

УДК 620.9.004.18 ; 536
№ Держреєстрації : 0123U103703
Інв. № _____

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЗАГАЛЬНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ**
03150, Київ, вул. Антоновича, 172; тел. (044) 294-67-01

ЗАТВЕРДЖУЮ

Заступник директора з наукової роботи
Інституту загальної енергетики
НАН України
д-р техн. наук, ст. досл.



Світлана КОВТУН

ЗВІТ

про науково-дослідну роботу

за договором від 01.03.2024 № 03/0048

**«ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ЕНЕРГОАУДИТУ БУДІВЕЛЬ
ЯК СКЛАДОВА ЕНЕРГЕТИЧНОЇ БЕЗПЕКИ КРАЇНИ»**

грантова підтримка Національного фонду досліджень України
у межах конкурсу «Наука для відбудови України у воєнний та
повоєнний періоди»

Науковий керівник НДР:
академік НАН України,
д-р техн. наук, професор

Віталій БАБАК

2024

Результати роботи розглянуто Вченою радою Інституту
загальної енергетики НАН України, протокол від "28"
листопада 2024 року № 18

РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 142 с., 55 рис., 14 табл., 105 джерел, 4 додатки.

Об'єкт дослідження – процеси теплообміну, теплопередачі, інфільтрації, повітропроникності будівель та вентиляції приміщень.

Мета роботи – підвищення енергоефективності будівель шляхом впровадження інформаційної технології їх енергоаудиту для досягнення цілей зниження енергоспоживання з одночасним забезпеченням параметрів мікроклімату приміщень.

Предмет дослідження: методи та засоби моніторингу теплових втрат через огорожуючі конструкції будівель, а також контролю параметрів мікроклімату приміщень

Методи дослідження. Методами порівняльного аналізу, узагальнення та систематизації визначено основні інформативні показники енергоефективності будівель та умови проведення відповідних досліджень, сформовано рекомендації з проведення енергоаудиту будівель, обґрунтовано номенклатуру сенсорної бази вимірювальних модулів системи моніторингу мікрокліматичних параметрів в приміщенні; аналіз результатів здійснено з використанням методів математичного і комп'ютерного моделювання.

Результати та їх новизна

Новизна проєкту має комплексний та міждисциплінарний характер.

- обґрунтовано шляхи підвищення точності вимірювання густини теплового потоку та розроблення рекомендацій з конструктивно-технологічних особливостей побудови сенсорів теплового потоку з урахуванням теплофізичних характеристик елементів конструкцій;
- розвинено методологію дослідження інфільтраційних тепловтрат при визначенні повітропроникності будівель методом випробувального тиску згідно ДСТУ EN ISO9972:2022;
- розвиток науково-практичних аспектів оцінювання технічного стану сенсорів вимірювальних модулів багатоканальних мереж контролю мікроклімату та якості повітря із використанням ряду статистичних мір розсіювання (коефіцієнта детермінації R^2 , коефіцієнта кореляції r , розмаху R та коефіцієнта варіації Cv) як динамічних статистичних характеристик, що дозволяє встановити ступінь варіативності результатів контролю, підвищити достовірність контролю за рахунок завчасного виявлення технічно несправних сенсорів;
- розвинено методологію контролю параметрів мікроклімату, що базується на сучасній теорії використання моделей інформаційних полів та статистичних методах опрацювання даних;
- створенно комплексної інформаційно-вимірювальної технології для визначення трансмісійних та інфільтраційних тепловтрат через огорожуючі конструкції будівель, яка враховує національні стандарти, норми з випробувань та відповідні стандарти ISO;
- розроблено рекомендації щодо структури вітчизняної бази даних для накопичення та опрацювання результатів моніторингу трансмісійних та інфільтраційних тепловтрат та параметрів мікроклімату, яка враховує особливості міжнародного стандарту ISO 9972:2015.

Впровадження результатів НДР - результати роботи впроваджено в ТОВ «БУД-БУД» для дослідження параметрів мікроклімату приміщень з використанням low-cost сенсорів та відповідних вимірювальних модулів, при дослідженні теплозахисних характеристик оболонки будівлі застосовано вдосконалену методику контролю теплового опору. Удосконалена математична модель розрахунку теплових втрат в будівлях впроваджена в освітній процес кафедри інженерії енергосистем Навчально-наукового інституту енергетики, автоматики і енергозбереження НУБіП України та буде використана при вивченні дисципліни «Енергетичний менеджмент та аудит» та «Інженерія відновлювальних джерел енергії і енергоменеджмент».

Опис кінцевого продукту. Сформовані рекомендації щодо вдосконалення методики дослідження на повітропроникність та методики проведення досліджень мікроклімату приміщень, що враховують національні та міжнародні стандарти і норми з випробувань, подані на розгляд до Управління енергоефективності Міністерства розвитку громад, територій та інфраструктури України (лист зареєстровано від 13.12.2023 №102065/0/7-23).

Розроблена структура апаратно-програмного комплексу контролю на герметичність огорожувальних конструкцій будівель або їх частин, що дозволило реалізувати прототип системи, що відповідає вимогам ДСТУ EN ISO 9972:2022 «Теплотехнічні характеристики будівель. Визначення повітропроникності будівель. Метод випробувального тиску». Підсистема створення різниці тиску забезпечує об'ємну витрату повітря в діапазоні від 1800 ... 4000 м³/год, що дає можливість проводити випробування на об'єктах площею від 18 до 100 м². Система забезпечує вимірювання різниці тиску в діапазоні 0...200 Па з невизначеністю $\pm 0,3$ Па, вимірювань об'ємної витрати повітря діапазоні 50...4000 м³/год. Контроль умов проведення випробувань за параметрами: температура з невизначеністю температури $\pm 0,5$ К в діапазоні від -20...+60 °С; відносна вологість в діапазоні 0...100 %; абсолютного тиску в діапазоні 700...1100 гПа.

Створений прототип апаратно-програмного комплексу контролю мікроклімату який базується на модульному принципі і забезпечує підключення сенсорів за допомогою інтерфейсів UART/SDIO/SPI/I2C/I2S/IR, оснащений Wi-Fi з підтримкою протоколу 802.11 b/g/n/e/i для побудови вимірювальної мережі. Апаратно-програмного комплекс забезпечений low-cost сенсорами метеорологічних параметрів (температури, відносної вологості, абсолютного тиску) та забруднюючих речовин (мілкодисперсний пил (PM_{2,5}, PM₁₀), CO, CO₂, NO₂, SO₂, CH₂O, NH₃)

Проведено експериментальні дослідження на повітропроникність, тепловий опір огорожувальних конструкцій будівель та параметрів мікроклімату приміщень, що дозволило здійснити апробацію запропонованих методики та засобів вимірювання та контролю.

Запропоновано структуру вітчизняної бази даних для накопичення та опрацювання результатів моніторингу трансмісійних та інфільтраційних тепловтрат та параметрів мікроклімату, що узгоджується з національною базу даних будівель з метою забезпечення функціонування систем енергоменеджменту будівель та реалізації Стратегії термомодернізації будівель, що визначена Законом України «Про енергетичну ефективність будівель».

Дані доробки призначені для застосування фахівцями з енергоаудиту, будівельними та енергетичними організаціями, підприємствами з виробництва будівельних матеріалів і конструкцій та їх сертифікації.

Енергоефективність будівель, повітропроникність, тепловий опір, енергоаудит, інфільтраційні тепловтрати, мікроклімат приміщень.