

УДК 620.9.004.18

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ВНУТРІШНЬОЇ ТЕПЛОЄМНОСТІ БУДІВЛІ ЗВО ТА ПОГОДОЗАЛЕЖНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ТЕПЛОВОГО ПУНКТУ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ В ЧЕРГОВОМУ РЕЖИМІ

Є. О. Антипов, кандидат технічних наук, доцент

А. В. Міщенко, кандидат технічних наук, доцент

О. В. Шеліманова, кандидат технічних наук, доцент

С. Є. Тарасенко, кандидат технічних наук, доцент

Національний університет біоресурсів і природокористування України

E-mail: ievgeniy_antypov@ukr.net

Анотація. При оцінці теплового стану будівлі та параметрів мікроклімату приміщень були визначені і враховані основні фактори, що впливають на її теплову інерцію. Здійснено оцінку впливу опору огорожувальних конструкцій на ефективність роботи системи опалення з урахуванням впливу зовнішніх та внутрішніх кліматичних параметрів у динамічному режимі. Показано, що важливим фактором є проміжок часу та глибина регулювання, а також температура зовнішнього повітря. Проведено дослідження та дана оцінка доцільності введення чергового режиму опалення будівель ЗВО. Наведений алгоритм управління процесом відпуску теплоти (особливо при наявності точки «зламу» - середньої (ix) на графіку) додатково підвищує точність рішень вказаних задач та знижує відхилення температур на $4\div 6$ °C порівняно зі звичайною («лінійною») залежністю, що дозволяє більш точно корегувати відпуск теплоносія в систему опалення будівлі при впровадженні чергового режиму. Встановлено, що для досягнення нормованих показників температури повітря та розігріву приміщення у форсованому (після її тривалого перебування у черговому) режимі знадобилося близько 6,5 годин. Показано, що теплоспоживання системою в таких умовах її роботи, порівняно з номінальним режимом, зросло на 25 % (з урахуванням граничного значення питомої надбавки з таблиці Н1 ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування»), але за весь період дії чергового режиму економія склала близько 6-8 % спожитої енергії.

Враховуючи конструктив зовнішніх стін об'єкта дослідження, здійснено коригування температурного графіку системи опалення з урахуванням значення показника внутрішньої теплоємності будівлі при впровадженні режиму чергового опалення, що, за попередньою оцінкою, дозволить: покращити комфортні умови у приміщенні при роботі системи опалення в черговому режимі; скоротити витрати на опалення навчально-адміністративного корпусу НУБіП України на 10-12 % за опалювальний період.

Ключові слова: *мікроклімат, внутрішня теплоємність будівлі, черговий режим, система опалення, тепловтрати*

Актуальність. Скорочення витрат на комунальні платежі на функціонування закладів вищої освіти (ЗВО) для нашої країни є перспективним кроком на шляху до енергозбереження. Найвагомішими серед них є витрати на опалення для забезпечення відповідних параметрів мікроклімату та теплового режиму будівель, який визначається надходженнями або втратами тепла через зовнішні огорожувальні конструкції, роботою опалювально-охолоджувальних і вентиляційних систем, побутовими та технологічними тепловиділеннями, а також теплофізичними властивостями матеріалів будівельних конструкцій.

Розрахункові параметри мікроклімату того чи іншого приміщення визначаються в залежності від його функціонального призначення і санітарно-гігієнічних вимог, які повинні бути витримані протягом опалювального періоду. Тривалість збереження параметрів мікроклімату в приміщеннях будівлі протягом періоду, наприклад аварійного відключення системи опалення чи перехід її роботи в черговий режим (неробочий період ЗВО), визначається часовою константою, яка характеризує внутрішню теплову інерцію (теплоємність) будівлі [1].

На останнє, суттєво впливають теплозахисні властивості огорожувальних конструкцій, розрахункова теплова потужність системи опалення та розрахункові параметри кліматичного регіону (температурної зони) розташування досліджуваного об'єкту. Цікаво, що по мірі покращення теплозахисних характеристик будівель змінюється і характер втрат теплоти за окремими складовими. У таблиці 1 наведені дані, які характеризують якісні зміни втрат теплоти у будівлі, що відбуваються під час утеплення її зовнішніх огорожувальних конструкцій.

Аналіз таблиці свідчить, що зі збільшенням термічного опору теплопередачі огорожувальних конструкцій будівель частка трансмісійних втрат теплоти зменшується, а доля втрат з повітрообміном зростає, оскільки потреба у витратах теплоти на вентиляцію приміщень залишається незмінною (за умови відсутності енергозберігаючих заходів, які впроваджуються в системах вентиляції) та навіть

дещо збільшується за рахунок зменшення частки інфільтраційних втрат. З огляду на зазначене, актуальним залишається питання підвищення ефективності використання енергоресурсів з одночасним збереженням показників комфортності приміщень. Цього результату можна досягти, у тому числі за рахунок застосування оптимального режиму чергового опалення, тобто оптимального управління тепловим режимом будівлі в неробочий період. Режим чергового опалення доцільно застосовувати для об'єктів бюджетної сфери та будівель, що використовуються за графіком, до яких відносяться і будівлі ЗВО.

1. Структура тепловитрат громадських будинків з різним рівнем опору теплопередачі огорожувальних конструкцій

Характеристика будинку	Тепловитрати через елементи будинків у % до загальних тепловитрат				
	непрозорі стіни	прозорі конструкції	дах	цокольне покриття	повітрообмін
Забудова до 1995 р.	39	21	15	8	17
$R_{\text{imp}} \geq 1,6 \text{ м}^2\text{К/Вт}$	27	24	15	8	26
$R_{\text{imp}} \geq 2,1 \text{ м}^2\text{К/Вт}$	23	26	14	7	30
$R_{\text{imp}} \geq 2,5 \text{ м}^2\text{К/Вт}$	19	27	12	6	36
$R_{\text{imp}} \geq 2,8 \text{ м}^2\text{К/Вт}$	18	25	12	6	39
$R_{\text{imp}} \geq 3,3 \text{ м}^2\text{К/Вт}$	17	23	10	5	45

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Проведений аналіз літературних джерел доводить, що питання використання чергового режиму опалення вивчено не достатньо. Проведені дослідження повністю не розкривають всі аспекти використання чергового опалення, а вивчають лише окремі сторони даного питання. Найбільш повно систему чергового опалення описано у статті [2]. Однак, у цій роботі не проводилося експериментальне дослідження теплової інерції приміщення. Результати дослідження впливу теплової інерції приміщення наведено в статті [3], згідно якої нехтування теплоємністю елементів теплової системи призводить до похибки результатів моделювання на рівні близько 10 %. Тому важливим є визначення часу вистигання приміщення після зменшення обсягу подавання теплоти та визначення часу прогрівання кімнати. Авторами робіт [4-8] раніше було проведено ряд досліджень, зокрема щодо аналізу стану

енергоспоживання на об'єктах Національного університету біоресурсів і природокористування України (НУБіП України) протягом останніх років, проведений моніторинг параметрів мікроклімату у приміщеннях навчальних корпусів та в гуртожитках університету. Здійснювались вимірювання профілів температур внутрішнього повітря як на поверхах, так і на фасадах будівель до та після виконання робіт з термомодернізації, які полягали в утепленні зовнішніх огорожувальних конструкцій та модернізації індивідуальних теплових пунктів у окремих корпусах.

Згідно ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування» [9] у холодний період року в громадських, адміністративно-побутових і виробничих приміщеннях опалювальних будівель у період їх невикористання (неробочий час) слід приймати температуру повітря нижче нормованої, але не менше 12 °С, забезпечуючи відновлення нормованої температури до початку використання приміщення або до початку роботи. Тобто можливе зниження температури на 6-10 °С, що є досить суттєвою економією теплової енергії. Тобто, враховуючи вище наведені фактори, можна стверджувати, що регулювання режиму опалення залежить від багатьох чинників, які повинні бути враховані при впровадженні режиму чергового опалення.

Мета дослідження. З метою виявлення причин зростання рівня споживання будівлею одного з корпусів НУБіП України, а також оцінки доцільності впровадження чергового режиму опалення, проведено аналіз ефективності роботи системи опалення з використанням ІТП з можливістю погодозалежного відпуску теплоти та контролером, який через триходовий клапан з електроприводом (М) передбачає погодинну зміну режиму роботи системи (рис. 1).

Принцип пропонованого алгоритму роботи такий: у період відсутності людей у приміщенні температура подавального теплоносія (T_{11}) зменшується до величини, що забезпечить зниження температури повітря в приміщенні не нижче 12 °С. У цей час надходження теплової енергії в приміщення зменшується з урахуванням температури зовнішнього повітря (T_z). Початок розігріву приміщення відбувається

за декілька годин до початку робочого дня шляхом збільшення обсягу подачі теплоносія у форсованому режимі (швидкого збільшення відпуску тепла).

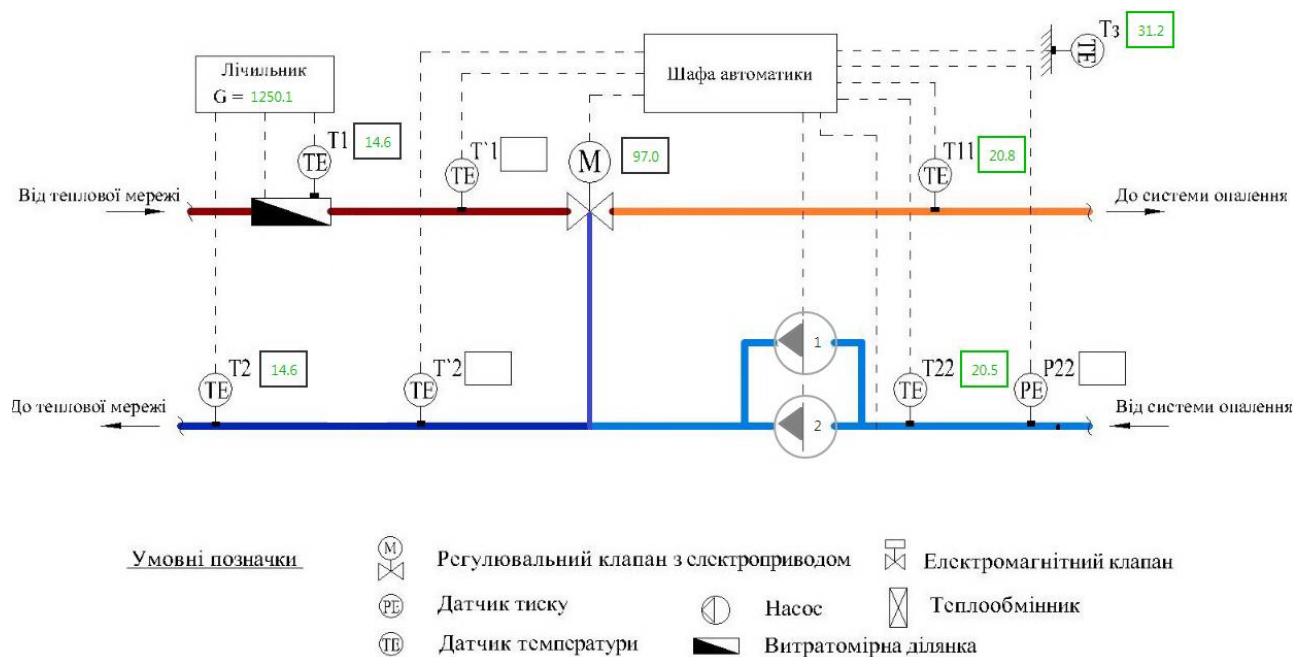


Рис. 1. Мнемосхема ІТП

Визначення основних параметрів регулювання (глибини зниження температури теплоносія, динаміки процесів зміни температури повітря у приміщенні), пов'язаних з одночасною зміною температури повітря навколишнього середовища і є тією задачею, яка потребує розв'язання з урахуванням динаміки процесу теплозабезпечення.

Матеріали і методи дослідження. Об'єктом дослідження є адміністративно-навчальний корпус Національного університету біоресурсів і природокористування України.

Зовнішні стіни цегляні, товщиною 510-640 мм, утеплені мінеральною ватою, товщиною 100 мм. Зовні опоряджені штукатуркою та декоративною рельєфною ліпниною. Під всією площею будівлі знаходиться цокольний поверх. Покрівля – двоскатна, горище – неопалувальне, утеплене. Вікна – металопластикові з двокамерним склопакетом та газовим заповненням та енергозберігаючим покриттям. Двері – дерев'яні та металеві утеплені глухі.

Будівлю підключено до центральної системи теплопостачання за залежною схемою від центрального теплового пункту, де встановлено ІТП з регулюванням теплоносія в залежності від погодних умов без приготування води на потреби ГВП. Внутрішньобудинкова система опалення - двотрубна. Нагрівальні прилади - радіатори сталеві панельні з термостатичними головками. Тепловідбиваючі екрани відсутні. Сходові клітки опалювальні. Наявні два теплотічильники на кожне «крило» системи опалення будівлі. Лічильники на комерційному обліку. Система вентиляції – з механічним (витяжна) та природним спонуканням.

Графік перебування персоналу та студентів – постійно в робочі дні, крім вихідних та святкових днів.

Експериментальні дослідження проводилися протягом 5 діб, включаючи вихідні дні. Вимірювання проведено за допомогою дача логерів температури та вологості повітря – Trotec BL30. Точність вимірювання (при температурі оточуючого середовища 20 °C) $\pm 2\%$, але не менше: $\pm 2^{\circ}\text{C}$ у діапазоні - 1...50 °C, $\pm 3^{\circ}\text{C}$ у діапазоні -18...-1 °C.

Встановлено, що температура зовнішнього середовища суттєво впливає на тепловий режим кімнати. Так, при температурі повітря ззовні 0...5 °C температура нагрівального приладу складала 32 °C, при температурі повітря зовнішньому середовищі -5...0 °C радіатор нагрівався до 35 °C, а при температурі -8...-15 °C температура приладу становила 38...40 °C. При зміні вказаних параметрів температура повітря в приміщеннях коливалась у межах $\pm 2^{\circ}\text{C}$.

Робота системи у черговому режимі. Експериментально підтверджено, що важливим фактором при впровадженні чергового режиму опалення є проміжок часу та глибина регулювання. Середнє зниження температури теплоносія за період вимірювань (з 18-00 до 4-00) становило 8-10 °C при температурі зовнішнього повітря -3 °C. При цьому температура повітря в приміщенні суттєво не змінювалася, а залишалася на рівні більше 16 °C при дозволених 12 °C. Значно інші значення отримано при роботі системи опалення в черговому режимі у вихідні дні. Так, при переході в роботу з 18-00 вечора п'ятниці до 23-59 неділі, температура у приміщеннях будівлі опустилась до нормованих 12 °C. При цьому, для досягнення

нормованих показників температури повітря та розігріву приміщення у форсованому режимі знадобилось близько 6,5 годин. Теплоспоживання системою в таких умовах її роботи, порівняно з номінальним режимом, зросло на 25 % (з урахуванням граничного значення питомої надбавки з таблиці Н1 ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування»), але за весь період дії чергового режиму економія склала близько 6-8 % спожитої енергії.

2. Аналіз ефективності роботи системи опалення з використанням ІТН. Порівняння фактичного споживання теплової енергії з розрахунковим приведеним до фактичної кількості градусо-днів за листопад місяць 2018 року та внутрішньої температури у приміщеннях будівлі

Показники	Листопад 2018																														Всього за період (середнє)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Фактичне споживання теплової енергії за період, Гкал	0,377	0,376	0,144	0,143	0,373	0,409	0,439	0,473	0,447	0,222	0,342	0,617	0,649	0,369	0,382	0,629	0,464	0,491	0,679	0,729	0,596	0,602	0,622	0,494	0,519	0,564	0,577	0,628	0,654	0,667	14,676
Фактична зовнішня температура, °С	11,50	10,50	10,10	11,40	10,50	8,10	8,00	8,30	8,50	8,50	5,40	5,90	2,60	3,30	6,30	1,60	0,00	2,00	1,80	0,80	2,00	1,75	1,00	2,00	1,00	3,00	2,50	0,50	0,00	-0,50	(4,61)
За даними гідрометцентру (ГМЦ), °С	10,20	9,00	8,60	9,30	8,90	6,70	5,70	4,40	4,50	4,50	1,70	2,00	0,00	1,90	3,20	-0,90	-2,40	-1,50	-1,20	-0,50	-1,25	-1,50	-2,25	-1,25	-2,25	0,00	-0,50	-2,50	-3,50	-4,00	(1,84)
Нормована внутрішня температура, °С	20,00	20,00	16,00	16,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	16,00	16,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	16,00	16,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	16,00	16,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	(18,93)
Розрахункове споживання (нормативна температура-дані ГМЦ), Гкал	0,303	0,333	0,241	0,223	0,336	0,392	0,418	0,451	0,449	0,346	0,418	0,513	0,564	0,515	0,482	0,587	0,523	0,500	0,595	0,577	0,596	0,602	0,622	0,494	0,519	0,564	0,577	0,628	0,654	0,667	14,687
Розрахункове споживання (фактична внутрішня температура-дані ГМЦ), Гкал	0,251	0,282	0,241	0,223	0,285	0,341	0,367	0,400	0,397	0,346	0,418	0,461	0,513	0,490	0,456	0,587	0,523	0,500	0,543	0,526	0,596	0,602	0,622	0,494	0,519	0,564	0,577	0,628	0,654	0,667	14,072
Розрахункове споживання (фактична внутрішня-фактична зовнішня тем-ри), Гкал	0,218	0,244	0,203	0,169	0,244	0,305	0,308	0,300	0,295	0,244	0,323	0,361	0,446	0,454	0,377	0,523	0,461	0,410	0,467	0,492	0,513	0,519	0,538	0,410	0,436	0,487	0,500	0,551	0,564	0,577	11,938
Відхилення по внутрішнім температурам, °С	-2,00	-2,00	0,00	0,00	-2,00	-2,00	-2,00	-2,00	-2,00	0,00	0,00	-2,00	-2,00	-1,00	-1,00	0,00	0,00	0,00	-2,00	-2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,8
Перевищення споживання, Гкал	0,074	0,043	-0,097	-0,080	0,037	0,017	0,021	0,022	-0,002	-0,124	-0,076	0,104	0,085	-0,146	-0,100	0,042	-0,059	-0,009	0,084	0,152	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,011

Порівняння фактичного споживання теплової енергії з розрахунковим приведеним до фактичної кількості градусо-днів за листопад місяць 2018 року та внутрішньої температури у приміщеннях будівлі (табл. 2) показало рівень середнього відхилення показників фактичних температур у приміщеннях будівлі ($-0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$) від прийнятих значень ($16\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$) та, як наслідок, зниження рівня фактичного споживання теплової енергії від розрахункового значення приведенного до фактичної кількості градусо-днів на $-0,011\text{ Гкал}$.

Наведений алгоритм керування процесом відпуску теплоти (особливо при наявності точки «зламу» - середньої(їх) на графіку) додатково підвищує точність рішень вказаних задач та знижує відхилення температур на $4\div 6\text{ }^{\circ}\text{C}$ (див. рис. 2) в порівнянні зі звичайною («лінійною») залежністю (характерно для будівель колонки «А» у таблиці 3). Зазначене дозволяє більш точно корегувати відпуск теплоносія в систему опалення будівлі при впровадженні чергового режиму.

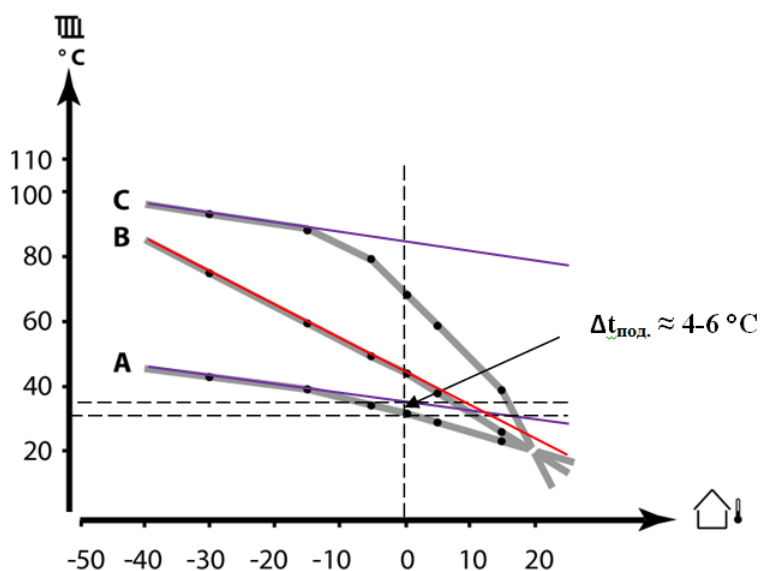


Рис. 2. Температурний графік роботи системи опалення будівлі залежно від показника її внутрішньої теплоємності

Враховуючи конструктив зовнішніх стін об'єкта дослідження, коригування температурного графіку системи опалення з урахуванням значення показника внутрішньої теплоємності будівлі, при впровадженні режиму чергового опалення, за попередньою оцінкою, дозволить покращити комфортні умови у приміщенні при

роботі системи опалення в черговому режимі; скоротити витрати на опалення навчально-адміністративного корпусу НУБіП України на 10-12 % за опалювальний період.

3. Числові значення температур теплоносія у подавальному трубопроводі системи опалення будівлі залежно від показника її внутрішньої теплоємності

$t_{\text{зовн}}, ^\circ\text{C}$	Температура подачі, $t_{\text{под}}, ^\circ\text{C}$		
	А	В	С
-30 °C	45 °C	75 °C	95 °C
-15 °C	40 °C	60 °C	90 °C
-5 °C	35 °C	50 °C	80 °C
0 °C	32 °C	45 °C	70 °C
5 °C	30 °C	40 °C	60 °C
15 °C	25 °C	28 °C	35 °C

* Колонка «А» таблиці відповідає особливо капітальним будівлям з кам'яними або цегляними стінами (товщиною в 2,5 - 3,5 цеглини), із залізобетонним чи металевим каркасом, із залізобетонним перекриттям та шаром мінераловатного утеплювача на стінах; колонка «В» - капітальним будівлям з цегляними стінами товщиною (1,5-2 цеглини) без утеплювача, із залізобетонними перекриттями; колонка «С» - будівлям великопанельним, великоблочним, з цегляними стінами в одну цеглину без утеплювача, із залізобетонними чи деревними перекриттями [1].

Робота системи в номінальному режимі. Порівняння фактичного споживання теплової енергії з розрахунковим приведеним до фактичної кількості градусо-діб за березень місяць 2019 року (табл. 4) та внутрішньої температури у приміщеннях будівлі показало, що при незначному (+1,3 °C) рівні відхилення показників фактичних температур у приміщеннях будівлі від нормованих значень (18 ± 2 °C), було зафіксовано перевищення рівня фактичного споживання теплової енергії від розрахункового значення приведенного до фактичної кількості градусо-діб на 3,73 Гкал. Однією з причин якого вбачається виявлена під час проведення досліджень різниця між показами датчика температури зовнішнього повітря ($\approx +3$ °C) та значеннями реальних температур експлуатації, яка спричинена неправильним вибором місця розміщення датчика (з північно-західної сторони на зовнішній стіні будівлі у місці постійної дії протягів).

Крім того, відсутність тепловідбиваючого екрану між зовнішньою стіною будівлі та стінкою радіатора опалення дещо впливає як на температурний режим у приміщенні (у середньому на 0,5-1,0 °С), так і на загальну ефективність системи тепловіддачі у цілому.

4. Аналіз ефективності роботи системи опалення з використанням ІТП. Порівняння фактичного споживання теплової енергії з розрахунковим приведеним до фактичної кількості градусо-днів за березень місяць 2019 року та внутрішньої температури у приміщеннях будівлі

Показники	Березень 2019																														Всього за період (середнє)	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		31
Фактичне споживання теплової енергії за період, Гкал	1,236	1,256	0,932	0,900	0,769	0,640	0,475	0,329	0,326	0,356	0,369	0,572	0,574	0,661	0,596	0,698	0,728	0,932	0,924	0,951	0,888	0,820	0,884	0,459	0,427	0,701	0,626	0,592	0,635	0,563	0,686	21,505
Фактична зовнішня температура, °С	-10,00	-7,40	-6,00	-5,60	-1,30	0,00	2,60	4,70	4,60	6,90	6,60	4,80	4,40	3,50	5,20	1,60	-2,80	-4,90	0,10	-2,10	2,10	2,30	0,70	3,20	4,40	3,00	5,00	3,90	3,20	4,90	9,10	(1,51)
За даними гідрометцентру (ГМЦ), °С	-13,30	-12,10	-9,40	-8,60	-5,60	-2,70	0,50	2,30	2,50	3,50	2,80	2,90	2,90	1,30	3,00	-0,90	-5,60	-8,10	-5,60	-5,50	-2,70	-1,90	-2,90	-1,00	0,70	1,10	2,80	0,90	0,60	3,40	7,40	(-1,53)
Нормована внутрішня температура, °С	20,00	20,00	16,00	16,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	16,00	16,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	16,00	16,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	16,00	16,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	16,00	(18,84)
Розрахункове споживання (нормативна температура-дані ГМЦ), Гкал	0,905	0,874	0,702	0,682	0,708	0,633	0,551	0,505	0,500	0,372	0,390	0,490	0,490	0,531	0,487	0,587	0,605	0,669	0,708	0,705	0,633	0,613	0,638	0,487	0,444	0,536	0,492	0,541	0,549	0,477	0,272	17,774
Розрахункове споживання (фактична внутрішня температура-дані ГМЦ), Гкал	0,905	0,874	0,779	0,759	0,708	0,633	0,551	0,454	0,449	0,423	0,441	0,490	0,413	0,479	0,436	0,536	0,631	0,695	0,656	0,705	0,633	0,613	0,638	0,564	0,520	0,536	0,492	0,490	0,497	0,451	0,349	17,799
Розрахункове споживання (фактична внутрішня-фактична зовнішня тем-ри), Гкал	0,820	0,754	0,692	0,682	0,597	0,564	0,497	0,392	0,395	0,336	0,344	0,441	0,374	0,423	0,379	0,472	0,559	0,613	0,510	0,618	0,510	0,505	0,546	0,456	0,426	0,487	0,436	0,413	0,431	0,413	0,305	15,390
Відхилення по внутрішнім температурам, °С	0,00	0,00	3,00	3,00	0,00	0,00	0,00	-2,00	-2,00	2,00	2,00	0,00	-3,00	-2,00	-2,00	-2,00	1,00	1,00	-2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00	3,00	0,00	0,00	-2,00	-2,00	-1,00	3,00	1,3
Перевищення споживання, Гкал	0,331	0,382	0,230	0,218	0,061	0,007	-0,076	-0,176	-0,174	-0,016	-0,021	0,082	0,084	0,130	0,109	0,111	0,123	0,263	0,216	0,246	0,255	0,207	0,246	-0,028	-0,017	0,165	0,134	0,051	0,086	0,086	0,414	3,731

Результати досліджень та їх обговорення. Аналіз даних щодо порівняння фактичних та нормативних градусо-днів з урахуванням фактичної кількості днів опалювального періоду (табл. 5) в умовах роботи системи опалення будівлі у

номінальному режимі показав недотримання їх фактичної кількості за весь опалювальний період 2018/2019 рр. на 7,4 %. Приведення розрахункового споживання теплової енергії до фактичної кількості градусо-днів опалювального періоду показало його зниження на той же відсоток. Порівняння фактичного споживання теплової енергії з розрахунковим приведеним до фактичної кількості градусо-днів опалювального періоду свідчить про його перевищення на 4,4 % за аналогічний період. Разом з тим, порівняння фактичного споживання теплової енергії з розрахунковим приведеним до фактичної кількості градусо-днів опалювального періоду та внутрішньої температури у приміщеннях будівлі свідчить про його перевищення на 16,5 % за той же період, що вказує на ймовірні відхилення (у бік збільшення) у дотриманні значень середньої фактичної температури у приміщеннях об'єкту встановленим санітарним нормам.

З огляду на зазначене, основною причиною відхилень вважається перевищення фактичних температур внутрішнього повітря у приміщеннях об'єкту у перехідний етап опалювального періоду від прийнятого при розрахунках значення. Пропонується змінити прийнятий температурний графік відпуску теплоти (криву першого зламу температур) у бік зниження його початкового положення, що дозволить зменшити рівень споживання ресурсів у перехідний етап (весна-осінь) опалювального періоду.

З метою підвищення ефективності роботи системи опалення додатково пропонується:

1. Налаштувати роботу контролера ІТП для забезпечення зміни (зменшення на 6-8 °С) температурного режиму роботи системи в неробочі (нічні) години та вихідні і святкові дні.

5. Порівняння фактичних та нормативних градусо-днів з урахуванням фактичної кількості днів періоду опалення

№ п/п	Назва установи закладу)/назва будівлі	Фактична кількість градусодіб														Всього за період, градус одіб	Співві д- ношен ня, %
		Нормативна кількість градусодіб															
		2018							2019								
		жовтень		листопад		грудень			січень		лютий		березень		квітень		
1	Навчальний корпус №3 НУБіП України	261,44	94,2%	551,70	90,6 %	624,65	81,3 %	750,51	89,3 %	728,84	100,1 %	729,43	108,9 %	108,90	77,2%	3755,47	93,1%
		277,40		609,00		768,80		840,10		728,00		669,60		141,00		4033,90	

6. Приведення розрахункового споживання теплової енергії до фактичної кількості градусодіб періоду опалення

№ п/п	Назва установи (закладу)/назва будівлі	Розрахункове споживання теплової енергії, Гкал														Всього за період, градус одіб	Співв ід- ноше ння, %
		Приведене споживання теплової енергії, Гкал															
		2018						2019									
		жовтень		листопа д		грудень		січень		лютий		березень		квітень			
1	Навчальний корпус №3 НУБіП України	7,18		15,77		19,91		21,76		18,85		17,34		3,65		104,47	107,4 %
		6,77	106,2 %	14,29	10,4 %	16,19	123,0 %	19,43	112,0 %	18,87	99,9 %	18,88	91,8 %	2,82	129,5 %	97,25	

7. Аналіз фактичного споживання теплової енергії за опалювальний період 2018/2019 рр.

№ з/ п	Назва установи (закладу) / назва будівлі	Теплова енергія, Гкал							Всьог о за період , Гкал	Питоме теплоспоживанн я, кВт*год/м³
		2018			2019					
		жовтен ь	листопа д	груден ь	січен ь	люти й	березен ь	квітен ь		
1	Навчальни й корпус №3 НУБіП України	0,00	14,68	14,53	16,52	22,97	21,51	15,18	101,53	32,38

8. Фактичне споживання теплової енергії до розрахункового приведення до фактичної кількості градусодіб

№ з/п	Назва установи (закладу)/ назва будівлі	Фактичне споживання теплової енергії, Гкал														Всього за періо д, Гкал	Співв ід- ноше ння, %
		Розрахункове приведення споживання теплової енергії, Гкал															
		2018							2019								
		жовтень		листопад		грудень		січень		лютий		березень		квітень			
1	Навчальний корпус НУБіП України	0,00	0,0%	14,68	102,7 %	14,53	89,8 %	16,52	85,0 %	22,97	121,7 %	21,51	113,9 %	15,18	538,5 %	101,53	104,4 %
		6,77		14,29		16,19		19,43		18,87		18,88		2,82		97,25	

9. Порівняння фактичного споживання теплової енергії з розрахунковим приведеним до фактичної кількості градусодіб періоду опалення та внутрішньої температури у приміщеннях будівлі

№ з/п	Назва установи (закладу)/ назва будівлі	Фактичне споживання теплової енергії, Гкал														Всьог о за періо д, Гкал	Співв ід- ноше ння, %
		Розрахункове приведенне споживання теплової енергії, Гкал															
		2018							2019								
		жовтень		листопад		грудень		січень		лютий		березень		квітень			
1	Навчальний корпус НУБіП України	0,00	0,0%	14,68	120,2 %	14,53	105,2 %	16,52	92,3 %	22,97	128,5 %	21,51	119,6 %	15,18	698,7 %	101,53	116,5 %
		5,22		12,21		13,82		17,91		17,87		17,98		2,17		87,17	

2. Для усунення різниці між показами датчика температури зовнішнього повітря ($\approx +3\text{ }^{\circ}\text{C}$) та значеннями реальних температур експлуатації захистити його від дії прямого або відбитого сонячного випромінювання/протягів, здійснити його калібрування.

3. Встановити тепловідбиваючий екран між зовнішньою стіною будівлі та стінкою радіатора опалення, що підвищить як коефіцієнт корисної тепловіддачі останнього, так і температурний режим у приміщенні на $0,5\text{--}1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Висновки і перспективи. При оцінці теплового стану будівлі та параметрів мікроклімату приміщень були визначені і враховані основні фактори, що впливають на її теплову інерцію. Показано, що важливим фактором є проміжок часу та глибина регулювання, а також температура зовнішнього повітря. Проведено дослідження та дана оцінка доцільності введення чергового режиму опалення будівель ЗВО. Зокрема, отримано таке:

1. Встановлено, що температура зовнішнього середовища суттєво впливає на тепловий режим кімнати. Так, при температурі повітря ззовні $0\text{--}5\text{ }^{\circ}\text{C}$ температура нагрівального приладу складала $32\text{ }^{\circ}\text{C}$, при температурі повітря зовнішньому середовищі $-5\text{--}0\text{ }^{\circ}\text{C}$ радіатор нагрівався до $35\text{ }^{\circ}\text{C}$, а при температурі $-8\text{--}15\text{ }^{\circ}\text{C}$ температура приладу становила $38\text{--}40\text{ }^{\circ}\text{C}$. При зміні вказаних параметрів температура повітря в приміщеннях коливалась у межах $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

2. Середнє зниження температури теплоносія за період вимірювання (з 18-00 до 4-00) становило $8\text{--}10\text{ }^{\circ}\text{C}$ при температурі зовнішнього повітря $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$. При цьому температура повітря в приміщенні суттєво не змінювалася, а залишалася на рівні більше $16\text{ }^{\circ}\text{C}$ при дозованих $12\text{ }^{\circ}\text{C}$. Значно інші значення отримано при роботі системи опалення в черговому режимі у вихідні дні. Так, при переході в роботу з 18-00 вечора п'ятниці до 23-59 неділі, температура у приміщеннях будівлі опустилась до нормованих $12\text{ }^{\circ}\text{C}$.

3. Для досягнення нормованих показників температури повітря та розігріву приміщення у форсованому режимі знадобилось близько 6,5 годин. Теплоспоживання системою в таких умовах її роботи, порівняно з номінальним режимом, зросло на 25 % (з урахуванням граничного значення питомої надбавки з

таблиці Н1 ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування») але за весь період дії чергового режиму економія склала близько 6-8% спожитої енергії.

4. Наведений алгоритм керування процесом відпуску теплоти (особливо при наявності точки «зламу» - середньої (ix) на графіку) додатково підвищує точність рішень вказаних задач та знижує відхилення температур на $4\div 6$ °С порівняно зі звичайною («лінійною») залежністю, що дозволяє більш точно корегувати відпуск теплоносія в систему опалення будівлі при впровадженні чергового режиму.

Враховуючи конструктив зовнішніх стін об'єкта дослідження, коригування температурного графіку системи опалення з урахуванням значення показника внутрішньої теплоємності будівлі при впровадженні режиму чергового опалення, за попередньою оцінкою, дозволить: покращити комфортні умови у приміщенні при роботі системи опалення в черговому режимі; скоротити витрати на опалення навчально-адміністративного корпусу НУБіП України на 10-12 % за опалювальний період.

Список використаних джерел

1. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні: ДСТУ Б А.2.2-12:2015. [Чинний від 2016-01-01]. К.:Держстандарт України, 2015. 140 с.
2. Ахметов Э. Р. Анализ модели работы дежурного отопления как энергосберегающего мероприятия. Энергобезопасность и энергосбережение. 2014. № 5. С. 25-29.
3. Бойко В. С., Сотник М. І., Хованський С. О. Перехідний процес у електричному колі як аналог теплообміну та теплової інерції приміщення. Електромеханічні і енергозберігаючі системи. 2016. № 3/2016 (35). С. 10-16.
4. Радько І. П., Лут М. Т., Наливайко В. А., Окушко О. В. Розробка проекту теплового пункту навчального корпусу НУБіП України. Енергетика та автоматика. 2018. № 1. С. 86–94.
5. Радько І. П., Наливайко В. А., Окушко О. В., Міщенко А. В., Антипов Є. О. Підвищення заходів з енергоефективності та енергозбереження у вищих навчальних закладах. Науковий вісник НУБіП України. 2018. Вип. 283. С. 275 – 280.
6. Міщенко, А. В., Шеліманова О. В., Антипов Є. О. Аналіз теплового комфорту у приміщеннях навчального корпусу №8 НУБіП України після термомодернізації будівлі. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія «Техніка та енергетика АПК». 2014. Вип. 194, ч. 1. С. 119–123.

7. Радько І. П., Наливайко В. А., Окушко О. В., Міщенко А. В., Антипов Є. О. Методика та обладнання для проведення енергетичного аудиту. Енергетика та автоматика. 2018. № 1. С. 123–134.
8. Козирський В. В., Берека О. М., Шеліманова О. В., Антипов Є. О. Результати спрощеного енергоаудиту об'єктів НУБіП України. Енергетика і автоматика. 2012. № 1 (11). С. 55–63.
9. Опалення, вентиляція та кондиціонування: ДБН В.2.5-67. [Чинний від 2014-01-01]. К.: Держстандарт України, 2013. 147 с.

References

1. Enerhetychna efektyvnist budivel. Metod rozrakhunku enerhospozhyvannia pry opalenni, okholodzhenni, ventyliatsii, osvittleni ta hariachomu vodopostachanni: DSTU B A.2.2-12:2015. (2015). [Energy efficiency of buildings. Method of calculating energy consumption for heating, cooling, ventilation, lighting and hot water supply: DSTU B A.2.2-12: 2015]. Kyiv: Derzhstandart Ukrainy, 140.
2. Akhmetov, E. R. (2014). Analiz modeli raboty dezhurnogo otopleniya kak energosberegayushchego meropriyatiya [Analysis of the model of duty heating as an energy-saving measure]. Energy safety and energy saving, 5, 25-29.
3. Boyko, V. S. Sotnyk, M. I., Khovanskyi, S. O. (2016). Perekhidnyi protses u elektrychnomu koli yak analoh teploobminu ta teplovoi inertsii prymishchennia. [Transient process in the electric circuit as an analogue of heat transfer and thermal inertia of the room]. Electromechanical and energy saving systems, 3/2016 (35), 10-16.
4. Radko, I. P., Lut, M. T., Nalyvaiko, V. A., Okushko, O. V. (2018). Rozrobka proektu teplovoho punktu navchal'nogo korpusu NUBiP Ukrainy [Design of a heat point for the main building of NULES Of Ukraine]. Power engineering and automation, 1, 86 – 94.
5. Radko, I. P., Nalyvaiko, V. A., Okushko, O. V., Mishchenko, A. V., Antypov, Ye. O. (2018). Pidvyshchennia zakhodiv z enerhoefektyvnosti ta enerhozberezhennia u vyshchykh navchalnykh zakladakh [Enhancing energy efficiency and energy efficiency measures at higher education institutions]. Scientific herald of the NULES of Ukraine, 283, 275 – 280.
6. Mishchenko, A. V., Shelimanova, O. V., Antypov, I. O. (2014). Analiz teplovoho komfortu u prymishchennyakh navchal'nogo korpusu №8 NUBiP Ukrayiny pislya termomodernizatsiyi budivli [Analysis of thermal comfort in premises of educational building number 8 of NULES of Ukraine after thermo-modernization of the building]. Scientific herald of the NULES of Ukraine, 194 (1), 119–123.
7. Radko, I. P., Nalyvaiko V. A., Okushko, O. V., Mishchenko, A. V., Antypov, Ye. O. (2018). Metodyka ta obladnannya dlya provedennya enerhetychnoho audytu [Methods and equipment for energy audit]. Energy and automation, 1, 123–134.
8. Kozyrsky, V. V., Nalyvaiko, V. A., Okushko, O. V., Mishchenko, A. V., Antypov, Ye. O. (2012). Rezul'taty sproshchenoho enerhoaudytu ob'yektiv NUBiP Ukrayiny [Results of simplified energy audit of NULES of Ukraine]. Power engineering and automation, 1 (11), 55–63.

9. Heating, ventilation and air conditioning: DBN B.2.5-67 (2013). Kyiv: Derzhstandart Ukrainy, 147.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ВНУТРЕННЕЙ ТЕПЛОЕМОСТИ ЗДАНИЯ ВУЗа И ПОГОДОЗАВИСИМОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ТЕПЛОВОГО ПУНКТА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ В ДЕЖУРНОМ РЕЖИМЕ

Е. А. Антипов, А. В. Мищенко, Е. В. Шелиманова, С. Е. Тарасенко

Аннотация. При оценке теплового состояния здания и параметров микроклимата помещений были определены и учтены основные факторы, влияющие на его тепловую инерцию. Проведена оценка влияния сопротивления ограждающих конструкций на эффективность работы системы отопления с учетом влияния внешних и внутренних климатических параметров в динамическом режиме. Показано, что важным фактором являются промежуток времени и глубина регулировки, а также температура наружного воздуха. Проведены исследования и дана оценка целесообразности введения дежурного режима отопления зданий ВУЗов. Приведенный алгоритм управления процессом отпуска теплоты (особенно при наличии точки «взлома» – средней (их) на графике) дополнительно повышает точность решений указанных задач и снижает отклонение температур на $4\div 6$ °С по сравнению с обычной («линейной») зависимостью, что позволяет более точно корректировать отпуск теплоносителя в систему отопления строения при внедрении дежурного режима. Установлено, что для достижения нормированных показателей температуры воздуха и разогрева помещения в форсированном (после длительного пребывания в дежурном) режиме понадобилось около 6,5 часов. Показано, что теплопотребление системой в таких условиях ее работы по сравнению с номинальным режимом выросло на 25 % (с учетом предельного значения удельной надбавки из таблицы Н1 ДБН В.2.5-67:2013 «Отопление, вентиляция и кондиционирование»), но за весь период действия дежурного режима экономия составила около 6-8 % потребленной энергии.

Учитывая конструктив наружных стен объекта исследования, осуществлена корректировка температурного графика системы отопления с учетом значения показателя внутренней теплоемкости здания при внедрении режима дежурного отопления, что, по предварительной оценке, позволит улучшить комфортные условия в помещении при работе системы отопления в дежурном режиме; сократить расходы на отопление учебно-административного корпуса НУБіП Украины на 10-12 % за отопительный период.

Ключевые слова: микроклимат, внутренняя теплоемкость здания, дежурный режим, система отопления, теплопотери

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE INTERNAL HEAT CAPACITY OF THE UNIVERSITY BUILDING AND WEATHER-DEPENDENT REGULATION OF ITP ON THE EFFICIENCY OF THE HEATING SYSTEM IN STANDBY MODE

I. Antypov, A. Mishchenko, O. Shelimanova, S. Tarasenko

Abstract. *When assessing the thermal condition of the building and the parameters of the microclimate of the premises, the main factors influencing its thermal inertia were identified and taken into account. An assessment of the influence of the resistance of enclosing structures on the efficiency of the heating system, taking into account the influence of external and internal climatic parameters in the dynamic mode. It is shown that the time factor and depth of regulation, as well as the outdoor air temperature are important factors. Researches are carried out and the expediency of introduction of a duty mode of heating of buildings of HIGH SCHOOLS is estimated. The given algorithm of control of process of heat release (especially in the presence of a point of "breaking" - average (them) on the schedule) in addition increases accuracy of the decisions of the specified problems and reduces a temperature deviation by $4 \div 6^{\circ} \text{C}$ in comparison with usual ("linear") dependence that allows to correct more precisely release of the heat carrier in system of heating of a structure at introduction of a standby mode. It was found that it took about 6.5 hours to achieve normalized air temperature and space heating in the forced (after a long stay on duty). It is shown that the heat consumption of the system in such conditions of its operation compared to the nominal mode increased by 25 % (taking into account the limit value of the specific allowance from table H1 DBN B.2.5-67: 2013 "Heating, ventilation and air conditioning"), but for the entire period the action of the standby mode savings amounted to about 6-8% of energy consumed.*

Taking into account the design of the outer walls of the object of study, the temperature graph of the heating system was adjusted taking into account the value of the internal heat capacity of the building when implementing on-duty heating, which, according to preliminary estimates, will: improve comfort in the room; to reduce heating costs of the educational and administrative building of NULES of Ukraine by 10-12 % for the heating period.

Key words: *microclimate, internal heat capacity of a building, standby mode, heating system, heat loss*