\tau_{e(z),k} = t_e - (t_e - t_z)/R_o (R_e + \Sigma R_{k-1}), \quad (3)$$

де  $t_e, t_z$  – відповідно внутрішня і зовнішня розрахункові температури, °С;  $R_o$  – загальний фактичний опір огороження, (м<sup>2</sup>·К)/Вт;  $R_e$  – опір тепловіддачі до внутрішньої поверхні огороження, (м<sup>2</sup>·К)/Вт;  $\Sigma R_{k-1}$  – сума опорів теплопередачі  $k-1$  перших шарів огороження, (м<sup>2</sup>·К)/Вт.

Результати розрахунків для першого шару зовнішньої стіни з бетону ніздрюватого в основний і черговий режими наведено в табл. 2. Питома тепловіддача (або витрата теплоти на догрівання) при переході з основного на черговий (або з чергового на основний) режим визначено для частини шару бетону товщиною, на якій температура  $\tau_{z1a}$ , °С, при  $t_e=19$  °С знижується до рівня температури на внутрішній поверхні при  $t_{e,}=15$  °С.

Таблиця 2

Температурний рівень конструктивного шару огороження

Тип ЗС	Конструктивний шар	$R_o$ , ( $m^2 \cdot K$ )/Вт	$\delta_k$ , мм	$\delta_{1a}$ , мм	$\rho_k$ , кг/м <sup>3</sup>	Температура, °С				$\pm \varphi_m$ , кВт/м <sup>2</sup>
						$t_{\theta}$ $t_{\theta v}$	$\tau_{\theta 1}$ $\tau_{\theta v 1}$	$\tau_{\theta 1 a}$	$\tau_{\theta 1}$	
I	Бетон ніздрюватий	1,72	190	86	1200	19 15	16,2 12,5	12,5	7,9 4,9	$\pm 3,27$
	Пінополіуретан		50		60					
	Тальк складний		15		1700					
II	Бетон ніздрюватий	1,72	250	25	500	19 15	16,2 12,5	12,5	-21,5 -21,7	$\pm 0,38$
	Тальк складний		15		1700					

За результатами видно, що масивніша конструкція огороження викликає більшу нерівномірність у зміні теплового навантаження на опалення, тому в подальших розрахунках прийнято тип II конструкції зовнішньої стіни, для якої питома тепловіддача /витрата на її нагрівання на перепаді внутрішніх температур приміщення 4 °С становить  $\pm 0,38$  кВт/м<sup>2</sup>.

Витрати теплоти  $\Sigma \Phi_{обл}$ , кВт, на догрівання (або тепловіддача) матеріалу технологічного обладнання розраховані за формулою [5]

$$\Sigma \Phi_{обл} = 0,278 \cdot \Sigma G_{обл} \cdot c_{обл} (t_v - t_{вч}) \beta_t, \quad (4)$$

де  $\Sigma G_{обл}$  – маса обладнання;  $c_{обл}$  – середня питома теплоємність матеріалу обладнання, в розрахунках прийнято  $c_{обл} = 0,46$  кДж/(кг·°С);  $t_{\theta}$ ,  $t_{\theta v}$  – розрахункова внутрішня температура повітря відповідно в робочий і в неробочий час, °С;  $\beta_m$  – коефіцієнт, який враховує загальну частку кількості теплоти, що сприймається матеріалом за кожну наступну годину знаходження у приміщенні (прийнято за першу годину нагрівання рівним 0,5, за другу – 0,3 і за третю – 0,2).

За результатами теплового балансу приміщень, з урахуванням стаціонарних і нестаціонарних витрат та надходжень теплоти, побудовано добові графіки зміни теплового навантаження на опалення (теплової потужності системи опалення), див. рис. 1-3. Прийнято, що з 8 годин до 17 годин – робочий час, наступні 15 годин приміщення не використовується, внутрішня температура знижується не більше ніж на 4 °С, тобто  $t_{\theta v, min} = 15$ °С.

Так, для приміщення збірного відділення величина теплового балансу –  $\Delta \Phi_Q$ , кВт, за стаціонарних умов більша в робочий час (рис. 1, 2).

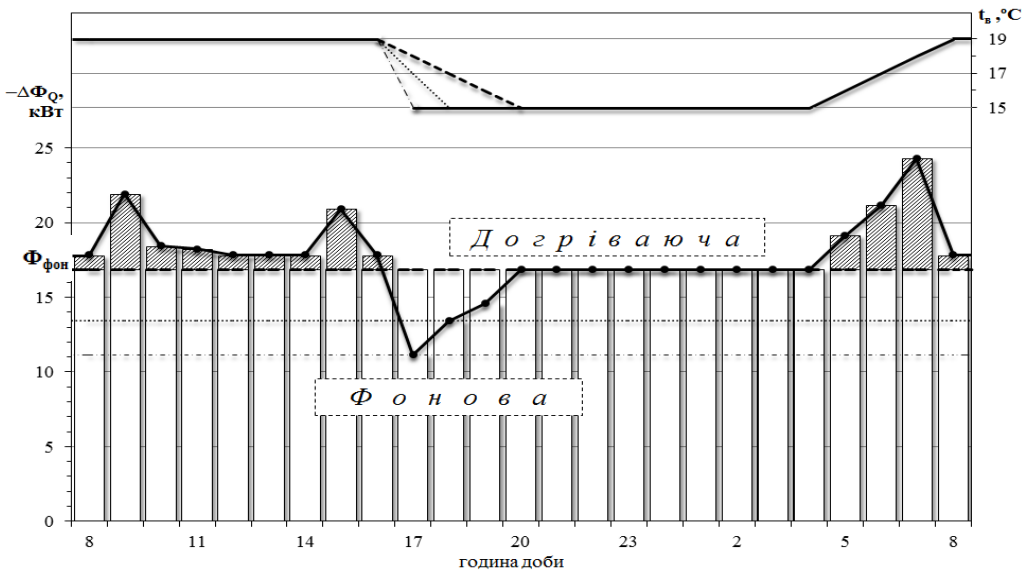


Рис.1. Зміна добового теплового режиму приміщення збірного відділення

Пікове підвищення потрібної теплової потужності о 9 та 15 годинах зумовлене заїздом зовні транспорту (тривалість знаходження у приміщенні 20 хв). Різке зниження потрібного теплового навантаження після завершення основного періоду викликане тепловіддачею у приміщення від остигаючого технологічного обладнання та конструктивних шарів огорожень приміщення. За необхідності забезпечення розрахункової внутрішньої температури на початок роботи, наприкінці періоду невикористання приміщення зростає потреба в тепловій потужності на величину витрати теплоти на догрівання матеріалу обладнання та конструкції огорожень.

Графіки зміни теплового режиму на рис.1, а також нижче на рис. 3 побудовані для постійної протягом доби розрахункової зовнішньої температури  $t_z = - 23 ^\circ\text{C}$ . З урахуванням коливання розрахункової зовнішньої температури на середню добову амплітуду температури  $6,6 ^\circ\text{C}$  у січні (рис. 2а) побудовано графік зміни теплового режиму приміщення збірного відділення (рис. 2б). Така зміна теплового навантаження протягом доби за найнижчого значення зовнішньої температури  $t_z = - 23 ^\circ\text{C}$  з 5 до 7 години та найвищого значення  $t_z = - 16,4 ^\circ\text{C}$  з 12 до 15 години показана на графіку світлою лінією.

Залежно від співвідношення величин втрати і надходження теплоти в робочий і неробочий час спостерігається відмінний характер зміни теплового режиму для різних приміщень. Якщо для приміщень нікелювального як і для збірного відділень, величина теплового балансу  $-\Delta\Phi_Q, \text{кВт}$ , за стаціонарних умов більша в робочий час, то для інших приміщень ця величина більша в період їх невикористання (рис. 3).

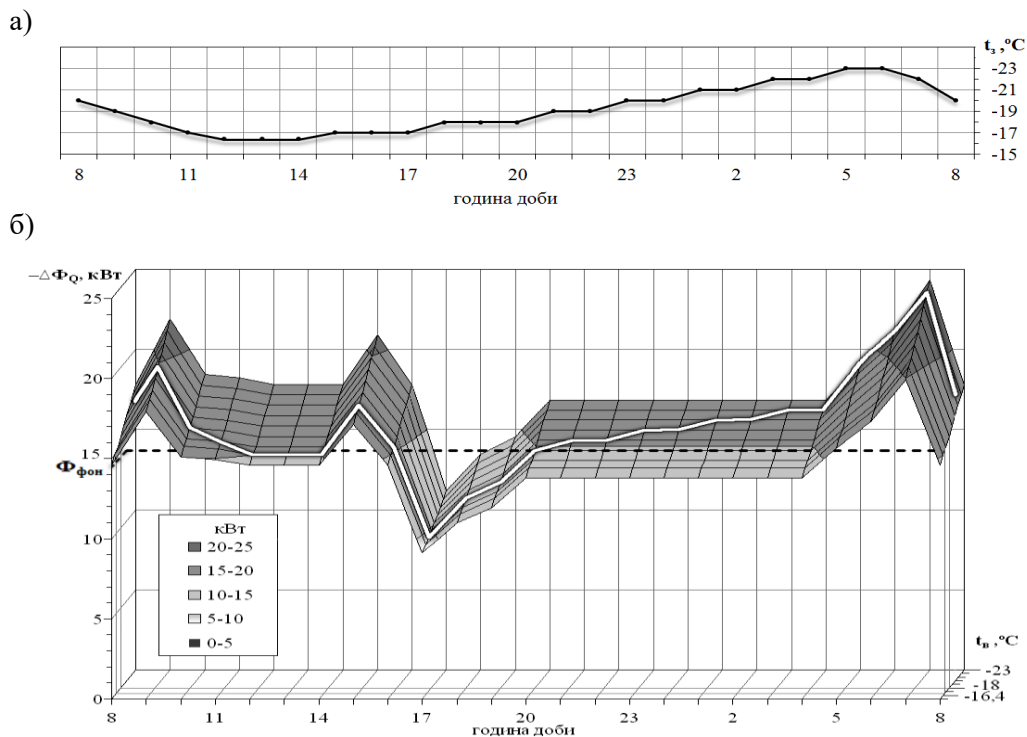


Рис.2. Зміна добового теплового режиму приміщення збірного відділення з урахуванням середньої добової амплітуди зовнішньої температури

Якщо для приміщень збірного і токарного відділень на зміну теплового режиму впливають також нестаціонарні втрати теплоти, то для решти приміщень – стаціонарні балансіві умови. Для приміщення зварювального відділення на відміну від решти в основний час переважають теплонадходження, тобто штучне опалення в цей період відсутнє. За такої відмінності теплового режиму перелічених приміщень забезпечення їх опалення за допомогою тільки основних систем є конструктивно складним і нераціональним. Для підтримання внутрішньої температури необхідно проєктувати незалежних по регулюванню теплового потоку три вітки для обслуговування приміщень 1 і 4, 2, 5 та чергової системи для приміщення 4 (див. табл. 1).

Більш ефективним є застосування комбінованої системи опалення з раціональним встановленням співвідношення між фоновією і догрівачою системами. На підставі техніко-економічного аналізу з урахуванням роботи фоновієї системи при постійному гідравлічному режимі її потужність прийнята на рівні менших величин потужностей в робочий чи неробочий час за стаціонарних умов. У розглянутому випадку можна пропонувати фоновією систему, яка обслуговує приміщення 1, 2, 4 і 5 та окрему черговією систему для приміщення зварювального відділення.



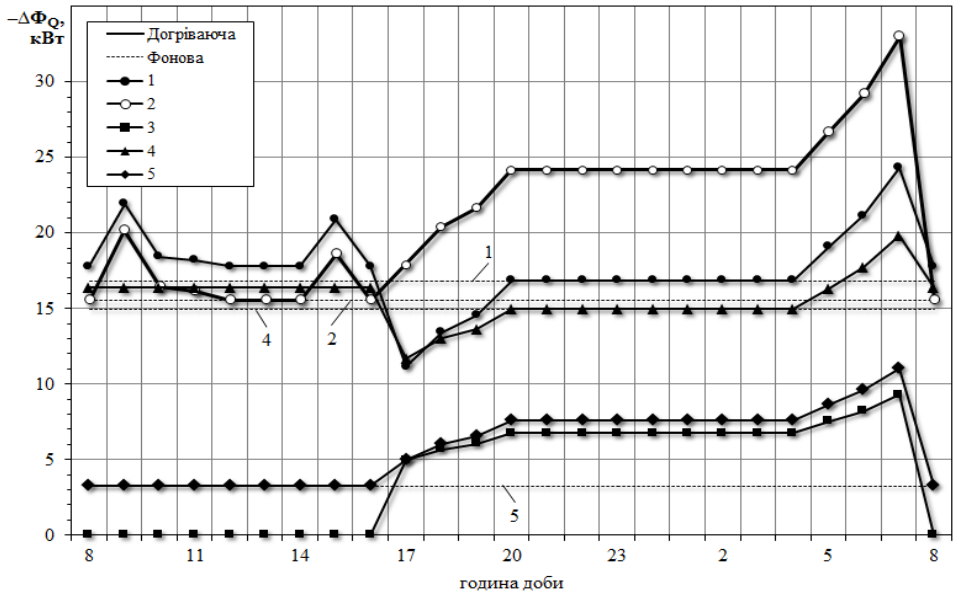


Рис. 3. Зміна добового теплового режиму приміщень

Покриття нестационарних втрат, а також стаціонарних втрат, що перевищують рівень потужності фонові системи в робочий чи неробочий час, забезпечує догрівача система. Фонові та чергова системи проектується з автоматичним регулюванням теплового потоку за погодними умовами, а догрівача системи – з автоматичним регулюванням за усередненою температурою внутрішнього повітря приміщення.

**Висновки.** Для приміщень зі змінним режимом їх використання доцільно, за конструктивної можливості, застосовувати менш масивні конструкції огорожень. За певних умов зміни теплового навантаження на опалення приміщення ефективно застосовувати догрівача систему протягом доби, а не тільки в робочий час. Потужність фонові і догрівача систем рекомендується встановлювати за техніко-економічними розрахунками на підставі добової зміни теплового навантаження з урахуванням стаціонарних і нестационарних втрат та надходжень теплоти.

#### Література

- 1 ДБН В.2.5-67:2014. Опалення, вентиляція та кондиціонування./ Мінрегіонбуд та ЖКГ України.- К.: ДП „Укрархбудінформ” Мінбуду України, 2013.- 141 с.
- 2 ДБН В.2.6-31:2006 із зм. №1 від 1.07.2013р. Теплова ізоляція будівель./ Мінбуд України.- К.: ДП „Укрархбудінформ”, 2006.- 70 с.
- 3 ДСТУ EN 12831:2008 Системи опалення будівель. Метод визначення проектного теплового навантаження.
- 4 Сканава А.Н., Махов Л.М. Отопление. Учебник для вузов по направлению «Строительство». М.: АСВ, 2002. – 576 с.
- 5 Волков О.Д. Проектирование вентиляции промышленного здания. Учебное пособие. Х.: Вища школа, 1989. – 240 с.

## **Отопление производственных помещений с переменным тепловым режимом**

М.П. Сенчук, К.А. Хованский

*Проанализировано изменение теплового режима помещений различного функционального назначения в зависимости от стационарных и нестационарных потерь и поступлений теплоты в течение суток. Проиллюстрировано определение по суточным графикам теплового баланса соотношения мощностей фоновой и догревающей систем отопления помещений. Показана целесообразность применения при определенных условиях теплового режима догревающей системы в рабочее и нерабочее время.*

## **Heating of industrial rooms with varying thermal conditions**

М.Р. Senchuk, К.О. Khovanskyi

*Was analyzed the change of thermal conditions of the premises with different functionality depending on the stationary and non-stationary heat costs and revenues during the day. It is illustrated the heat balance of power's ratio for background heating system and heating system that heats up by daily schedule. Is displayed the utility of usage of the heating system's thermal regime that heats up during working and non-working hours in certain circumstances.*

Надійшла до редакції 11.05.2016 р.