

ЯВОРСЬКИЙ АНДРІЙ

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
<https://orcid.org/0000-0002-5970-4286>
e-mail: andrii.yavorskyi@nung.edu.ua

ЖОВТУЛЯ ЛЮБОМИР

Університет Короля Данила
<https://orcid.org/0000-0001-5255-8522>
e-mail: liubomyr.zhovtulia@ukd.edu.ua

ЦИХ ВІТАЛІЙ

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
<https://orcid.org/0000-0002-9095-4099>
e-mail: vitalii.tsykh@nung.edu.ua

РИБИЦЬКИЙ ІГОР

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
<https://orcid.org/0000-0003-3596-3918>
e-mail: ihor.rybitskyi@nung.edu.ua

ХУДИЦЬКА ЮЛІЯ

Філія український науково-дослідний інститут природних газів (УКРНДІГАЗ)
акціонерного товариства «Укргазвидобування»
<https://orcid.org/0009-0005-1691-5592>
e-mail: yulia12042000ua@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМ ЕЛЕКТРООПАЛЕННЯ ДЛЯ НАВЧАЛЬНИХ АУДИТОРІЙ УНІВЕРСИТЕТУ

Дана робота присвячена дослідженню енергетичної ефективності застосування систем електричного опалення навчальних аудиторій Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (ІФНТУНГ), де було визначено реальний стан систем опалення та їх ефективність у навчальному корпусі №9. Було проведено експериментальне дослідження, яке включало визначення часу нагрівання й охолодження робочих поверхонь і визначення розподілу температур по них у навчальній аудиторії; визначення розподілу теплової енергії на декількох рівнях приміщення.

Отримано експериментальні дані для оцінки ефективності функціонування різних систем електричного опалення навчальних аудиторій в черговому режимі, що дозволило обрати систему інфрачервоного опалення на базі стельових нагрівачів, як найбільш оптимальне технічне рішення для забезпечення прийняттого рівня комфорту та енергетичної ефективності. Також досліджено ефективність застосування повітряних терморегуляторів для системи електроопалення на базі інфрачервоних нагрівачів, яка працює в черговому режимі, що є причиною надлишкових витрат електричної енергії.

Результати підтверджують, що система опалення, що використовує інфрачервоні панелі, забезпечує рівномірний розподіл тепла, підтримує комфортні умови температури та вологості, та вирізняється високою енергетичною ефективністю. Натомість, використання електричних конвекторів при неефективній роботі системи водяного опалення не забезпечує адекватного нагріву повітря, особливо в просторах та високих приміщеннях, де відбувається швидке розсіювання тепла через недостатню теплоізоляцію.

Отримані в ході наукових досліджень дані разом з попередніми дослідженнями дозволяють розпочати розробку автоматичної інтелектуальної системи керування опаленням та вентиляцією, яка використовуватиме найпереводіші результати досліджень у сфері ефективної експлуатації інженерних систем навчальних закладів.

Ключові слова: енергетична ефективність, електричне опалення, вентиляція, опалення, системи управління.

YAVORSKYI ANDRII

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

ZHOVTULIA LIUBOMYR

King Danylo University

TSYKH VITALII

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

RYBITSKYI IHOR

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

KHUDYTSKA YULIA

Branch of the Ukrainian Research Institute of Natural Gases (ukrndigas) of
the Joint Stock Company Ukrgasvydobuvannia

RESEARCH OF STRUCTURAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF MEAT AS AN OBJECT OF PROCESSING IN MEAT COMMINUTOR

This work is dedicated to the study of the energy efficiency of using electric heating systems in the classrooms of Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas (IFNTUOG), where the actual state of heating systems and their efficiency in educational building №9 were determined. An experimental study was conducted, which included determining the heating and cooling time of working surfaces and the distribution of temperatures across them in a classroom; determining the distribution of thermal energy at several levels of the room.

Experimental data were obtained to evaluate the effectiveness of different electric heating systems in classrooms in standby mode, which allowed selecting the infrared heating system based on ceiling heaters as the most optimal technical solution for providing an acceptable level of

comfort and energy efficiency. The effectiveness of using air thermostats for the electric heating system based on infrared heaters, which operates in standby mode, leading to excessive electricity consumption, was also studied.

The results confirm that the heating system using infrared panels ensures even heat distribution, maintains comfortable temperature and humidity conditions, and is distinguished by high energy efficiency. In contrast, the use of electric convectors with an inefficient water heating system does not provide adequate air heating, especially in spacious and high rooms, where heat dissipates quickly due to insufficient insulation.

The data obtained during the scientific research, along with previous studies, allow for the development of an automatic intelligent heating and ventilation control system that will use the most advanced research results in the field of efficient operation of engineering systems in educational institutions.

Keywords: energy efficiency, electric heating, ventilation, heating, control systems.

Постановка проблеми

В умовах важкого стану енергетичної системи України та загалом постійного зростання тарифів на природні енергетичні ресурси в Україні все більшого значення набувають питання модернізації та підвищення енергоефективності будівель та їхніх інженерних систем. При цьому вже довгий час громадські будівлі, в тому числі навчальні заклади, найбільше страждають від неефективного споживання енергоресурсів. А недотримання правильного температурного режиму, яке виникає внаслідок неефективного споживання, може негативно вплинути на якість навчального процесу та здоров'я осіб, які довгий час перебувають у такому приміщенні [1].

Середньостатистичний стан навчальних приміщень в Україні можна оцінити як незадовільний. Це пов'язано з тим, що більшість громадських будівель України були збудовані в 60-х – 90-х роках, а точніше: 47% збудовано до 1970 року, 20% протягом 1970-1980 років, 30% – у 1980-1996 роках, лише 3% після 2007 року. Архітектурні рішення під час проектування та вибрані технології будівництва не враховували існуючі на даний момент вимоги до енергоефективності через постійне зростання цін на енергоносії і рівень вимог до мікроклімату у приміщеннях. У період 1970-1990 років, у зв'язку з низькою вартістю енергетичних ресурсів, до будівництва зовнішніх стін підходили з метою вирішення проблем несучої здатності, а не ізоляції, тому практично усі будівлі того часу виконані без належної теплоізоляції.

Системи опалення більшості навчальних закладів й інших громадських будівель відповідають стану теплового обладнання середини минулого століття. Адже вони складаються з старих, зношених труб й примітивних опалювальних приладів, де запірна арматура не працює, потребує ремонту або відсутня. Вузли вводу тепла у будівлю не мають засобів автоматизації, які б регулювали гідравлічні й теплові характеристики системи опалення. Основним недоліком є відсутність автоматичних регулювальних приладів, а також відсутність можливості оплати лише за фактично спожите тепло.

Беручи також до уваги факт того, що системи опалення, вентиляції й кондиціонування є найбільшими споживачами енергії в будівлях і на них припадає приблизно 70% загального споживання енергії, то необхідним є якомога ефективніше використання ними існуючої енергії, по можливості застосування її повторно, а також використання відновлюваної енергетики.

В навчальних закладах основними приміщеннями є аудиторії, де сприйняття й викладання навчального матеріалу відіграє важливу роль у засвоєнні інформації. Вагомий вплив на стан людей відіграє мікроклімат у навчальних приміщеннях, тому, пріоритетом для керівництва навчальних закладів має бути безпечне та комфортне повітряне середовище в приміщеннях.

Для аудиторій навчальних закладів внутрішня температура повітря має становити 18°C, де повітрообмін повинен визначатись за умов видалення забрудненого повітря і подачі припливного свіжого повітря за розрахунку не менш 20 м³/год на одну людину, при нормі відносної вологості 40-60 %. Основними нормативними документами, які встановлюють нормативні умови мікроклімату в приміщеннях є ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція, кондиціонування» та ДСТУ Б EN 15251:2011 «Розрахункові параметри мікроклімату приміщень для проектування та оцінки енергетичних характеристик будівель по відношенню до якості повітря, теплового комфорту, освітлення та акустики».

Повітрообмін у навчальних закладах й інших громадських будівлях, можна оцінити у не більше 20-30% від розрахункового, адже з усіх вентиляційних систем дієздатними і частково дієздатними є тільки витяжні вентиляційні системи з природним спонуканням (без наявності вентиляторів). Також негативним є те, що на сьогодні, практично всі дерев'яні вікна замінені на пластикові склопакети, котрі дуже обмежують доступ свіжого повітря. Також пластик є одним із джерел виділення в приміщеннях різноманітних хімічних речовин.

Тому, розуміючи важливість даного напрямку досліджень, та беручи до уваги обраний тип будівель, в цій роботі буде описано результати дослідження пов'язаного із енергетичною ефективністю систем опалення аудиторій навчального закладу.

Аналіз останніх джерел

Аналізуючи світовий ринок опалювальних приладів, перш за все стає зрозумілим, що на даний час є величезний спектр різноманітних систем тепlopостачання, від печей до високотехнологічних теплових насосів. Проте потрібно розуміти, що у навчальних будівлях, які фактично є громадськими приміщеннями, не всі системи будуть доречними. В результаті чого, із великого переліку залишається декілька основних типів опалення будівель. До цих систем можна віднести централізоване водяне опалення, яке за радянських часів було найбільш розповсюдженим і на даний час залишається таким. Також електричні варіанти опалення, такі як електричні конвектори, інфрачервоні панелі та теплові насоси.

У науковій роботі [2], що вивчає просторово-часові розподіли температур в приміщеннях будівлі з центральним регулюванням системи опалення, доведено неефективність водяного опалення при роботі в

черговому режимі. Вивчення добових змін температур дає змогу більш точно розрахувати потреби в опаленні та охолодженні в різні часи доби.

Вплив режиму роботи систем опалення навчальних закладів досліджено [3] в Київському політехнічному інституті імені Ігоря Сікорського. В роботі підкреслено важливість коригування систем опалення для зменшення енергоспоживання у періоди часткової зайнятості, наприклад, під час карантину, що є економічно вигідним з огляду на зростання цін на енергоносії. Це спонукає проведення дослідження ефективності застосування електричних джерел тепла та впливу експлуатаційних змін на енергоспоживання будівлею.

Одним із варіантів вирішення проблеми теплопостачання в режимі часткової зайнятості є автоматизовані теплові пункти описані в монографії [4]. Автоматизація значно покращує кліматичні умови, що контролюється комп'ютерною системою. Проте, це значно навантажує систему опалення та все ж потребує час для попереднього нагріву. Також така система працює тільки на теплозабезпечення як мінімум одного навчального корпусу та не дає можливість контролю на нижчому рівні при частковій експлуатації приміщень.

В результаті аналізу останніх досліджень сформовано мету роботи, що полягає у дослідженні ефективності роботи систем електричного опалення у навчальних аудиторіях для подальшого визначення перспективних варіантів модернізації та зниження втрат теплової енергії.

Виклад основного матеріалу

Для проведення дослідження вибрано корпус №9 Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. Будівля збудована у 1976 році із загальною площею 2907,3 м² та розрахована на 180 осіб.

Даний навчальний корпус розміщений між двома іншими корпусами університету, тому деякі системи є взаємопов'язаними. Конструкція будівлі є складною, має два поверхи, відповідно наявні фізичні процеси, які мають вплив на мікроклімат у приміщеннях. Загальний вигляд навчального корпусу №9 та його орієнтацію по сторонах світу зображено на рис. 1.

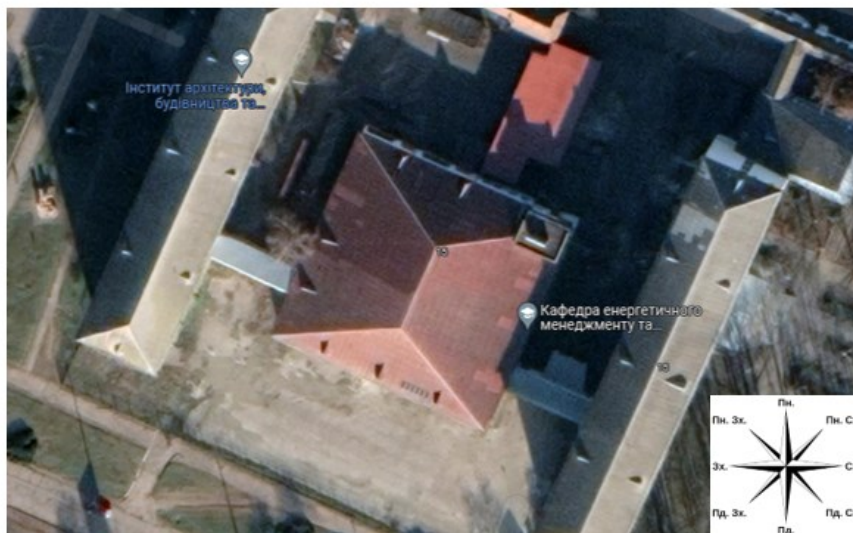


Рис. 1. Орієнтація по сторонах світу навчального корпусу №9 ІФНТУНГ

Температурний режим у приміщенні залежить від теплозахисних показників огорожувальних конструкцій, теплової потужності систем опалення та інтенсивності інших джерел теплонаходження та тепловтрат.

Визначено загальний опір теплопередачі зовнішніх огорожувальних конструкцій, що приведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Результати обчислень опорів теплопередачі для огорожувальних конструкцій

| Тип огорожень | Загальний опір теплопередачі, $R_{\text{заг}}, \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$ | Коефіцієнт теплопередачі, $k, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ |
|---|---|--|
| зовнішні стіни | 2,56 | 0,39 |
| внутрішні двері | 0,28 | 3,54 |
| вікна | 0,41 | 2,41 |
| горишне перекриття | 0,41 | 2,41 |
| перегородка | 0,34 | 2,91 |
| перекриття між першим та другим поверхами | 0,35 | 2,85 |
| підлога першого поверху | 0,3 | 3,23 |

Порівнюючи отримані значення опорів теплопередачі огорожувальних конструкцій із нормативними значеннями [5] потрібно сказати, що вони не забезпечують мінімально допустимих вимог. Це означає, що будівля потребує модернізації огорожувальних конструкцій. На даний час потрібно забезпечити більшу потужність опалювальних приладів для компенсації втрат теплової енергії через огорожувальні конструкції. Для цього розраховано загальні тепловтрати кожного із приміщень, наведені у таблиці 2. Також в даній таблиці наводимо значення втрат енергії через огорожувальні конструкції і результат загальних втрат приміщень.

Таблиця 2

Зведені результати втрат енергії у навчальних аудиторіях корпусу №9 ІФНТУНГ

| Назва приміщення | Площа приміщення S , m^2 | Висота приміщення h , м | Об'єм приміщення V , m^3 | Кількість вентиляваного повітря L , m^3 | Втрати на нагрівання вентиляваного повітря, Q_B | Втрати через огорожувальні конструкції, Q_a , Вт | Загальні втрати енергії, Q_1 , Вт |
|------------------|------------------------------|---------------------------|------------------------------|---|---|--|-------------------------------------|
| Аудиторія 9124 | 107,91 | 4,25 | 458,62 | 458,62 | 2055,58 | 9486,07 | 11541,65 |
| Аудиторія 9206 | 51,1 | 2,73 | 139,5 | 139,5 | 625,25 | 3587,31 | 4212,56 |

За результатами проведеного розрахунку можна зазначити, що втрати енергії є значними і відповідно приміщення потребують значної модернізації [6], або компенсації потужністю опалювальних приладів.

Для забезпечення тепlopостачання навчальних корпусів ІФНТУНГ використовується система водяного опалення, де в якості генератора тепла використовуються дахові та наземні міні-котельні, що розміщені на території університету. Незважаючи на наявність власних міні-котельень, система опалення навчальних корпусів, внаслідок відсутності в ній регулюючих пристроїв, не дозволяє забезпечувати повноцінне опалення тільки окремих навчальних приміщень за умови часткового завантаження навчального корпусу у випадку змішаної форми навчання.

Для вирішення задачі забезпечення належного теплового режиму у випадку переведення системи опалення в режим підтримання приміщень, в обраних навчальних аудиторіях корпусу №9 ІФНТУНГ облаштовано альтернативне електричне опалення. До даної альтернативної системи опалення відносяться електричні конвектори та стельові інфрачервоні панелі. В даній роботі проводилось дослідження кількох аудиторій навчального корпусу, які містять електричну систему опалення.

Провівши попередній розрахунок втрат теплової енергії у приміщеннях корпусу №9 університету ІФНТУНГ та проаналізувавши наявні системи опалення, що забезпечують створення комфортних умов перебування та роботи потрібно перейти до проведення експериментальних досліджень, які дозволять виявити закономірності роботи різних систем будівлі, а також визначити ефективність їхньої роботи. Для цього було проведено дослідження роботи систем інфрачервоного опалення, яке наявне у лекційній аудиторії №9124 (опалюваний об'єм – $459 m^3$), конвекційного опалення із застосуванням електричних конвекторів в аудиторії №9206 (навчальна лабораторія, опалюваний об'єм – $137 m^3$). Проведені дослідження мали наступний характер. За допомогою вимірювальних приладів (термогігрометр, термоанемометр і інфрачервоний пірометр), зображених на рис. 2., визначалась низка важливих параметрів мікроклімату приміщення та ефективності роботи систем електричного опалення, до яких відносились величини зовнішньої та внутрішньої температури, температури робочих поверхонь, температури на різних рівнях приміщення, величина споживання електричної енергії, значення вологості повітря та особисті відчуття щодо комфорту.



Рис. 2. Фото вимірювальних приладів, які використовувались у дослідженні

В ході експерименту із системами електричного опалення було проведено в кожній із зазначених аудиторій фіксацію перелічених вище показників з інтервалом 15 хвилин. Дані були зняті в різних точках приміщення, щоб забезпечити об'єктивність експериментів та визначення розподілу теплової енергії.

Оскільки, системи опалення в кожному приміщенні є різні, то потрібно розглянути детально проведення кожного експерименту.



Рис. 3. Процес проведення вимірювання температури приміщення в контрольних точках

Найбільшим за площею приміщенням, яке використовувалась для вимірювань, моніторингу й спостереження була велика лекційна аудиторія №9124. Фото аудиторії наведено на рис. 3.

В даній аудиторії, як видно з рис. 3, наявна електрична система опалення, а саме опалення за допомогою стельових інфрачервоних панелей. Така система складається із опалювальних приладів – стельових інфрачервоних панелей та системи керування, до якої входить щиток моніторингу, електрощиток та кімнатний термостат (рис. 4).



Рис. 4. Фото системи керування інфрачервоними панелями: щиток моніторингу, електрощиток, кімнатний термостат

Щиток керування обладнаний системою моніторингу споживання енергетичних ресурсів smart-MAIC [7] за допомогою якої визначається споживання електричної енергії на потреби опалення. Увімкнення і вимкнення стельових інфрачервоних нагрівачів здійснюється за допомогою електрощитка. В системі опалення використовується кімнатний термостат Cewal RQ, Такий прилад є механічним та призначений для монтажу у приміщенні. Термостат керує охолодженням або обігрівом приміщення для можливості досягнення комфортної температури, дозволяє встановлювати температуру від +5 до +30°C.

Загалом у приміщенні встановлено 7 опалювальних приладів, які розмішені на підвісах, що прикріплені до стелі над робочими зонами. В аудиторії №9124 наявні довгохвильові стельові інфрачервоні нагрівачі Білюкс Б1000 [8]. Встановлена потужність становить 7000 Вт.

Оскільки інфрачервоні панелі розміщені над робочими поверхнями та згідно принципу їхньої роботи нагрівають спершу фізичні об'єкти приміщення, було прийнято рішення проводити фіксацію не всіх величин, а лише температуру робочих поверхонь (столи, стільці), спожиту електричну потужність і вологість. Вибрані величини як найкраще демонструють роботу та ефективність даної системи опалення. Після остаточного визначення вимірювальних величин було визначено схему вимірювань. Вона складається із фіксації початкових величин (вхідних) у 17 точках приміщення. Дане спостереження тривало до моменту, коли студентам та викладачам ставало комфортно працювати, тобто коли температура робочих поверхонь досягала 18-20°C. Після цього відбувалось охолодження приміщення та визначення часу, за який температура в приміщенні не повернеться до початкових значень. За результатами отриманими в ході експерименту було

сформовано схеми розподілу теплової енергії на робочих поверхнях до та після експерименту, також було побудовано графік зміни температури поверхонь в часі. На рис. 5 наведено схему розподілу теплової енергії на робочих поверхнях (залежність виділена голубим кольором – стільці, зеленим - столи).

Також, щоб правильно зрозуміти наведену схему розподілу потрібно враховувати наступні фактори. У аудиторії встановлено 7 стельових інфрачервоних панелей над робочими поверхнями із однаковим інтервалом. Відстань між столом студента та опалювальним приладом становить 1,93 м, а між сидінням та інфрачервоною панеллю 2,32 м. Дана відстань згідно встановлених нормативів є оптимальною і дозволяє забезпечити оптимальне прогрівання поверхонь. При цьому потрібно зазначити, що приміщення має висоту 4,25 м, як для лекційної аудиторії (висота приміщення навчальної лабораторії 2,7 м).

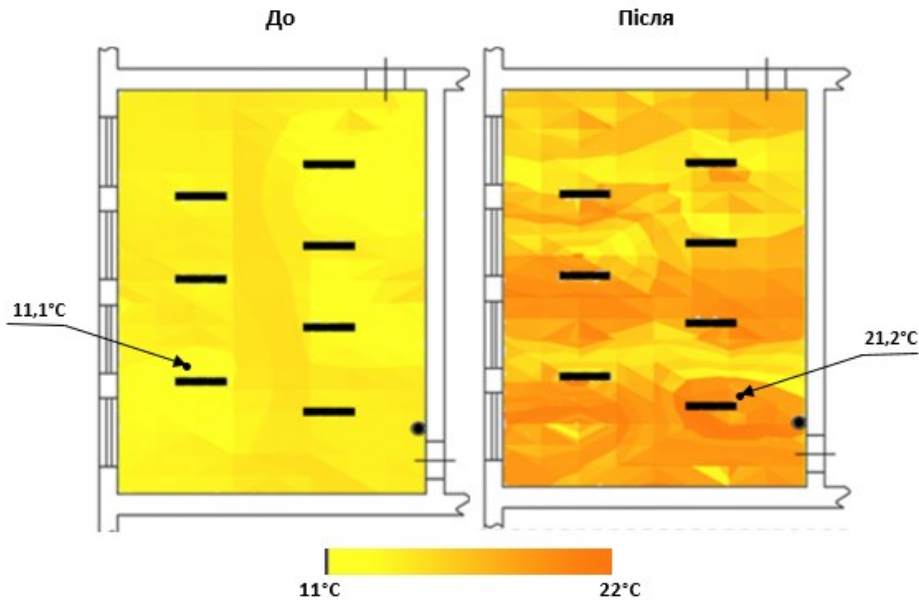


Рис. 5. Схема розподілу теплової енергії по робочих поверхнях у лекційній аудиторії 9124

Аналізуючи наведений на рис. 5 тепловий розподіл потрібно відмітити, що на початку експерименту температура приміщення та поверхонь була незадовільною і складала 11,1°C. Це зумовлено тим, що у зв'язку із складними умовами в країні керівництво прийняло рішення глобальної економії енергоресурсів та відповідно переведення систем опалення у режим підтримки приміщень, в рамках якої відбувається нагрів приміщень до температури 8-11°C. Проте, в результаті нагрівання, яке тривало 135 хв, було досягнуто задовільних характеристик мікроклімату приміщення, зокрема температури робочих поверхонь в районі 21,1°C. За особистими спостереженнями при нагріванні робочих поверхонь до такої температури стає комфортно працювати. Приблизно на середині експерименту умови в приміщенні були вже мінімально допустимими для навчання, тобто нормальними. Із термограми за результатами проведеного вимірювання спостерігається зонування приміщення за температурою. Найвні місця підвищеного нагрівання, які відповідають розміщенню безпосередньо над ними опалювальних приладів та місць низької температури. Враховуючи, що даним методом нагріву мається на меті забезпечити швидке прогрівання робочих місць працівників та студентів без опалення незадіяних ділянок, наявне зонування є допустимим та нормальним. Оскільки, термограми не показують всієї повноти проведеного дослідження, на рис. 6 наведено графіки нагрівання та охолодження робочих поверхонь досліджуваного приміщення.

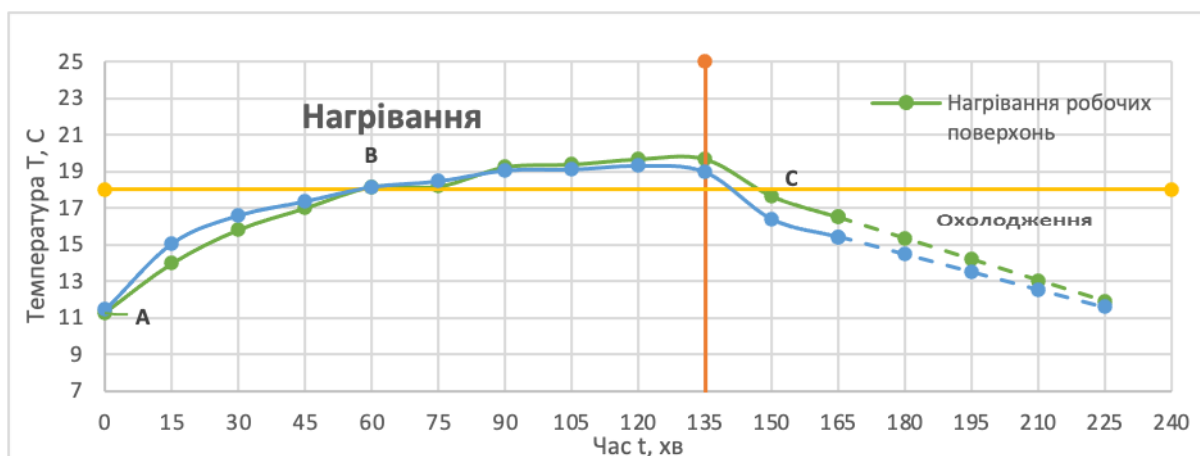


Рис. 6. Графік нагрівання робочих поверхонь у аудиторії 9124

Згідно даного графіка спостерігається досить швидке нагрівання до температури 18°C, що складає 60 хв. Проте також виявлено негативне явище, яке відображається у неконтрольованому нагріванні поверхонь. Тобто, робота опалювальних приладів продовжується навіть після досягнення комфортних умов праці. Це зумовлено тим, що у наявній системі опалення не правильно підібрано засоби керування. Кімнатний термостат, який розміщено поряд із електричним щитом, і зображеного на рис. 4 у визначену температуру в зоні розміщення, а оскільки система опалення працює на принципі нагрівання поверхонь, відповідно одночасне нагрівання повітря по всьому об'єму приміщення не відбувається. Відповідно створюється ситуація, коли у робочій зоні, температура занадто висока, а в зоні розміщення кімнатного термостата вона недостатня.

Наступний висновок, який можна зробити з наведеної залежності є те, що після вимкнення опалювальних приладів спостерігається дуже швидке охолодження робочих поверхонь. Фактично за 15 хв після вимкнення опалення температура поверхонь падає на 2 – 2,5°C. Потрібно зазначити, що при розгляді можливого проектування розумної системи керування електроопаленням для аудиторій із системами інфрачервоного опалення необхідно забезпечувати попереднє нагрівання приміщення протягом 1 години та вимикання за 15 хв до завершення роботи.

Другий дослід проведено в навчальному приміщенні №9206, що на рис. 7. Тут наявне водяне опалення та електричне.



Рис. 7. Фото аудиторії №9206 (навчальна лабораторія)

Водяне опалення в даному приміщенні працює аналогічно до попередньої аудиторії – режим підтримання. В даній аудиторії, було встановлено три електричні конвектори Atlantic із загальною потужністю 6000 Вт. Фото опалювальних приладів наведено на рис. 8. Для визначення величини споживання електричної енергії на потреби електроопалення використовується аналогічна до лекційної аудиторії система енергетичного моніторингу [7].



Рис. 8. Опалювальні прилади аудиторії №9206

Оскільки при використанні системи конвективного електричного опалення нагрівання відбувається безпосередньо внутрішнього повітря і змішування його в процесі конвекції повітря, то не буде доцільним постійне зняття даних щодо нагрівання поверхонь. Кращим та відповідно реалізованим варіантом є вимірювання температур повітря на різних рівнях приміщення за обраною схемою. В ході експерименту було визначено температуру на рівні людини (висота 1.5 м) та під стелею (висота 2.6 м). На рис. 9 наведено термограми на рівні людини до та після експерименту у аудиторії №9206.

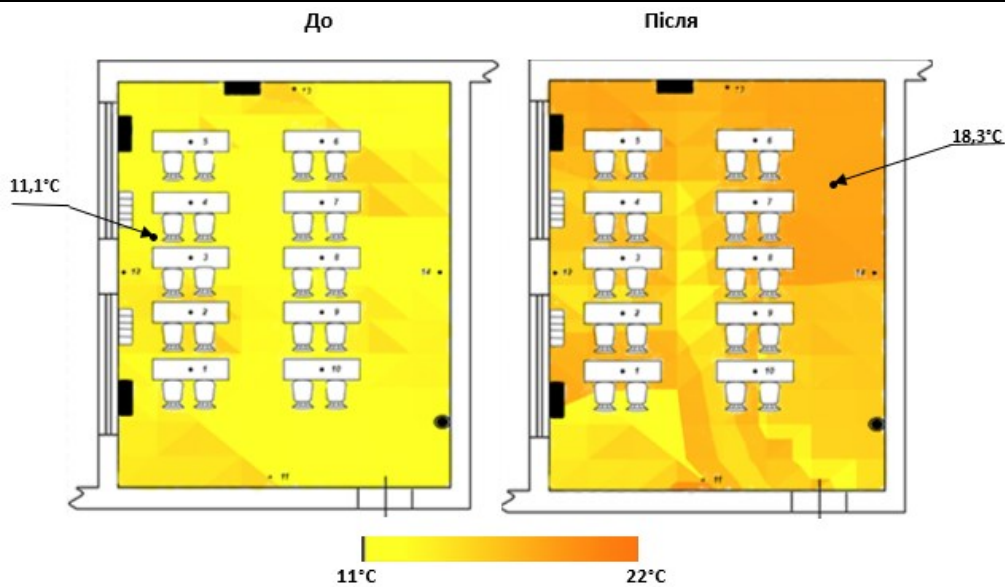


Рис. 9. Схема розподілу теплової енергії у аудиторії №9206

Маючи вже досвід аналізування термограм потрібно зазначити, що в даному приміщенні розподіл температури є нерівномірний, а максимальне нагрівання становило 18,3°C. Це свідчить, що система опалення за допомогою електричних конвекторів є неефективною в порівнянні із системою інфрачервоного опалення, оскільки при променевому опаленні значно легше досягнути рівномірного розподілу температури і саме завдяки такому розподілу забезпечується швидке та якісне нагрівання приміщення. Також, беручи інформацію, щодо встановленої потужності опалювальних приладів можна зазначити наступне, що при значних відмінностях у об'ємах приміщень та рівності встановленої потужності (6 кВт у ауд.9206 та 7 кВт у ауд.9124) значно ефективнішою є система опалення із використанням стельових інфрачервоних нагрівачів. Тобто на 1 м³ опалювального об'єму припадає значно менша опалювальна потужність (0,043 кВт/м³ – ауд.9206, 0,015 кВт/м³ – ауд. 9124). Відповідно, за умови застосування електроконвекторів у великих приміщеннях (особливо з висотою більше ніж 3 м) потрібно забезпечувати значно більшу потужність опалювальних приладів, що є недоцільно з точки зору енергоефективності.

Як і в попередньому досліді за результатами вимірювань було також побудовано графік нагрівання та охолодження повітря на різних рівнях (на рівні людини та біля стелі). Даний графік наведено на рис. 9.

Із графіка на рис. 9 наглядно видно, що спостерігається швидкий старт нагрівання повітря в перші 15 хв дослідження, проте в подальшому швидкість значно знизилась. Також чітко простежується, що повітря під стелею прогрівається практично одразу, проте повітря на рівні людини протягом експерименту, який тривав 165 хв так і не нагрілося до 18 °С. Це свідчить, що хоч і наявне швидке нагрівання у типових приміщеннях (з висотою стелі до 3м), але застосування такого типу опалення у великих та високих приміщеннях є зовсім не ефективним, оскільки все нагріте повітря в результаті явища конвекції піднімається вгору, де і залишається та охолоджується, цим самим не віддаючи теплову енергію приміщенню. Однак, при повному вимкненні опалення аудиторія різко втрачає теплову енергію. Це зумовлено аналогічними причинами як і у лекційній аудиторії №9124 – поганою термомодернізацією огорожувальних конструкцій.

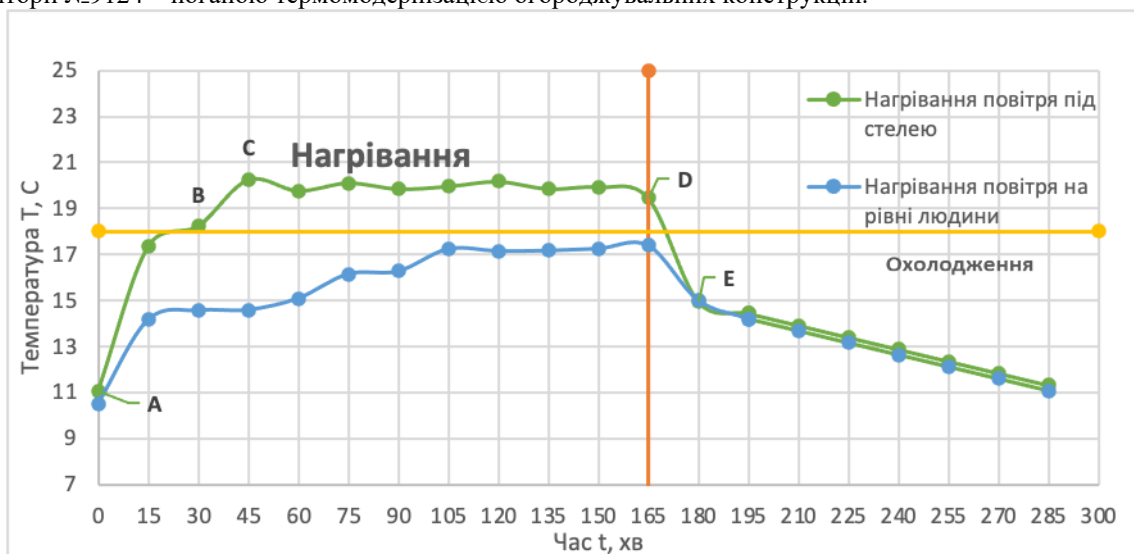


Рис. 9. Графік нагрівання та охолодження повітря у аудиторії 9206

В результаті проведених досліджень було спожито 15,9 кВт·год у аудиторії №9124 та 11.6 кВт·год у аудиторії №9206 до досягнення належної робочої температури, комфортної для проведення навчання. Потрібно зазначити, що у випадку використання інфрачервоних стельових нагрівачів в порівнянні з електроконвекторами споживання більше всього 1,37 рази за умови що об'єм лекційної аудиторії у 3,3 рази більший від навчальної лабораторії. Відповідно, отримані дані переконливо свідчать на користь застосування систем променевого опалення на базі стельових інфрачервоних нагрівачів для організації систем локального опалення навчальних аудиторій університету за умови роботи основної системи опалення в режимі «підтримання» будівлі.

Висновки

Доведено, що система електричного опалення на основі стельових інфрачервоних нагрівачів є найбільш оптимальним рішенням для навчальних аудиторій з точки зору забезпечення комфорту та енергоефективності. Електричні конвектори не рекомендуються застосовувати для приміщень з висотою понад 3 метри, а також для інших навчальних приміщень, де кращим способом обігріву є попередній нагрів перед початком роботи.

Практичне значення одержаних результатів полягає у можливості застосування систем інфрачервоного опалення, як найбільш ефективного для роботи в черговому режимі для навчальних аудиторій. Отримані дані по роботі інфрачервоного опалення в часі, для лекційної аудиторії, дозволяють створити ефективну систему адаптивного автоматичного керування підтримання належного комфорту під час проведення занять з відповідним забезпеченням мінімальної витрати електричної енергії.

Література

1. Базовий рівень споживання енергії громадськими будівлями. Роль базового рівня при проведенні енергетичної оцінки будівель та застосуванні механізму ЕСКО [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://surl.li/eakvb>.
2. Дешко В. І. Моніторинг температурного стану навчального корпусу / В. І. Дешко, І. Ю. Білоус // Енергетика. - 2015. - № 2. - С. 22-29. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/eete_2015_2_5.
3. Deshko, V., Bilous, I., Sukhodub, I., & Boiko, T. (2021). Energy consumption of the university educational buildings in the conditions of quarantine restrictions of Ukraine. *Technologies and engineering*, (2), 9–19. <https://doi.org/10.30857/2786-5371.2021.2.1>
4. Автоматизовані модульні теплові пункти для систем теплопостачання ВНЗ : монографія / А. В. Жильцов [та ін.]. - К. : Видавничий центр НУБіП України, 2021. - 365 с.
5. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель.
6. Панасюк І. В. Термомодернізація будівель закладів вищої освіти – проблеми та рішення [Електронний ресурс] / І. В. Панасюк, О. І. Єщенко, М. М. Шовкалюк – Режим доступу до ресурсу: <http://surl.li/eakxp>.
7. Досвід реалізації системи енергетичного моніторингу для університетської будівлі / Яворський А. В., Карпаш М.О., Жовтуля Л.Я., Рибіцький І.В., Цих В.С. // Нафтогазова енергетика 2021: міжнар. наук-техн. конф., Івано-Франківськ, 21-24 вересня 2021 р.: зб. тез доп. – Івано-Франківськ, 2021. – С. 195-197.
8. Довгохвильовий обігрівач інфрачервоний стельовий обігрівач «Білокс» Б1000. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://bilux.ua/bilux-bw-b1000/>.

References

1. Basic level of energy consumption by public buildings. The role of the basic level in conducting energy assessments of buildings and the application of the ESCO mechanism [Electronic resource] - Access mode: <http://surl.li/eakvb>.
2. Deshko, V. I. Monitoring the temperature condition of the educational building / V. I. Deshko, I. Yu. Bilous // *Energy*. - 2015. - No. 2. - Pp. 22-29. - Access mode: http://nbuv.gov.ua/UJRN/eete_2015_2_5.
3. Deshko, V., Bilous, I., Sukhodub, I., & Boiko, T. (2021). Energy consumption of university educational buildings under the conditions of quarantine restrictions in Ukraine. *Technologies and Engineering*, (2), 9–19. <https://doi.org/10.30857/2786-5371.2021.2.1>
4. Automated modular heat points for the heating supply systems of higher education institutions: monograph / A. V. Zhiltsov [et al.]. - Kyiv: Publishing Center of NUBiP of Ukraine, 2021. - 365 p.
5. DBN V.2.6-31:2021. Thermal insulation and energy efficiency of buildings.
6. Panasiuk, I. V. Thermomodernization of higher education institution buildings – problems and solutions [Electronic resource] / I. V. Panasiuk, O. I. Yeshchenko, M. M. Shovkaliuk – Access mode: <http://surl.li/eakxp>.
7. Experience in implementing an energy monitoring system for a university building / Yavorskyi A. V., Karpash M.O., Zhovala L.Ya., Rybitskyi I.V., Tsykh V.S. // *Oil and Gas Energy 2021: Int. sci-tech conf., Ivano-Frankivsk, September 21-24, 2021: coll. of abstracts.* – Ivano-Frankivsk, 2021. – Pp. 195-197.
8. Long-wave heater infrared ceiling heater "Bilux" B1000. [Electronic resource] - Access mode to the resource: <https://bilux.ua/bilux-bw-b1000/>.