

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ ТЕХНІЧНОЇ ТЕПЛОФІЗИКИ

**ЛИСЕНКО ОКСАНА МИКОЛАЇВНА**

УДК 628.81

**ЕФЕКТИВНІСТЬ УПРАВЛІННЯ ТЕПЛОСПОЖИВАННЯМ  
АДМІНІСТРАТИВНОЇ БУДІВЛІ ПРИ ВИКОРИСТАННІ  
ІНДИВІДУАЛЬНОГО ТЕПЛООВОГО ПУНКТУ**

05.14.06 – Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Київ – 2015

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Інституті технічної теплофізики Національної академії наук України.

**Науковий керівник:**

доктор технічних наук, професор,  
член-кореспондент НАН України,  
**Басок Борис Іванович**,  
Інститут технічної теплофізики  
Національної академії наук України,  
завідувач відділу теплофізичних основ  
енергоощадних технологій.

**Офіційні опоненти:**

доктор технічних наук, професор,  
**Василенко Сергій Михайлович**,  
Національний університет харчових технологій  
Міністерства освіти і науки України,  
завідувач кафедри теплоенергетики та  
холодильної техніки.

доктор технічних наук, професор,  
**Приймак Олександр Вікторович**,  
Київський національний університет  
будівництва і архітектури  
Міністерства освіти і науки України,  
завідувач кафедри теплотехніки.

Захист відбудеться " 08 " грудня 2015 р. о 13:00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.224.01 Інституту технічної теплофізики НАН України за адресою: 03057, м. Київ-57, вул. Желябова, 2а.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Інституту технічної теплофізики НАН України за адресою: 03057, Київ-57, вул. Желябова, 2а.

Автореферат розісланий " 03 " листопада 2015 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради,  
кандидат технічних наук



О.І. Чайка



## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Головною проблемою житлово-комунального господарства є значні витрати і втрати теплоти. Навіть незначне зменшення витрати теплоти за рахунок її ефективного використання дає можливість економити паливо і зменшувати забруднення атмосфери продуктами згорання. Більшість споживачів теплоту отримують централізовано з теплових мереж, а для її розподілу застосовують ЦТП. При будинковому регулюванні використовують теплові пункти, оснащені відповідним обладнанням, в яких головним елементом є елеваторний вузол. Як правило, це обладнання уже фізично і морально застаріле, що призводить до значних перевитрат теплоти. На сьогодні в новобудовах заборонено облаштування елеваторних вузлів. У зв'язку з наведеними обставинами актуальним є перехід від центральних теплових пунктів (ЦТП) до індивідуальних теплових пунктів (ІТП), розташованих безпосередньо в будівлі. Це рішення дозволяє відмовитись від розгалужених розподільчих тепломереж, а також зменшити втрати теплоти при транспортуванні та витрату електроенергії на перекачування води.

Більшість дослідників стверджують, що при переході від ЦТП до ІТП з установкою відповідної автоматики витрати теплової енергії на опалення можуть бути знижені до 20%, однак із-за складності проведення експериментів достовірні дані, які підтверджують це положення, на сьогоднішній день практично відсутні. Крім того, для здійснення такої модернізації потрібні значні капіталовкладення, однак із-за низької сплатоспроможності населення і важкого фінансового стану держави в цілому ці роботи ведуться дуже повільно. Тому проведення експериментальних досліджень ІТП, а також дослідження особливостей теплозабезпечення на їх основі є актуальною задачею.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Наукові дослідження даної дисертації увійшли до складу науково-дослідних робіт Інституту технічної теплофізики Національної академії наук України: «Розробка та впровадження індивідуального теплового пункту (ІТП) тепловою потужністю 300 кВт» (2008 р.; № 0108U004250); «Створення та впровадження експериментального індивідуального теплового пункту потужністю 250 кВт для автоматизованого теплопостачання типового будинку» (2009-2010 рр.; № 0109U007233); «Теплофізичні основи підвищення енергоефективності будівель» (2012-2016 рр.; № 0112U000296); «Розробка алгоритму управління та оптимізація режимів експлуатації індивідуального теплового пункту» (2013-2014 рр.; № 0113U002128). В цих роботах автор брав безпосередню участь як виконавець.

**Мета і задачі дослідження.** Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності кінцевого використання теплової енергії для потреб опалення адміністративної бюджетної будівлі шляхом оптимального управління її теплоспоживанням на основі розробки та впровадження експериментального індивідуального теплового пункту, що приєднується до системи теплопостачання за залежною гідравлічною схемою.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі дослідження:

– провести цільове енергетичне обстеження будівлі каркасно-панельного типу та її системи теплоспоживання (з елеваторним вузлом та з ІТП);



- дослідити використання переривчастого ручного режиму управління теплоспоживанням будівлі;
- створити теплофізичну модель та на її основі розрахувати процеси тепловіддачі від одиничного опалюваного приладу (на прикладі радіатора);
- на основі удосконаленої теплофізичної моделі теплового стану будівлі розрахувати параметри ефективного управління теплоспоживанням будівлі;
- розробити схему, робочий проект, скомплектувати, виготовити та здійснити впровадження експериментального ІТП оригінальної конструкції;
- провести експериментальні дослідження ІТП у реальному часі із постійним моніторингом основних параметрів тепlopостачання та відпрацювати різні режими експлуатації ІТП, встановити найефективніший із них;
- визначити енергетичну та економічну ефективності впровадження ІТП.

**Об’єкт дослідження** – система опалення адміністративної будівлі бюджетної сфери (на прикладі 1-го корпусу ІТТФ НАН України по вул. Булаховського, 2).

**Предмет дослідження** – способи та засоби регулювання параметрів теплоспоживання будівлі. Оптимізація теплонадходжень.

**Методи досліджень** – розрахункові, аналітичні та комп’ютерне моделювання, цільове енергетичне обстеження будівлі, довготривалі прецензійні експериментальні дослідження, статистичні методи обробки результатів.

#### **Наукова новизна одержаних результатів.**

– вперше на основі удосконаленої теплофізичної моделі теплового стану приміщень будівлі, що враховує особливості структури зовнішньої стінової конструкції (в т.ч. плоского даху і цоколя) та інфільтрацію повітря, а також додаткові внутрішні теплонадходження, створено та досліджено способи погодозалежного управління теплоспоживанням будівлі в робочі та вихідні дні, за умов забезпечення належного теплового стану приміщень в робочий час. На основі запропонованої моделі визначено, що за умов підтримання температури в приміщенні  $20 \pm 1$  °С, при зовнішній температурі  $-10$  °С, що характерна для найбільш холодного місяця (січня) в м. Києві, максимальна економія теплової енергії складає 4.6 %;

– вперше запропоновано параметр, що дозволяє оцінити ступінь енергоефективності в цілому будівлі та її системи опалення;

– вперше експериментально встановлено, що при роботі ІТП суттєво зростають витрати теплоносія (до 3...4 разів) в самій системі опалення будівлі в порівнянні з витратою в зовнішній тепловій мережі, які в свою чергу зменшуються в 1,7 разів в порівнянні з елеваторним вузлом. Це надає можливість використовувати менш потужні перекачувальні насоси в розподільчих теплових мережах;

– вперше експериментально встановлено, що при роботі ІТП температури зворотного теплоносія зменшуються на (5...7) °С в порівнянні з режимом роботи з елеваторним вузлом, що призводить до спрацювання в системі опалення температурного перепаду теплоносія до (35...40) °С і підвищення енергоефективності системи опалення на 45%;

– за період (2007-2015 рр.) проведення досліджень створено банк щогодинних експериментальних даних стосовно теплового стану будівлі та режимів експлуатації її системи опалення.

**Практичне значення одержаних результатів.** Встановлено температурні



діапазони опалювального сезону, коли використання ІТП найефективніше при застосуванні оптимальних режимів експлуатації багатоваріантної конструкції ІТП. В діапазоні температур навколишнього середовища від  $+8,0$  °С до  $(-5,0 \dots -7,0)$  °С найефективніше використовувати ІТП з триходовим клапаном (насос розташований в подавальному трубопроводі), а при температурах, менших  $(-5,0 \dots -7,0)$  °С, доцільно використовувати ІТП з триходовим клапаном (насос здійснює функцію підмішування, знаходячись в зворотному трубопроводі). Загальна економія теплової енергії за опалювальний сезон при використанні вказаних режимів облаштування ІТП при плавному погодозалежному регулюванні та при використанні переривчастого управління сягає до 15%. Отримані експериментальні дані можуть бути використані при подальшому розробленні нових ІТП, зокрема із блоком електричних котлів, та при впровадженні ІТП розробленого типу, включаючи теплозабезпечення ще трьох однотипних корпусів ІТТФ НАН України по вул. Булаховського, 2. Результати даної дисертаційної роботи були використані: 1) в ТОВ «Завод енергетичного обладнання «ДАН» у вигляді наданих технічних рекомендацій при проектуванні ІТП для житлових та громадських будівель, на основі яких були розроблені та введені в серійне виробництво модульні блоки для систем опалення за залежною схемою приєднання (в т.ч. з використанням гідравлічної стрілки); 2) в ТОВ «РБСА» при розробці алгоритму ефективного погодозалежного управління тепlopостачанням будівлі при використанні індивідуального теплового пункту, що підтверджено відповідними актами.

**Особистий внесок здобувача.** Основні результати дисертаційної роботи, що виносяться на захист, отримані автором самостійно. В роботах, написаних та опублікованих у співавторстві, здобувачеві належить наступне: у [1] – аналіз результатів експериментальних досліджень режимів роботи ІТП з якісним і кількісним регулюванням та опис особливостей теплового стану приміщень, розрахунок величини економії теплової енергії, встановлення температурного діапазону зовнішнього повітря, при якому використання ІТП найефективніше; у [2] – участь у розробці схемних технічних рішень системи опалення приміщень; у [3, 14-15] – розробка експериментальної установки індивідуального теплового пункту з гідравлічною стрілкою; у [4] – проведення та обробка експериментальних досліджень; у [5] – аналіз роботи ІТП при двох різних режимах його експлуатації та розрахунок зменшення теплоспоживання при застосуванні цих режимів; у [6] – проведення оцінки економічної ефективності використання автоматизованої системи регулювання тепlopостачання будівлі у порівнянні з централізованою системою тепlopостачання; у [7] – участь у розробці наближеної теплофізичної моделі температурного стану опалювального приміщення; у [8] – аналіз ефективності переривчастого режиму опалення будівлі, що забезпечується за допомогою індивідуального теплового пункту; у [9, 18] – визначення особливостей теплоспоживання будівлі в опалювальний період при використанні різних режимів експлуатації експериментального ІТП та при існуючому тепловому пункті елеваторного типу без регулювання; у [10] – результати експериментальних досліджень ІТП протягом опалювального періоду 2012-2013 рр. та визначення сумарних витрат теплової енергії для різних режимів роботи ІТП; [11] – результати дослідження ефективності використання теплової енергії в будівлі як при



централізованому теплопостачанні, так і з використанням ІТП та розрахунок питомих витрат теплової енергії на опалення приміщень; у [12] – участь у розробці математичної моделі нестационарного процесу теплопереносу через багат шарову огорожувальну конструкцію; у [13] – результати експериментальних досліджень ефективного управління теплопостачанням будівлі на основі використання ІТП протягом всього опалювального періоду 2013-2014 рр.; [16] – опис особливостей двох ІТП з підключенням системи теплоспоживання будівлі до зовнішніх теплових мереж за незалежною та залежною схемами; у [17] – участь у встановленні закономірностей теплофізичних процесів у приміщенні при переривчастому режимі його опалення.

**Апробація результатів дисертації.** Матеріали дисертаційної роботи та її основні положення доповідалися й обговорювалися на: VII, VIII, IX Міжнародних конференціях «Проблеми промислової теплотехніки» (Київ, 2011, 2013, 2015); I і II міжнародній науково-технічній конференції «Енергозбереження у будівництві. Сучасні конструктивні системи, ефективні матеріали та інженерне обладнання» (Київ, 2013, 2014); Міжнародній конференції «Україна-Россия-Сколково. Единое Инновационное пространство» (Київ, 2013); науковому семінарі молодих вчених ІТТФ НАН України «Сучасність та майбутнє теплофізики», (с. Соколівка, Чернігівська обл., 2013); Четвертій міжнародній науково-практичній конференції «Енергоінтеграція-2014» (Київ, 2014); Першій міжнародній науково-практичній та навчально-методичній конференції «Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку – 2014» (Київ, 2014); II Міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених «Відновлювана енергетика, новітні автоматизовані електротехнології в біотехнічних системах АПК» (Київ, 2014), П'ятій міжнародній науково-практичній конференції «Енергоінтеграція-2015» (Київ, 2015).

**Публікації.** Основні положення та наукові результати дисертаційної роботи наведені в 18 публікаціях, зокрема в 13 статтях у фахових виданнях, перелік яких затверджено МОН України (дві з них у виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз даних), в 1 патенті на корисну модель та у 4 тезах міжнародних науково-технічних конференцій.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається із вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаної літератури та додатків. Загальний обсяг роботи складає 191 сторінку, у тому числі 184 сторінок основного тексту, 124 рисунки та 13 таблиць, списку використаних джерел з 82 найменувань та 2 додатки.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** описано сучасний стан проблеми, обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, вказано на її зв'язок з науковими програмами і темами, сформульовано мету та задачі дослідження, викладено наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів, вказано особистий внесок здобувача та відомості щодо апробації результатів дисертації.

У **першому розділі** розглянуто сучасний стан впроваджень та експериментальних досліджень використання індивідуальних теплових пунктів як у вітчизняній, так і в світовій практиці.



Як показав аналіз зарубіжного досвіду, модернізація системи тепlopостачання із впровадженням ІТП в деяких Європейських країнах почалася ще з 90-х років минулого століття і на сьогодні повністю себе виправдала. В Україні частково почали встановлювати ІТП в 2000-х роках, але масового загальнодержавного характеру це не набуло.

Проведено літературний огляд експериментальних та теоретичних досліджень використання ІТП та переривчастого режиму опалення будівель. Даній проблематиці присвятили свої роботи Гершкович В.Ф., Пирков В.В., Басок Б.І., Демченко В.Г., Бабак В.П., Назаренко О.О., Давиденко Б.В., Круковський П.Г., Ливчак В.Й., Потапенко А.Н., Корольова Т.І., Сабденів К.О., Солдатенков А.С., Ликов А. Н. та ін. Також були проаналізовані основні схеми ІТП та способи регулювання відпуску теплоти.

Встановлено, що робіт, які описують ретельні і багатотривалі (по декілька опалюваних сезонів) експериментальні дослідження ІТП, є недостатня кількість. Також більшість авторів стверджує, що при переході від ЦТП до ІТП з установкою відповідної автоматики, можна досягнути значної (до 30 % і більше) економії витрат теплової енергії, однак достовірних експериментальних даних, які обґрунтовують це положення і для якого типу будівель, в літературних джерелах на сьогоднішній день не знайдено. Відсутні науково-технічні дані стосовно експериментального та теоретичного дослідження алгоритмів оптимального управління теплоспоживанням окремої адмінбудівлі при примусовому зменшенні тепlopостачання в неробочий нічний час та в вихідні або святкові дні. Тому проведення довготривалих експериментальних досліджень тепlopостачання будівлі на основі ІТП дозволить визначити фактичну економію теплової енергії в реальних умовах експлуатації з врахуванням кліматичних факторів і реального стану будівлі з фактичним показником енергоефективності.

На основі проведеного літературного огляду наукових джерел зроблено відповідні висновки, сформульовано мету роботи та задачі досліджень.

**У другому розділі** наведено результати цільового енергетичного обстеження адміністративної будівлі ІТТФ та її теплоспоживання щодо доцільності встановлення в ній ІТП та надання вихідних даних для визначення параметрів комплектуючого обладнання майбутнього ІТП.

Об'єктом для проведення енергетичного обстеження було обрано один із чотирьох корпусів (корпус №1) Інституту технічної теплофізики НАН України, по вул. Булаховського, 2. Для визначення енергоспоживання всіх будівель було здійснено автоматизований облік теплової енергії за допомогою тепловодолічильника СВТУ-10М, а для обліку теплової енергії одного корпусу №1 було встановлено теплोलічильник УВР-Т. Теплोलічильники забезпечують: вимірювання та індикацію наявних значень температури в подавальному та зворотному трубопроводах; визначення та індикацію наявних значень кількості теплоносія (об'єму або маси, за вибором), теплової енергії та теплової потужності; архівування у енергетично незалежній пам'яті результатів вимірювання та розрахунків, а також передача їх на комп'ютер і архівування для подальшого опрацювання та побудови графічних залежностей; захист архівних даних від несанкціонованого доступу та ін.



Для адміністративного корпусу №1 ІТТФ були проведені детальні дослідження основних параметрів теплопостачання (температури теплоносія в подавальному та зворотному трубопроводах, температури зовнішнього повітря, витрати теплоносія та теплоти в подавальному та зворотному трубопроводах) за опалювальні сезони 2007-2008 рр., 2008-2009 рр., 2009-2010 рр., 2010-2011 рр. та побудовано відповідні графічні залежності.

В табл. 1 представлені порівняльні узагальнені дані параметрів системи теплопостачання для опалювальних сезонів 2007-2011 рр., як для корпусу №1, так і для всієї площадки ІТТФ НАН України по вул. Булаховського, 2. З табл. 1 випливає, що питомі тепловитрати на опалення в корпусі №1 в середньому становлять 140 (кВт·год.)/(рік·м<sup>2</sup>). Це свідчить про те, що будівля знаходиться в більш-менш нормальному стані у порівнянні із будівлями, в яких середньостатистичні питомі тепловитратами для України становлять 250 (кВт·год.)/(рік·м<sup>2</sup>).

Таблиця 1

## Узагальнені дані параметрів теплоспоживання будівель за сезонами

Опалювальний сезон, рр.	Площадка Булаховського, 2				Корпус №1			
	2007-2008	2008-2009	2009-2010	2010-2011	2007-2008	2008-2009	2009-2010	2010-2011
Середня тем-ра зовн. повітря, °С	3,0	-0,4	-2,2	-2,0	3,0	-0,4	-2,2	-2,0
Витрата теплової енергії, Гкал	1550	1248,5	1406,5	1331,5	126	216	324	294
Трив-ть опалюв. сезону, діб	157	155	151	148	52	112	141	148
Середнє споживання, Гкал/год.	0,41	0,34	0,39	0,38	0,10	0,08	0,10	0,08
Вартість спожитої теплової енергії, тис. грн.	246,3	198,4	223,5	683,8	20,0	34,3	51,5	151,1
Річні витрати теплової енергії, млн. (кВт·год.)/рік	1,803	1,452	1,636	1,549	0,147	0,251	0,377	0,342
Питомі тепловитрати на опалення, (кВт·год.)/(рік·м <sup>2</sup> )	139,1	112,0	126,2	119,5	45,2	77,5	116,3	105,5
Питомі тепловитрати на опалення, при 181 добі повноцінного опалювального сезону, (кВт·год.)/(рік·м <sup>2</sup> )					157,4	125,3	149,3	129,1
					<b>Середнє: 140,3</b> (кВт·год.)/(рік·м <sup>2</sup> )			

Також для корпусу №1 з системою теплопостачання елеваторного типу були проведені детальні дослідження температурного стану приміщень з 1 по 9 лютого 2015 року при періодичному ручному відключенні та підключенні опалення, яке проводилося технічними службами. Вимірювальні величини були отримані за допомогою теплолічильника УВР-Т та мідного термоперетворювача опору ТСМ.



Підключення опалення відбувалось о 7 годині (перед початком робочого дня), а відключення о 13 годині. Це проводилося для того, щоб спробувати зекономити витрати теплоти, зокрема в часи відсутності на робочих місцях співробітників, тобто в нічний час після роботи, та у вихідні та святкові дні. При цьому середньоробоча витрата теплової енергії становила 0,08 Гкал/год., а розрахована середня витрата теплової енергії за весь період (враховуючи вихідні дні) – 0,04 Гкал/год. Таким чином, за досліджуваний період вдалося зекономити до 50 % витрат теплової енергії, але при цьому спостерігалось значне пониження температури в приміщенні (до +10,0 °С).

В результаті проведеного цільового енергетичного обстеження будівлі та її теплоспоживання були зроблені наступні основні висновки:

1. В середньому трьохповерхова будівля каркасно-панельного типу (загальною площею 3240 кв. м.) споживає 140 кВт·годин на 1 кв. м. опалюваної площі за опалювальний період, що є достатньо нормальним (задовільним) показником для будівлі з 42 річним терміном експлуатації. Даний показник теплоспоживання будівлі на 40...45 % менший, ніж середній показник теплоспоживання будівель в Україні.

2. Наявні значні втрати теплоти через плоский дах, фундамент, вікна та з інфільтрацією повітря.

3. Наявні періоди експлуатації системи теплозабезпечення ІТТФ, коли теплопостачальна організація збільшувала витрати теплоносія без потреби в ньому споживачем, особливо наприкінці опалюваного сезону. Це призводило до переплат за теплоту і надмірних витрат коштів.

4. Температурний графік теплопостачальної організації в жодному із опалюваних сезонів 2007-2011 рр. не витримувався.

5. Ручний режим керування теплоспоживанням корпусу був небажаним, бо призводив до можливої появи аварії та до переохолодження корпусу.

6. В 2014-2015 рр. спостерігалось збільшення електричної напруги в мережі будівлі на 13 %. Це призводило до виходу із ладу електричних приладів і перевитрат коштів.

7. Наявність після вузла комерційного обліку теплоти п'яти споживачів (всіх будівель інституту) теплової енергії та місцевих теплових мереж, а також небажаність гідравлічного розбалансування систем опалення всіх будівель, надає перевагу підключенню ІТП до системи теплозабезпечення за залежною гідравлічною схемою.

Як відомо, втрати теплової енергії на котельнях становлять до 15 %, в зовнішніх тепломережах – 15-25 %, в житловому фонді – 30-45 %. Тому заходи щодо економії споживання теплоти у кінцевого споживача, тобто в будівлі, є найбільш дієвими. Оскільки цільове енергетичне обстеження будівлі показало, що вона знаходиться в більш-менш нормальному стані у порівнянні із середньостатистичними будівлями України, тому в корпусі № 1 доцільно впроваджувати ІТП.

**У третьому розділі** представлено дослідження особливостей теплового стану приміщення при переривчастому режимі опалення та встановлення параметрів управління теплоспоживанням будівлі.



Спочатку була створена теплофізична модель і на її основі проведено розрахунок тепловіддачі від опалювального пристрою типу радіатора М-140 при двох різних способах управління (або в залежності від температури теплоносія, або від температури повітря в приміщенні) подачею в нього теплоносія. Було показано, що в деяких варіантах теплопостачання більш ефективним є якісне управління.

Для розв'язання задачі про тепловий стан приміщення застосовується модель з зосередженими параметрами (рис. 1). Модель передбачає наявність певної кількості характерних розрахункових елементів в приміщенні, значення температури яких визначають температурний стан приміщення у цілому. Для приміщення з одним вікном та одним опалювальним пристроєм раціональна кількість таких елементів – 12, номери яких відповідно позначені на рис. 1, справа в різних перерізах приміщення. Для кожного з них складаються відповідні рівняння теплового балансу.

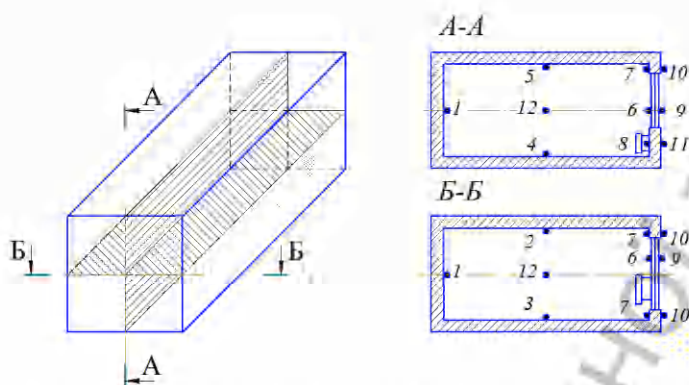


Рис. 1. Схема для моделі теплового режиму приміщення з зосередженими параметрами

При розв'язанні цієї задачі приймається, що тепловий потік в сусідні приміщення не переноситься за винятком потоку інфільтраційного повітря, яке надходить до приміщення з температурою оточуючого середовища та виходить з приміщення з температурою цього приміщення через вентиляційний отвір. Витрата інфільтраційного повітря вважається заданою (кратність повітрообміну – 40 %) і відповідає вимогам до приміщень

такого призначення (робочий кабінет).

Складаючи рівняння теплового балансу для внутрішніх стін приміщення, а також стелі і підлоги, приймаємо, що до поверхонь даних елементів надходить радіаційний тепловий потік від радіатора. З поверхонь згаданих елементів радіаційний потік надходить до частини внутрішньої поверхні зовнішньої стіни та до внутрішньої поверхні вікна. Крім того, з цих поверхонь тепло видаляється конвекцією до внутрішнього повітряного середовища.

Внутрішні стіни, а також стеля і підлога, вважаються елементами теплообміну приміщення з номерами  $i=1\dots5$ . Отже, для  $i=1\dots5$  рівняння теплового балансу матимуть вигляд

$$C_i \rho_i V_i \frac{d\bar{T}_i}{d\tau} = c_0 \varepsilon_{i-p, np} \left[ \left( \frac{\bar{T}_p}{100} \right)^4 \int_{F_p} \varphi_{p-i} dF_p - \left( \frac{\bar{T}_i}{100} \right)^4 \int_{F_i} \varphi_{i-p} dF_i \right] - c_0 \varepsilon_{i-6, np} \left[ \left( \frac{\bar{T}_i}{100} \right)^4 \int_{F_i} \varphi_{i-6} dF_i - \left( \frac{\bar{T}_6}{100} \right)^4 \int_{F_6} \varphi_{6-i} dF_6 \right] - c_0 \varepsilon_{i-7, np} \left[ \left( \frac{\bar{T}_i}{100} \right)^4 \int_{F_i} \varphi_{i-7} dF_i - \left( \frac{\bar{T}_7}{100} \right)^4 \int_{F_7} \varphi_{7-i} dF_7 \right] - \bar{\alpha}_{k,i} F_i (\bar{T}_i - \bar{T}_u), \quad (1)$$

де  $i=1$  – стіна, протилежна вікну;  $i=2$  – бічна стіна зліва від вікна;  $i=3$  – бічна стіна праворуч від вікна;  $i=4$  – підлога;  $i=5$  – стеля. В наведене рівняння (1) входять також значення температури внутрішньої поверхні вікна ( $i=6$ ) та частина внутрішньої



поверхні зовнішньої стіни ( $i=7$ ), до якої не входить ділянка, що розташована безпосередньо за радіатором. Поверхня цієї стіни, що розташована за радіатором, позначається номером  $i=8$ . В рівнянні (1):  $\bar{T}_n = \frac{1}{V_k} \int_{V_k} T_n dV_k$  – середньооб’ємна температура повітря в приміщенні;  $\bar{T}_i = \frac{1}{F_i} \int_{F_i} T_i dF_i$ ;  $\bar{T}_i = \frac{1}{V_i} \int_{V_i} T_i dV_i$ ;  $\varepsilon_{i-j,пр}$  – приведені коефіцієнти чорноти для поверхонь  $i$  та  $j$ ;  $\phi_{i,j}$  – місцеві кутові коефіцієнти випромінювання поверхні  $i$  на поверхню  $j$ , що розраховуються за формулою

$$\phi_{i-j} = \int_{F_j} \frac{\cos \beta_{r-n_i} \cos \beta_{r-n_j}}{\pi r^2} dF_j,$$

де  $r$  – довжина радіуса-вектора  $\vec{r}$ , що з’єднує точки поверхонь  $i$  та  $j$ ;  $\beta_{r-n_i}, \beta_{r-n_j}$  – кути між нормаллями  $n_i, n_j$  та радіусом вектором  $\vec{r}$ .

При складанні рівнянь теплового балансу для внутрішніх стін, стелі та підлоги приймається, що згадані елементи можна умовно розділити на два симетричних об’єми, поверхні яких відносяться до сусідніх приміщень з однаковими умовами теплообміну на цих поверхнях. Виходячи з цього, можна вважати, що на поверхні симетрії між цими половинами об’ємів існують умови теплоізоляції. Значення  $V_i$  при цьому відповідає половині об’єму всього елемента, що розглядається. При застосуванні метода з зосередженими параметрами наближено приймається, що  $\bar{T}_i = \bar{T}_i$ .

Для вікна рівняння теплового балансу складається за умов, що на його внутрішнє скло надходять радіаційні теплові потоки від всіх поверхонь внутрішніх огорож ( $i=1...5$ ) та конвективний тепловий потік від внутрішнього повітряного середовища приміщення. Через вікно теплота переноситься теплопровідністю, конвекцією та випромінюванням (радіаційний теплоперенос). Термічний опір теплопереносу від внутрішньої поверхні вікна до його зовнішньої поверхні складає при цьому  $R_a$ . З зовнішньої поверхні вікна теплові потоки шляхом конвекції та радіації відводяться у зовнішній простір. Вікно умовно розділяється на дві частини (внутрішню  $i=6$  та зовнішню  $i=9$ ). Для кожної з цих частин складаються відповідні рівняння теплового балансу:

$$C_{ск} \rho_{ск} V_{ск} \frac{d\bar{T}_6}{d\tau} = \sum_{i=1}^{i=5} c_0 \varepsilon_{i-6,пр} \left[ \left( \frac{\bar{T}_i}{100} \right)^4 \int_{F_i} \phi_{i-6} dF_i - \left( \frac{\bar{T}_6}{100} \right)^4 \int_{F_6} \phi_{6-i} dF_6 \right] + \bar{\alpha}_{k,6} F_6 (\bar{T}_n - \bar{T}_6) - \frac{F_6}{R_6} (\bar{T}_6 - \bar{T}_9); \quad (2)$$

$$C_{ск} \rho_{ск} V_{ск} \frac{d\bar{T}_9}{d\tau} = \frac{F_6}{R_6} (\bar{T}_6 - \bar{T}_9) - \bar{\alpha}_9 F_9 (\bar{T}_9 - T_3), \quad (3)$$

де  $V_{ск}$  – об’єм одного скла;  $\bar{\alpha}_{k,6}$  – середній коефіцієнт тепловіддачі конвекцією від внутрішнього повітряного середовища до поверхні внутрішнього скла;  $\bar{\alpha}_9$  – середній ефективний коефіцієнт тепловіддачі для радіаційно-конвективного теплообміну на зовнішній поверхні вікна.

Для зовнішньої стіни (без радіаторної ділянки) рівняння теплового балансу складається аналогічно рівнянню для вікна. Приймається, що температура



зовнішньої поверхні зовнішньої стіни складає  $\bar{T}_{10}$ , а коефіцієнт теплопередачі між внутрішньою та зовнішньою поверхнями зовнішньої стіни дорівнює  $K_{ct} = \frac{1}{\sum_k \frac{\delta_k}{\lambda_k}}$ ,  $k$  –

кількість шарів багат шарової стіни. Отже, рівняння теплового балансу для зовнішньої стіни матимуть вигляд:

$$C_{ct} \rho_{ct} V_{ct} \frac{d\bar{T}_7}{d\tau} = \sum_{i=1}^{i=5} c_0 \varepsilon_{i-6, np} \left[ \left( \frac{\bar{T}_i}{100} \right)^4 \int_{F_i} \varphi_{i-7} dF_i - \left( \frac{\bar{T}_7}{100} \right)^4 \int_{F_7} \varphi_{7-i} dF_7 \right] + \bar{\alpha}_{k,7} F_7 (\bar{T}_n - \bar{T}_7) - F_7 K_{ct} (\bar{T}_7 - \bar{T}_{10}); \quad (4)$$

$$C_{ct} \rho_{ct} V_{ct} \frac{d\bar{T}_{10}}{d\tau} = F_7 K_{ct} (\bar{T}_7 - \bar{T}_{10}) - \bar{\alpha}_{10} F_{10} (\bar{T}_{10} - T_3), \quad (5)$$

де  $V_{ct}$  – половина об'єму зовнішньої стіни (без радіаторної ділянки).

На відміну від наведених рівнянь для зовнішньої стіни, рівняння теплового балансу для радіаторної ділянки зовнішньої стіни складаються за умов, що її внутрішня поверхня сприймає радіаційний тепловий потік безпосередньо від панелі радіатора. Інші умови теплообміну для цієї ділянки такі ж самі, як і для стіни без радіаторної ділянки. Отже,

$$C_{ct} \rho_{ct} V_{ct} \frac{d\bar{T}_8}{d\tau} = c_0 \varepsilon_{8-p, np} \left[ \left( \frac{\bar{T}_p}{100} \right)^4 \int_{F_p} \varphi_{p-8} dF_p - \left( \frac{\bar{T}_8}{100} \right)^4 \int_{F_8} \varphi_{8-p} dF_8 \right] + \bar{\alpha}_{k,8} F_8 (\bar{T}_n - \bar{T}_8) - F_8 K_{ct} (\bar{T}_8 - \bar{T}_{11}); \quad (6)$$

$$C_{ct} \rho_{ct} V_{ct} \frac{d\bar{T}_{11}}{d\tau} = F_8 K_{ct} (\bar{T}_8 - \bar{T}_{11}) - \bar{\alpha}_{11} F_{11} (\bar{T}_{11} - T_3), \quad (7)$$

де  $\bar{T}_{11}$  – середньоінтегральна температура зовнішньої поверхні зовнішньої стіни в межах її радіаторної ділянки.

Для внутрішнього повітряного середовища рівняння теплового балансу складається за умов його конвективного теплообміну з усіма внутрішніми поверхнями приміщення та конвективного теплообміну з чотирма поверхнями (дві внутрішні та дві зовнішні) панельного радіатора. При цьому також враховується теплоперенос повітряним потоком, що надходять до приміщення з зовнішнього простору за рахунок інфільтрації і виходить з приміщення через вентиляційну систему. Об'ємна витрата цього повітря складає  $G_{inf}$ . Повітря надходить до приміщення з температурою  $T_3$ , а виходить з приміщення з температурою  $\bar{T}_n$ . Таким чином, рівняння теплового балансу для внутрішнього повітряного середовища матиме вигляд

$$C_n \rho_n V_n \frac{d\bar{T}_n}{d\tau} = \sum_{i=1}^8 \bar{\alpha}_{k,i} F_i (\bar{T}_i - \bar{T}_n) + 4F_p \bar{\alpha}_{k,p} (\bar{T}_p - \bar{T}_n) + G_{inf} C_n \rho_n (T_3 - \bar{T}_n). \quad (8)$$

Система з дванадцяти нестационарних рівнянь теплового балансу розв'язується чисельно. При цьому величини  $T_3$ ,  $\bar{T}_p$  та  $G_{inf}$ , що є визначальними для розрахункового аналізу, можуть бути змінними у часі. За результатами розв'язання цієї системи знаходяться залежні від часу значення температури кожного з дванадцяти характерних елементів приміщення.

Дослідження проводились, як приклад, для модельного приміщення довжиною



6 м; шириною 3 м і висотою 3 м. В якості опалювального пристрою використовується двохпанельний конвектор висотою 0,5 м; шириною 1 м, встановлений під вікном на відстані 0,05 м від зовнішньої стіни. Вікно, площа якого – 3,72 м<sup>2</sup>, має власний термічний опір  $R_{\text{вікн.}} = 0,16 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$  (без врахування термічного опору тепловіддачі до внутрішнього та зовнішнього повітряного середовища). Термічний опір зовнішньої стіни складає  $R_{\text{ст}} = 2,32 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ . Теплота в приміщення надходить як від двохпанельного конвектора, так і від оргтехніки та людини, які працюють 8 годин на добу (робочий час) і мають сумарну теплову потужність  $Q_v = 200 \text{ Вт}$ .

Спочатку було виконано розрахунок стаціонарного температурного режиму розглянутого приміщення при наступних умовах: температура поверхні панелей конвектора  $t_k = 55,0 \text{ }^\circ\text{C}$ ; температура повітря в приміщенні  $20,0 \text{ }^\circ\text{C}$ , температура зовнішнього повітря  $t_{\text{зовн.}} = -10,0 \text{ }^\circ\text{C}$ ; витрата зовнішнього повітря, що надходить в приміщення  $G = 0,0060 \text{ м}^3/\text{с}$  (кратність повітрообміну складає  $k = 0,4$  об'єму приміщення на годину). В цих умовах тепловий потік, що надходить від конвектора, дорівнює 542 Вт, а потужність сумарних теплонадходжень – 609 Вт. За добу в стаціонарних умовах на обігрів приміщення конвектором витрачається 13,0 кВт·год. теплової енергії, а за місяць – 390 кВт·год.

На основі запропонованої моделі для даного приміщення були отримані результати розрахунку динаміки його температурного стану за місяць (без врахування вихідних днів) при переривчастому режимі опалення для двох способів регулювання. Перший спосіб полягає у тому, що з 9-00 до 17-00 (робочий час працівників ІТТФ НАН України) температура поверхонь двохпанельного конвектора дорівнює  $t_{k,n} = 55,0 \text{ }^\circ\text{C}$  і в приміщенні мають місце додаткові теплонадходження сумарною потужністю 200 Вт. З 17-00 (кінець робочого часу) до 5-00 наступної доби температура конвектора знижується до  $t_{k,\text{min}} = 35,0 \text{ }^\circ\text{C}$ , а в 5-00  $t_k$  підвищується до  $t_{k,\text{max}}$ . В 9-00  $t_k$  знову стає майже рівною  $55,0 \text{ }^\circ\text{C}$ . Часовий інтервал, на якому підтримується режим опалення  $t_k = t_{k,\text{max}}$ , становить  $\Delta\tau_{\text{max}} = 240 \text{ хв}$ . На рис. 2-4 показані відповідні графічні залежності для різних значень  $t_{k,\text{max}}$ . Для аналізу впливу протяжності часового інтервалу перегріву (другий спосіб регулювання) на середньодобовий температурний режим приміщення, подібні розрахунки проводились також для  $\Delta\tau_{\text{max}} = 240 \text{ хв}$ ,  $\Delta\tau_{\text{max}} = 270 \text{ хв}$  та  $\Delta\tau_{\text{max}} = 300 \text{ хв}$  за умови  $t_{k,\text{max}} = 85,0 \text{ }^\circ\text{C}$  (рис. 5-7). За результатами проведених розрахунків теплового стану приміщення визначено ефективний з точки зору енергозбереження режим регулювання, за якого в робочий час дотримуються всі температурні межі санітарно-гігієнічних норм (орієнтувались на нормативну температуру  $20,0 \pm 1,0 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

З метою встановлення можливих підходів до управління теплоспоживанням окремого приміщення було проведено моделювання переривчастого режиму роботи одиночного опалювального пристрою. Встановлено, що найкращий режим регулювання – за температурою теплоносія, тобто бажано здійснювати якісне регулювання.

Отримані результати були покладені в основу ефективного регулювання теплоспоживанням будівлі та використані під час проведення експериментальних досліджень ІТП.



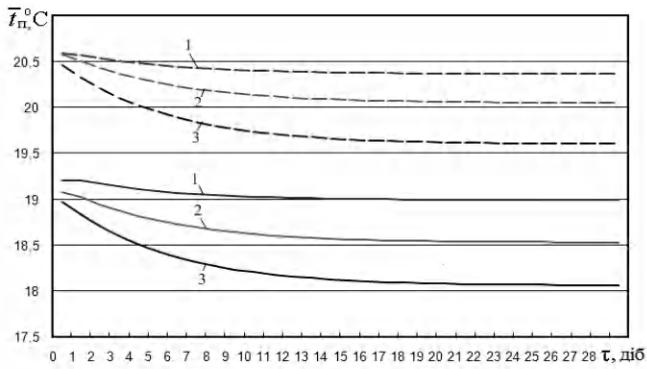


Рис. 2. Зміна в часі середніх значень температури повітря в приміщенні (суцільна лінія – за добу; пунктир – за робочий час): 1 –  $t_{k, \max} = 95,0$  °C; 2 –  $t_{k, \max} = 90,0$  °C; 3 –  $t_{k, \max} = 85,0$  °C

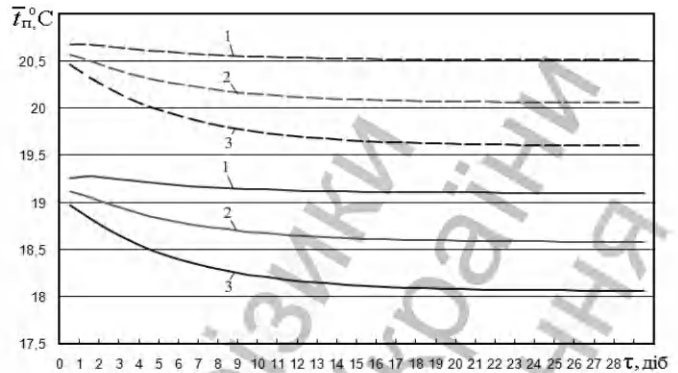


Рис. 5. Зміна в часі середніх значень температури повітря в приміщенні при  $t_{k, \max} = 85,0$  °C (суцільна лінія – за добу; пунктир – за робочий час): 1 – з 4-00 до 9-00; 2 – з 4-30 до 9-00; 3 – з 5-00 до 9-00

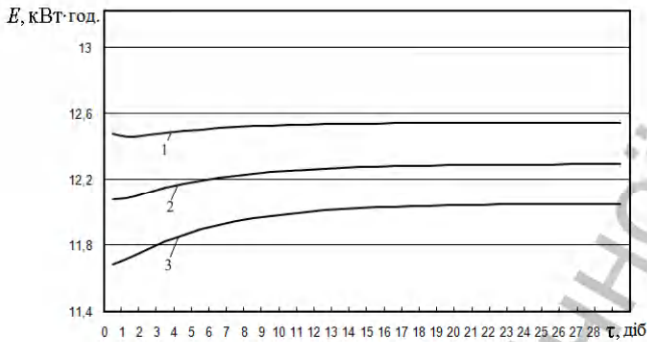


Рис. 3. Залежності від часу кількості теплової енергії, підведеної від конвектора до приміщення за добу: 1 –  $t_{k, \max} = 95,0$  °C; 2 –  $t_{k, \max} = 90,0$  °C; 3 –  $t_{k, \max} = 85,0$  °C

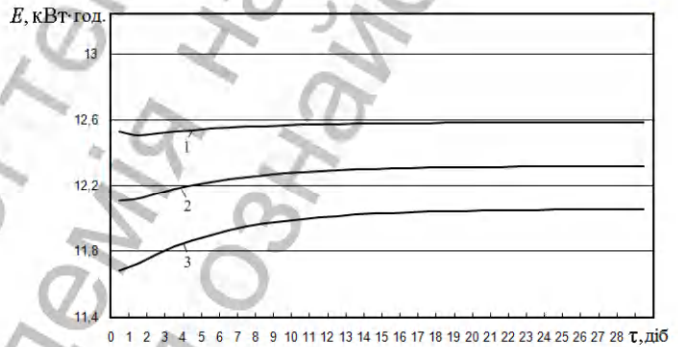


Рис. 6. Залежності від часу кількості теплової енергії, підведеної від конвектора до приміщення за добу: 1 – з 4-00 до 9-00; 2 – з 4-30 до 9-00; 3 – з 5-00 до 9-00

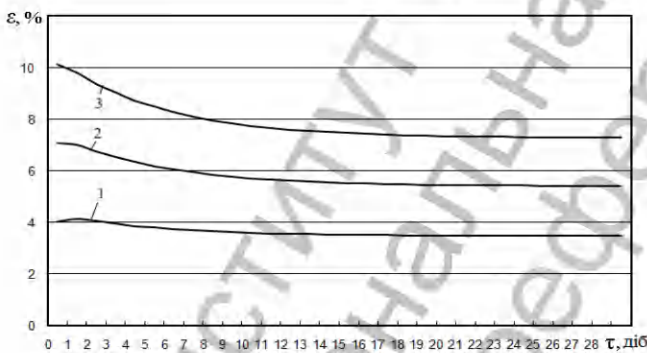


Рис. 4. Залежності від часу економії теплової енергії за добу: 1 –  $t_{k, \max} = 95,0$  °C; 2 –  $t_{k, \max} = 90,0$  °C; 3 –  $t_{k, \max} = 85,0$  °C

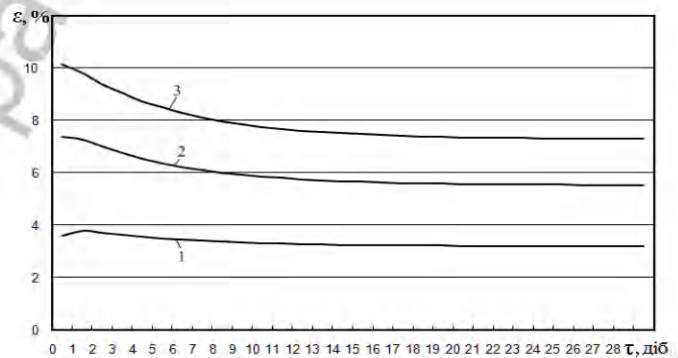


Рис. 7. Залежності від часу економії теплової енергії за добу: 1 – з 4-00 до 9-00; 2 – з 4-30 до 9-00; 3 – з 5-00 до 9-00

У четвертому розділі представлені результати проведених експериментальних досліджень на розробленій та впровадженій в ІТТФ НАН України схемі



експериментального індивідуального теплового пункту оригінальної конструкції для автоматизованого управління теплоспоживанням корпусу № 1.

Особливість конструкції полягає в поєднанні в одному багатоваріантному ІТП залежного типу трьох теплолічильників, триходового (двоходового) клапана, гідравлічної стрілки зі зворотним клапаном, гідравлічної перетинки для вузла змішування, що дозволяє реалізувати різноманітні варіанти побудови гідравлічної схеми ІТП і режими його експлуатації.

Експериментальна установка ІТП (рис. 8-9) використовується для приготування теплоносія і підтримки його технологічних теплових параметрів у системі опалення будівлі, і організована за залежною схемою приєднання до зовнішньої тепломережі. ІТП складається з труби подачі гарячої води і труби відводу зворотної води, на яких встановлено запірно-регулюючу арматуру і контрольно-вимірні прилади.

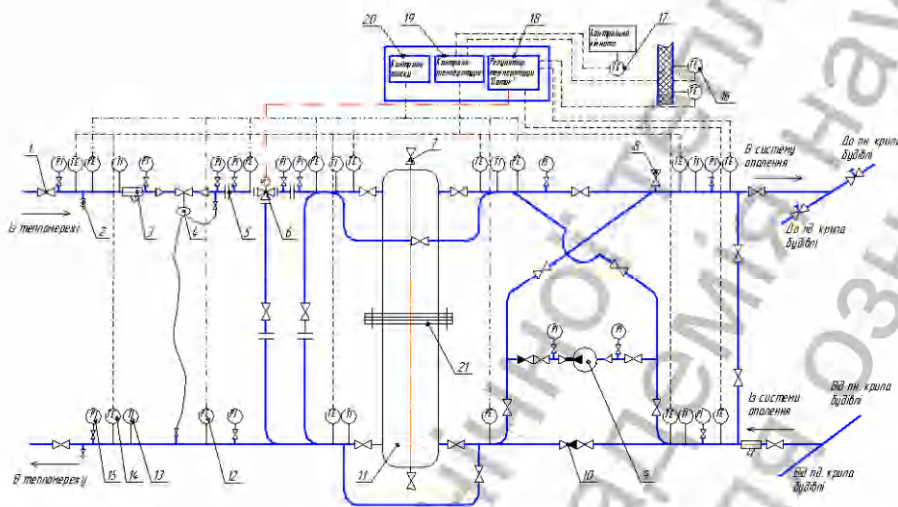


Рис. 8. Принципова схема ІТП з ГС: 1 – кульовий кран; 2 – спускний кран; 3 – фільтр осадковий; 4 – регулятор перепаду тиску; 5 – шайба; 6 – триходовий клапан; 7 – клапан видалення повітря; 8 – запобіжно-скидний клапан; 9 – циркуляційний насос; 10 – зворотній клапан; 11 – гідравлічна стрілка; 12 – датчик тиску; 13 – термометр; 14 – датчик температури; 15 – манометр; 16 – датчик температури зовнішнього повітря; 17 – датчик температури в кімнаті; 18 – регулятор; 19 – контроль температури; 20 – контроль тиску; 21 – міжфланцевий зворотний клапан.

В системі встановлено: регулятор (прямої дії) перепаду тиску з клапаном в подавальному трубопроводі; регулюючий триходовий змішувальний клапан з електроприводом; циркуляційний насос з мокрим ротором; регулятор теплового потоку для здійснення автоматичного регулювання температури для системи опалення за погодними умовами.

До регулятора підключаються три датчики температури: зовнішнього повітря, теплоносія в системі опалення, теплоносія в зворотному трубопроводі. В його енергонезалежній пам'яті закладено алгоритми регулювання для 10-ти кліматичних



а



б

Рис. 9. Фото ІТП з ГС:  
а – вигляд правої частини; б – вигляд лівої частини



зон: від  $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  розрахункової температури. Вибір алгоритму виконується шляхом вводу на екрані у відповідному меню розрахункової температури зовнішнього повітря. Для зимового клімату м. Києва вона становить  $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

В індивідуальному тепловому пункті за допомогою переключення ручної арматури реалізується шість різних варіантів його роботи, а саме: режим № 1 – температурний режим регулюється за допомогою триходового клапану, який працює в режимі двоходового клапану, насос ввімкнено в подавальній магістралі опалювального контуру, який здійснює подачу теплоносія з гідравлічної стрілки з підмішуванням його із зворотного трубопроводу; режим № 2 – триходовий клапан виконує функцію підмішування в залежності від погодних умов, насос розташований в подавальному трубопроводі; режим № 3 – температурний режим регулюється за допомогою триходового клапану, який працює в режимі двоходового клапану, насос розташований в зворотному трубопроводі і здійснює підмішування зворотного теплоносія за допомогою гідравлічної стрілки; режим № 4 – триходовий клапан виконує функцію підмішування в залежності від погодних умов, насос розташований в зворотному трубопроводі; режим № 5 – регулювання подачі теплоносія з тепломережі здійснюється триходовим клапаном, який працює в режимі двоходового, насос розташований в перемичці і здійснює підмішування теплоносія із зворотного трубопроводу в подавальний; режим № 6 – триходовий клапан працює в режимі двоходового і здійснює подачу зворотного теплоносія в залежності від температурного графіку, підмішування зворотного теплоносія відбувається через перетинку, за допомогою насоса, що знаходиться в подавальному трубопроводі.

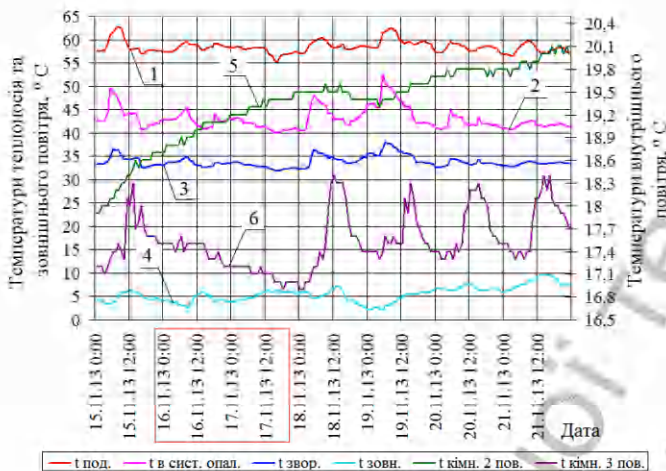
Експериментальні дослідження проводились протягом опалювального періоду при використанні різних режимів роботи ІТП. За допомогою вимірювального комплексу визначалися і фіксувалися в автоматичному режимі, в реальному часі з інтервалом в одну годину всі основні параметри теплопостачання: температура теплоносія в подавальному та зворотному трубопроводах, температура повітря в контрольному приміщенні та навколишнього середовища, витрати теплоносія та теплової енергії в подавальному та зворотному трубопроводах, а також тиск у різних точках трубопроводів.

Регулювання параметрів теплоносія в ІТП здійснювалося за заданим алгоритмом, а саме за температурою зовнішнього повітря та за добово-тижневим графіком регулювання, при якому в будні дні з 5:00 год. до 16:00 год. (в понеділок з 3:00 год.) – за денним графіком, а з 16:00 год. до 5:00 год. (в п'ятницю з 15:00 год.), а також у вихідні дні – за нічним графіком регулювання. Для нічного графіку задавалася температура позитивного зміщення зовнішнього повітря  $t_{зм}$  в інтервалі від  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $9\text{ }^{\circ}\text{C}$ . На основі отриманих експериментальних даних побудовані графічні залежності параметрів теплопостачання для режиму № 1 та режиму № 2, які представлено на рис. 10-11.

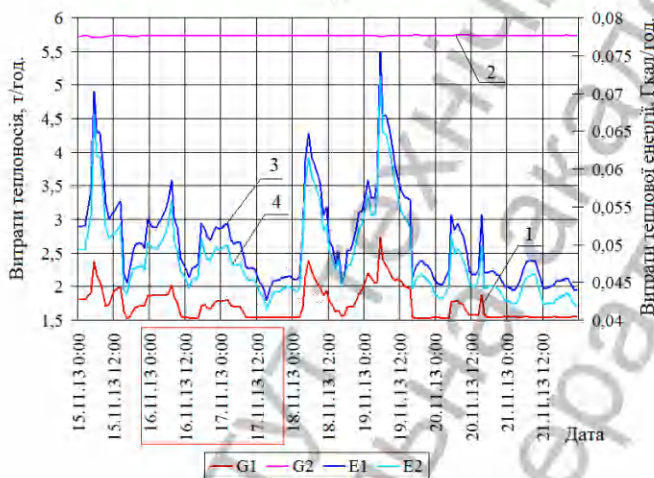
Дата на графіках в червоній рамці по осі абсцис відповідає вихідним дням. В залежності від температури зовнішнього повітря (крива 4 рис. 10-11 а) відбувається регулювання температури теплоносія, який подається в систему опалення (крива 2 рис. 10-11 а), за допомогою регулятора температури, шляхом підмішування теплоносія із зворотного трубопроводу (крива 3 рис. 10-11 а) до теплоносія, що



надходить із зовнішньої тепломережі (крива 1 рис. 10-11 а). При цьому фіксувались температури в двох контрольних приміщеннях, а саме на другому поверсі з частковою термомодернізацією зовнішньої огорожувальної конструкції (без утеплення, але із заміною старого вікна на однокамерне металопластикове вікно) (крива 5 рис. 10-11 а) та на третьому поверсі без термомодернізації (крива 6 рис. 10-11 а). На рис. 10-11 б показані графічні залежності витрати теплоносія (шкала ліворуч), де крива 1 – витрата теплоносія до ІТП, а крива 2 – після підмішування в ІТП, та теплової енергії (шкала праворуч), де крива 3 – витрати теплової енергії до ІТП, крива 4 – після підмішування в ІТП.

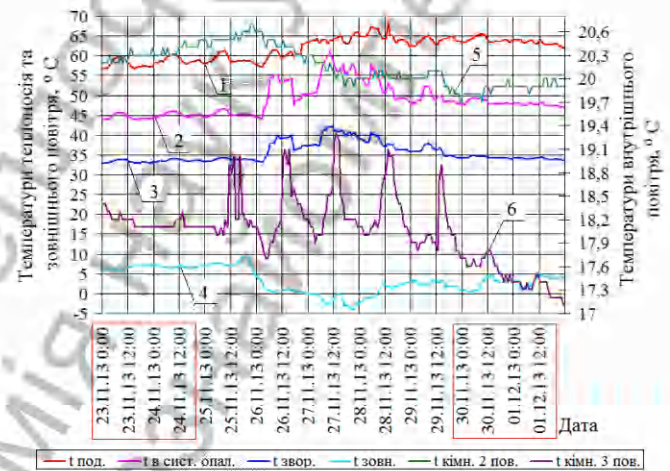


а

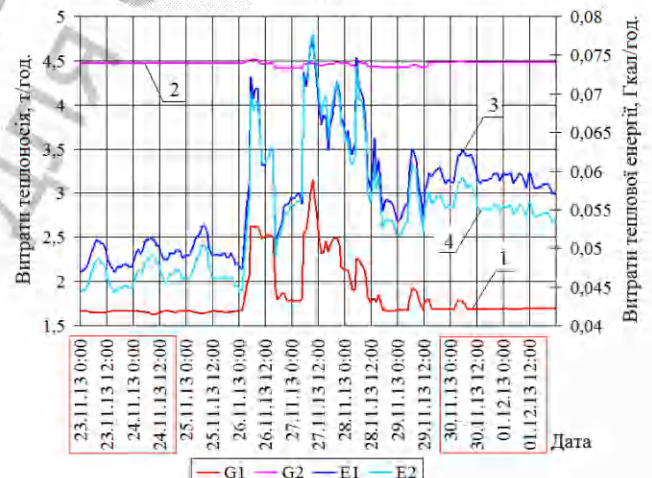


б

Рис. 10. Режим № 1: **а** – залежності температур теплоносія та повітря; **б** – залежності витрат теплоносія та теплової енергії



а



б

Рис. 11. Режим № 2: **а** – залежності температур теплоносія та повітря; **б** – залежності витрат теплоносія та теплової енергії

Наведемо деякі пояснення стосовно експлуатації режиму № 2. Як видно з рис. 11 а, температура зовнішнього повітря  $t_{\text{зовн.}}$  коливається від  $-4,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+10,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . При мінімальній температурі зовнішнього повітря ( $-4,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) температура теплоносія, який поступає з зовнішньої тепломережі, становить  $65,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а температура теплоносія після підмішування, який надходить в систему опалення, згідно графіка



регулювання становить  $57,0$  °С. При цьому температура теплоносія в зворотному трубопроводі дорівнює  $t_{\text{звор.}} = 40,0$  °С. Як видно з рис. 11 б, максимальна витрата теплоносія до ІТП дорівнює  $G = 3,1$  т/год., а після підмішування в ІТП витрата становить  $G = 4,5$  т/год., і залишається майже незмінною протягом всього режиму роботи ІТП, тобто спостерігається якісне регулювання. Максимальні витрати теплової енергії становлять  $E = 0,078$  Гкал/год. Слід відмітити, що різниця у витратах теплової енергії з'являється в результаті того, що її значення розраховується двома тепловими лічильниками, один з яких знаходиться в рамці управління системою опалення корпусу № 2, що з'єднується з корпусом № 1 за допомогою коридорного перешийку, в якому і відбуваються втрати теплової енергії.

У вихідні дні відбувається зменшення витрат теплової енергії шляхом пониження температури теплоносія, в результаті запрограмованого алгоритму управління ІТП. Відповідно, це призводить до зниження температури в приміщенні на третьому поверсі від  $18,9$  °С до  $17,2$  °С (крива б рис. 11 а), що цілком прийнятно, оскільки в цей час відсутні люди на робочих місцях. Різниця температур в приміщенні на другому і третьому поверхах полягає в тому, що на другому поверсі була проведена заміна старого вікна на сучасне металопластикове вікно. Як результат, в такому приміщенні температура повітря в середньому становить  $20,2$  °С (крива 5 рис. 11 а), а приміщення на третьому поверсі значно швидше охолоджується, особливо у нічний час. Різкі стрибки на рис. 10-11 відповідають переходам з денного графіка регулювання на нічний і навпаки.

Для визначення найефективнішого режиму роботи ІТП було введено поняття "параметр (показник) енергоефективності", який позначається  $EE$  і визначається за формулою (9) для всіх  $t_{\text{зовн.сер.}i}$ , окрім ( $t_{\text{зовн.сер.}i} = t_{\text{норм.}}$ ),

$$EE = \frac{\sum_{i=0}^n |(t_{\text{норм.}} - t_{\text{зовн.сер.}i})| \times 1 \text{ година}}{E_n}, \quad (9)$$

де  $t_{\text{зовн.сер.}i}$  – середнє за кожну  $i$ -ту годину значення температури зовнішнього повітря, °С;  $E_n$  – загальна кількість теплової енергії, що була спожита будівлею за досліджуваній термін роботи системи опалення, Гкал;  $n$  – загальна кількість годин опалюваного періоду;  $t_{\text{норм.}}$  – нормована температура повітря в приміщенні, °С.

Параметр енергоефективності було розраховано за формулою (9) для кожного з шести режимів роботи ІТП і на його основі визначався найефективніший із них. В табл. 2 представлені основні характеристики режимів роботи ІТП і розраховані значення параметра енергоефективності. Як видно з табл. 2, найефективнішими є три режими: № 1, № 2, та № 4. Також був розрахований параметр енергоефективності для системи теплопостачання з елеваторним вузлом, який становить  $195,7$  (°С·год)/Гкал. Табл. 2 дає змогу зробити висновок, що для вказаних температур система теплопостачання з ІТП на 30 % ефективніше працює, ніж без ІТП.

Також були визначені абсолютні похибки вимірювання параметрів теплопостачання та розраховано відносні похибки діапазону вимірювальних величин, що не перевищують 2,2 %.



## Порівняння режимів роботи ІТП

Режими роботи ІТП	Тр-ть режиму роботи $n$ , години	Сер. тем-ра зовн. пов., °С	Середня витрата теплоносія в системі опалення/ в подачі, т/год.	Ступінь підмішування звор. теплоносія, %	Спосіб управління	Загальна витрата теплової енергії, Гкал	Параметр енерго-ефективності $E$ , (°С·год.)/Гкал
Режим №1	168	+5,5	5,7 / 1,7	335 %	якісне	8,5	286,6
Режим №2	216	+3,2	4,5 / 1,8	250 %	якісне	12,3	295
Режим №3	168	-1,7	6,1 / 2,3	265 %	якісне	13,6	268,1
Режим №4	168	-0,5	4,6 / 1,8	255 %	якісне	11,7	294,4
Режим №5	144	-0,3	7,5 / 2,2 синхронно	340 %	кількісне	10,8	270,7
Режим №6	168	+2,7	5,5 / 1,9	290 %	якісне з реакцією	10,6	279,5
Без ІТП	168	-0,5	3,1	-	нерегульований елеватор	17,6	195,7

Для з'ясування питання про працездатність вибраної теплофізичної моделі, яка застосовується для розрахунку теплового стану приміщень, проводились порівняння результатів її застосування з експериментальними даними про тепловий стан корпусу № 1 в цілому. Для розв'язання задачі про тепловий режим всього корпусу система з 12 рівнянь застосовувалась для кожного приміщення, що міститься в будівлі, а також для коридорів та сходового маршу. Якщо в приміщенні розташовано 2 або більше вікон, а також 2 або більше нагрівальних пристроїв кількість розрахункових вузлів для такого приміщення відповідним чином збільшувалась. В цьому випадку враховувалось також теплоперенесення через внутрішні стіни приміщень до суміжних приміщень. Враховувалась тепловіддача кімнат, що розташовані на 3-му поверсі через дах до навколишнього середовища, та тепловіддача кімнат, що знаходяться на 1-му поверсі через не утеплену підлогу в ґрунт. Враховувалась тепловіддача кімнат, що розташовані в торцях будівлі через дві зовнішні стіни. Також враховувалось додаткове теплонадходження в робочий час від співробітника і комп'ютера, яке в сумі становило  $Q_v = 200$  Вт. Для розв'язання задачі про тепловий стан кожного приміщення корпусу, а також про тепловтрати корпусу в цілому достатньо задати загальні витрати теплоносія на корпус, температуру теплоносія на вході в систему опалення та температуру зовнішнього повітря. Розрахована за цим алгоритмом температура теплоносія на виході з системи опалення порівнювалась з експериментом.

Встановлено, що розрахункова температура зворотного теплоносія в середньому на 2,0-2,5 °С вища за експериментальну. Це пояснюється тим, що в



моделі, яка і так становить дуже складну систему, важко врахувати всі конструктивні елементи системи тепlopостачання, оскільки деякі з них знаходяться поза увагою спостерігача, зокрема в недосяжному підвалі під корпусом, в трубах, прокладених під підлогою тощо. Тому, можливо, в моделі не були враховані невидимі деталі системи опалення, що в свою чергу вплинуло на результат розрахунку. Отже, запропоновану теплофізичну модель можна вважати адекватною, оскільки похибка розрахунку температури зворотної води в максимальному відхиленні в 6...7 % знаходиться в межах допустимого.

**П'ятий розділ** присвячений аналізу енергетичної та економічної ефективності впровадженого експериментального ІТП.

Після проведеної модернізації інженерних систем тепlopостачання, а саме впровадження ІТП, питомі тепловитрати на опалення в середньому зменшились з 140 до 123 (кВт·год.)/(рік·м<sup>2</sup>).

Для реалізації інших підходів визначення ефективності впровадження ІТП була побудована залежність витрат теплової енергії від зовнішньої температури для системи тепlopостачання без ІТП та для системи тепlopостачання з ІТП (рис. 12).

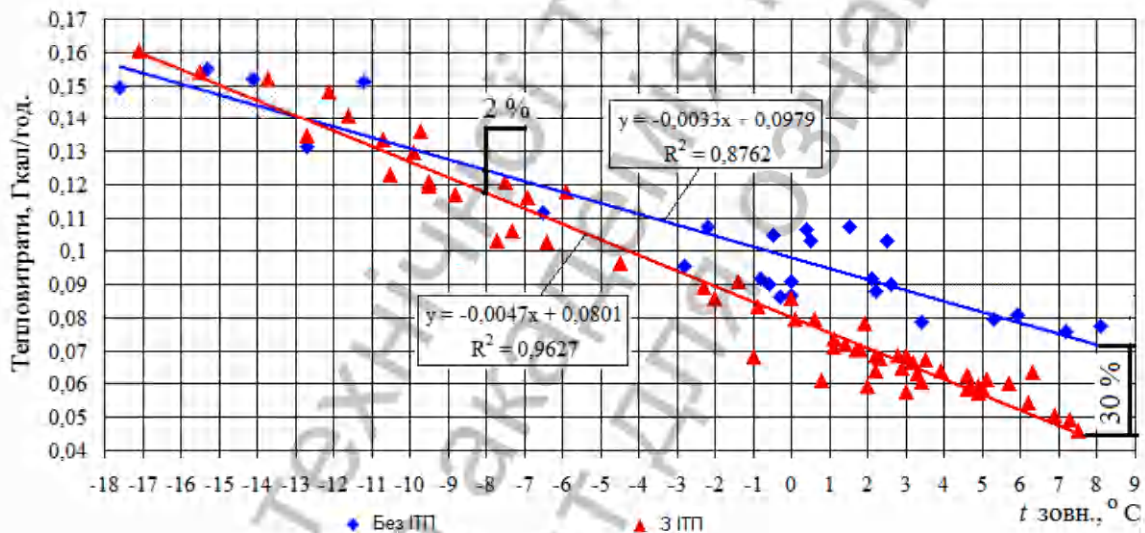


Рис. 12. Залежність тепловитрат від температури зовнішнього повітря в робочі дні (станом на 12:00 год.)

Як видно з рис. 12, найбільш ефективно ІТП працює в межах температури зовнішнього повітря (+8,0...-5,0) °C, а при більш низьких температурах ІТП відпрацьовує як звичайний тепловий пункт елеваторного типу. Встановлено, що при температурі зовнішнього повітря +8,0 °C вдається зекономити 30 % споживання теплової енергії у порівнянні з елеваторною нерегульованою системою.

На основі використання двох відомих методик (Німеччини та Росії) були проведені розрахунки зменшення витрат теплової енергії для кожного з режимів роботи ІТП, результати яких представлено в табл. 3.

Для визначення терміну окупності впровадженої експериментальної установки проводилися розрахунки для трьох варіантів тарифів на теплову енергію, з яких встановлено, що простий термін окупності ІТП на сьогодні становить до 3-х років.



## Розрахунок економії теплової енергії

Режим роботи ІТП	Середня тем-ра зовнішн. повітря, °С	Загальна к-ть градусо-годин за обраний опалюв. період, °С·год.	Зниження теп-лоспоживання, % (методика Німеччини)	Відносна величина зниження витрати теплової енергії, % (методика Росії)
опалювальний сезон 2012-2013 рр.				
Режим № 5	0,11	2969,74	7,1	5,6
Режим № 6	-0,33	3079,44	7,0	5,5
Режим № 4	-0,49	3106,32	6,9	5,4
Режим № 3	-1,68	3306,24	6,5	5,1
Режим № 1	-6,47	4110,96	5,4	4,1
Режим № 2	-8,99	4345,39	4,9	3,7
опалювальний сезон 2013-2014 рр.				
Режим № 2	3,40	2452,80	8,5	6,9
Режим № 5	2,71	2568,72	8,2	6,5
Режим № 1	2,45	2612,40	8,1	6,4
Режим № 4	1,65	2746,80	7,7	6,1
Режим № 6	-6,00	4032,00	5,5	4,2
Режим № 3	-12,33	5095,44	4,4	3,3

**ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ**

1. Проведено цільове енергетичне обстеження будівлі 1-го корпусу ІТТФ НАН України по вул. Булаховського, 2 та здійснено моніторинг її теплопостачання для опалення (з 2007 р. по 2015 р.).

2. Досліджено використання переривчастого ручного режиму управління теплоспоживанням будівлі.

3. Досліджено використання переривчастого режиму експлуатації одиночного опалювального пристрою системи опалення будівлі.

4. Розроблено алгоритм ефективного управління теплоспоживанням адміністративної будівлі в нічний час та в вихідні і святкові дні.

5. Розроблено схему, виготовлено та впроваджено експериментальний індивідуальний тепловий пункт (із використанням гідравлічної стрілки), що приєднується до системи теплопостачання за залежною гідравлічною схемою.

6. Проведені багаторічні експериментальні дослідження ІТП у реальному часі із постійним моніторингом основних параметрів теплопостачання. Відпрацюванні різні режими експлуатації ІТП. Встановлено, що найкращий варіант експлуатації ІТП з використанням триходового клапану, що виконує функцію підмішування в залежності від погодних умов, циркуляційний насос при цьому розташований в подавальному трубопроводі. Зазначимо, що запропонований режим найбільш ефективно використовувати до температур зовнішнього повітря, не нижчих  $-5...-7$  °С. При більш низьких температурах, за яких при діючих на сьогодні температурних графіках відпустку теплоти теплопостачальними організаціями ефективність



використання ІТП падає, більш доцільним є використання іншого режиму ІТП, як такого, при якому витрати електроенергії на експлуатацію ІТП є меншими.

7. Створено банк експериментальних даних (багатомільйонна кількість експериментальних точок) довготривалих за період 2007-2015 рр. вимірювань щогодинних значень температури довкілля і параметрів теплопостачання та теплоспоживання всієї філії ІТТФ НАН України (по вул. Булаховського, 2) і особливо корпусу №1 інституту. Отримані дані дають змогу в подальшому провести більш ретельний енергетичний і ексергетичний аналіз експлуатації системи теплопостачання корпусу як в традиційному варіанті застосування елеваторного вузла, так і при використанні ІТП.

8. Запропоновано параметр, що дозволяє оцінити ступінь енергоефективності сукупно будівлі та її системи теплозабезпечення.

9. Визначено енергетичну та економічну ефективності впровадження ІТП. Встановлено, що середня економія теплової енергії в опалюваний період оцінково становить до 15 %.

10. Розраховано, що простий термін окупності запропонованого ІТП на сьогодні становить до трьох років.

### **ВИСНОВКИ**

1. Використання запропонованого ІТП для будівлі каркасно-панельного типу проекту 416-3-3/70 “Універсальна 3-поверхова будівля розміром 18x60 м” 1966 р., що більш як 42 роки успішно експлуатується за штатним функціональним призначенням як адміністративна будівля бюджетної сфери для кліматичних умов м. Києва при погодозалежному регулюванні теплоспоживанням дозволяє щорічно економити до 15% теплової енергії. Така економія призводить до економії первинного палива на котельні в обсязі до 30 %.

2. Для теплового споживача, в якого теплота споживається декількома об'єктами (окремими будівлями), більш доцільно застосовувати залежний спосіб підключення ІТП до теплової системи кожного об'єкта, так як при цьому зміни гідравлічного режиму місцевих теплових мереж та систем теплозабезпечення об'єктів найменші в порівнянні із незалежним підключенням.

3. Враховуючи, що в відділенні ІТТФ НАН України по вул. Булаховського всі 4 будівлі, що опалюються в зимовий період, однакові та приймаючи до уваги переваги розробленого ІТП, а саме: високу енергоефективність, відносно помірну вартість, мінімальні зміни в гідравлічних режимах розподільчої теплової мережі, рекомендувати вказаний ІТП до впровадження в корпусах № 2-4 по вул. Булаховського, 2.

4. Для ефективного впровадження ІТП доцільно провести хоча б цільове енергетичне обстеження будівлі. При питомих витратах теплової енергії для системи опалення будівлі більших 300 кВт·годин/кв. м в рік, доцільність застосування ІТП є сумнівною (низькою).

### **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

Статті у виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз даних:

1. Лисенко О. М. Управління теплопостачанням будівлі на основі використання індивідуального теплового пункту оригінальної конструкції / О. М.



Лисенко, Л. М. Кужель, І. К. Божко // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2015. – Т. 1, № 8(73). – С. 61-67.

2. Басок Б. И. Поливалентная система теплообеспечения пассивного дома на основе возобновляемых источников энергии / Б. И. Басок, И. К. Божко, А. Н. Недбайло, О. Н. Лысенко // Инженерно-строительный журнал. – 2015. – №6. – С. 32-43.

Статті у наукових фахових виданнях:

3. Лисенко О. М. Індивідуальний тепловий пункт з гідравлічною стрілкою / О. М. Лисенко // Промышленная теплотехника. – 2011. – Т. 33, № 8 – С. 135-139.

4. Басок Б. И. Особенности теплоснабжения административного здания в отопительный период / Б. И. Басок, Б. В. Давыденко, С. М. Гончарук, О. Н. Лысенко, А. А. Лунина, А. И. Тесля, А. Н. Недбайло, М. В. Ткаченко // Керамика: наука и жизнь. – 2011. – № 4 (14). – С. 59-68.

5. Лисенко О. М. Оцінка окремих режимів експлуатації індивідуального теплового пункту / О. М. Лисенко // Промышленная теплотехника. – 2012. – Т. 34, № 7. – С. 95-99.

6. Басок Б. І. Особливості теплозабезпечення адміністративної будівлі на основі індивідуального теплового пункту / Б. І. Басок, О. М. Лисенко, В. П. Приємченко, С. В. Андрейчук // Будівельні конструкції. – 2013. – Вип. 77. – С. 184-187.

7. Басок Б. И. Температурный режим отапливаемого помещения. Приближенная теплофизическая модель / Б. И. Басок, Б. В. Давыденко, С. М. Гончарук, О. М. Лысенко // Промышленная теплотехника. – 2013. – Т. 35, № 4. – С. 23-30.

8. Басок Б. И. Эффективность прерывистого режима отопления помещений / Б. И. Басок, Б. В. Давыденко, С. М. Гончарук, О. М. Лысенко // Промышленная теплотехника. – 2013. – Т. 35, № 6. – С. 39-46.

9. Давиденко Б. В. Дослідження параметрів експериментального індивідуального теплового пункту при різних режимах його експлуатації / Б. В. Давиденко, С. В. Андрейчук, В. П. Приємченко, О. М. Лисенко // Промышленная теплотехника. – 2013. – Т. 35, № 7. – С. 240-245.

10. Басок Б. І. Експериментальні дослідження теплозабезпечення адміністративної будівлі за опалювальний період 2012-2013 рр. / Б. І. Басок, Б. В. Давиденко, О. М. Лисенко // Будівельні конструкції. – 2014. – Вип. 80. – С. 109-112.

11. Басок Б. І. Шляхи підвищення ефективності використання теплової енергії в системах теплопостачання будівель / Б. І. Басок, Б. В. Давиденко, О. М. Лисенко, С. М. Гончарук // Энергоэффективность в строительстве та архитектурі. – 2014. Вип. 6. – С. 9-13.

12. Недбайло А. Н. Математическая модель нестационарного процесса теплопереноса в многослойной ограждающей конструкции. / А. Н. Недбайло, М. Ф. Калинина, И. К. Божко, М. П. Новицкая, С. М. Гончарук, Л. Н. Кужель, О. Н. Лысенко // Керамика: наука и жизнь. – 2014. – № 2 (23). – С. 14-29.

13. Басок Б. І. Експериментальні дослідження ефективного управління теплопостачанням адміністративної будівлі бюджетної організації / Б. І. Басок, В. Г. Новіков, О. М. Лисенко, В. П. Приєченко, О. В. Ряснова // Энергоэффективность в



будівництві та архітектурі. – 2015. Вип. 7. – С. 17-21.

Патенти:

14. Пат. 70590 Україна, МПК (2012.01), F24D 15/00, F24D 3/02 (2006.01). Індивідуальний тепловий пункт / А. А. Долінський, Б. І. Басок, О. М. Лисенко, А. О. Авраменко, А. Р. Коба, А. І. Тесля, М. А. Хибина; заявник та власник Інститут технічної теплофізики НАН України. – № у 201109780; заявл. 08.08.2011; опубл. 25.06.2012, Бюл. № 12. – 3 с.

Тези доповідей:

15. Басок Б. І. Разработка индивидуального теплового пункта с гидравлической стрелкой / Б. И. Басок, А. Б. Басуров, А. Р. Коба, О.М. Лисенко, А. И. Тесля, М. А. Хибина // VII Международная конференция “Проблемы промышленной теплотехники” 23-27 мая 2011 г., г. Киев. Промышленная теплотехника. – 2011. – Т 33, №7. – С. 95.

16. Давыденко Б. В. Оригинальные индивидуальные тепловые пункты (с электрическими котлами и/или гидравлической стрелкой) / Б. В. Давыденко, О. Н. Лысенко // Украина-Россия-Сколково. Единое инновационное пространство. Мат. Межд. конф. 22-23 мая. – 2013. – С. 123-124.

17. Басок Б. І. Теплофізичне моделювання повітряно-температурного режиму приміщення громадської будівлі при переривчастому режимі опалення / Б. І. Басок, Б. В. Давиденко, С. М. Гончарук, О. М. Лисенко // Збірник тез доповідей I міжнародної науково-практичної та навчально-методичної конференції “Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку – 2014”, 27-29 травня 2014 р. НТУУ “КПІ”, м. Київ. – 2014. – С. 21.

18. Лисенко О. М. Дослідження експлуатації експериментального індивідуального теплового пункту. / О. М. Лисенко // Відновлювана енергетика, новітні автоматизовані електротехнології в біотехнічних системах АПК. Тези доповідей, 16-17 жовтня 2014, м. Київ. – 2014. С. 47-48.

### АНОТАЦІЯ

**Лисенко О.М. Ефективність управління теплоспоживанням адміністративної будівлі при використанні індивідуального теплового пункту.** – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.06 «Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика» / Інститут технічної теплофізики Національної академії наук. – Київ, 2015.

У дисертаційній роботі здійснено теоретичні та експериментальні дослідження ефективного управління теплоспоживанням адміністративної будівлі при використанні індивідуального теплового пункту.

У результаті проведеного цільового енергетичного обстеження будівлі було розраховано питомі тепловитрати на її опалення. Проведено дослідження використання переривчастого ручного режиму управління теплоспоживанням будівлі. На основі запропонованої моделі теплового режиму приміщення з зосередженими параметрами досліджено різні способи забезпечення переривчастого режиму опалення приміщень. Створено експериментальну установку ІТП, що забезпечує різні варіанти її експлуатації. Проведено довготривалі експериментальні



дослідження ІТП у реальному часі із постійним моніторингом основних параметрів теплопостачання та відпрацьовано різні режими роботи ІТП. Запропоновано параметр енергоефективності, на основі якого було обрано три найефективніших режими роботи ІТП. Проведено порівняння розрахункових значень, отриманих за допомогою теплофізичної моделі, з експериментальними. На основі побудованих графічних залежностей, визначено температурний діапазон зовнішнього повітря, за якого використання ІТП найефективніше. Здійснено розрахунки середньої економії теплової енергії в опалюваний період, що становить до 15 %. Наведено аналіз економічної ефективності впровадження ІТП та розраховано термін його окупності.

**Ключові слова:** теплоспоживання, індивідуальний тепловий пункт, система опалення, енергоефективність, енергозбереження.

## АННОТАЦИЯ

**Лысенко О.Н. Эффективность управления теплопотреблением административного здания при использовании индивидуального теплового пункта. – Рукопись.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.06 «Техническая теплофизика и промышленная теплоэнергетика» / Институт технической теплофизики Национальной академии наук Украины. – Киев, 2015.

В диссертационной работе осуществлено теоретические и экспериментальные исследования эффективного управления теплопотреблением административного здания при использовании индивидуального теплового пункта.

В результате проведенного целевого энергетического обследования здания были рассчитаны удельные теплопотери на его отопление и определена целесообразность внедрения ИТП. Проведено исследование использования прерывистого ручного режима управления теплопотреблением здания, установлены его преимущества и недостатки. На основе предложенной модели теплового режима помещения с сосредоточенными параметрами исследованы различные способы обеспечения прерывистого режима отопления помещений, определены лучшие из них за температурой теплоносителя и протяженности временного интервала перегрева. Полученные результаты были положены в основу эффективного регулирования теплопотреблением здания и использованы при проведении экспериментальных исследований ИТП.

Создана экспериментальная установка ИТП, что обеспечивает различные варианты ее эксплуатации. Проведены долговременные экспериментальные исследования ИТП в реальном времени с постоянным мониторингом основных параметров теплоснабжения и отработаны различные режимы работы ИТП. Предложен параметр энергоэффективности, на основе которого были выбраны три самых эффективных режима работы ИТП. Установлено, что наиболее эффективным из всех является режим с использованием трехходового клапана, который выполняет функцию подмешивания в зависимости от погодных условий, циркуляционный насос при этом расположен в подающем трубопроводе. Также произведен расчет абсолютных погрешностей измерения параметров теплоснабжения и относительных погрешностей диапазона измеренных величин,



которые не превышают 2,2 %. Проведено сравнение расчетных значений, полученных с помощью теплофизической модели, с экспериментальными. Установлено, что расчетная температура обратного теплоносителя в среднем на 2-2,5 °С выше экспериментальной, что находится в пределах допустимого, учитывая всю сложность использованной модели здания.

После внедрения ИТП удельные теплотери на отопление в среднем уменьшились с 140 (кВт·ч.)/(год·м<sup>2</sup>) до 123 (кВт·ч.)/(год·м<sup>2</sup>). На основе построенных графических зависимостей определен диапазон температур наружного воздуха, а именно (+8,0...- 5,0) °С, при котором использование ИТП наиболее эффективно. Установлено, что при температуре наружного воздуха +8,0 °С удается сэкономить 30% потребления тепловой энергии по сравнению с нерегулируемой системой элеваторного типа. Осуществлены расчеты средней экономии тепловой энергии в отопительный период, что составляет до 15 %. Приведен анализ экономической эффективности внедрения ИТП и рассчитан срок его простой окупаемости.

**Ключевые слова:** теплотребления, индивидуальный тепловой пункт, система отопления, энергоэффективность, энергосбережение.

#### ANNOTATION

**Lysenko O.M. Management efficiency of heat consumption of the administrative building using individual heat point. – Manuscript.**

Dissertation for candidate of technical sciences scientific degree, specialty 05.14.06 "Technical thermal physics and Industrial Heat Power Engineering" / Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences. – Kiev, 2015.

In the thesis presents the theoretical and experimental studies of effective management of heat consumption of the administrative building using individual heat point.

As a result of targeted energy audit of the building were calculated specific losses of heat for its heating. A study of the use of intermittent manual mode control heat consumption of the building was conducted. Based on the proposed model of thermal regime of room with lumped parameters was investigated various ways providing of intermittent mode of heating. The experimental installation which providing various options for its operation was created. A long-term experimental research in real time with constant monitoring of basic parameters of heating was conducted and worked various modes of individual heat point. A parameter of energy efficiency was proposed, on which three most effective modes of individual heat point was selected. Comparison of the calculated values obtained using thermal physical model with experimental was conducted. On the basis of the constructed graphic dependencies defined temperature range of outside air by which using of individual heat point is effectively. Calculations averages savings of heat energy in the heating period, which are up to 15 % was done. The analysis of economic effectiveness and implementation individual heat point and its simple payback period was shown.

**Keywords:** heat consumption, individual heat point, heating system, energy efficiency, energy saving.



ІНСТИТУТ ТЕХНІЧНОЇ ТЕПЛОФІЗИКИ  
Національна академія наук України  
автореферат для ознайомлення



Інститут технічної теплофізики  
Національна академія наук України  
автореферат для ознайомлення

Підписано до друку 28.10.15 р. Формат 60x90 /16  
Ум. друк. арк. 0,9. Обл.-вид.арк. 0,9.  
Тираж 100 прим. Зам. № 14/4

**ТОВ «Поліграф-Сервіс»**  
м. Київ, вул. Желябова, 2а, оф. №113  
Тел.: (044) 581-64-63