

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА"



МИКИЙЧУК БОГДАН МИКОЛАЙОВИЧ

УДК 621.317; 536.53

**СТВОРЕННЯ НОРМАТИВНО-ТЕХНІЧНИХ ЗАСАД ДЛЯ
ІНДИВІДУАЛЬНОГО ОБЛІКУ СПОЖИТОЇ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ З
ОЦІНЮВАННЯМ ЇЇ ЯКОСТІ**

05.01.02 Стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Львів – 2024

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Національному університеті “Львівська політехніка”
Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Яцук Василь Олександрович,
Національний університет “Львівська політехніка”
професор кафедри “Інформаційно-вимірювальні
технології”

Офіційні опоненти:
доктор технічних наук, професор
Середюк Орест Євгенович,
виконувач обов'язків завідувач кафедри
інформаційно-вимірювальних технологій
Івано-Франківського національного технічного
університету нафти і газу

кандидат технічних наук, доцент
Грінченко Ганна Сергіївна,
доцент кафедри автоматизації, метрології та
енергоефективних технологій
Українська інженерно-педагогічна академія

Захист відбудеться «29» серпня 2024 р. о 16⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.21 у Національному університеті “Львівська політехніка” (79013, Львів-13, вул. С. Бандери, 12, ауд. 226 головного корпусу).

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного університету “Львівська політехніка”: 79013, Львів-13, вул. Професорська 1.

Автореферат розісланий « » липня 2024 р.

*Вчений секретар
спеціалізованої
вченої ради,
доктор технічних наук,
професор.*

Р.І. Байцар

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Теплова енергія є енергоносієм, який широко використовується в промисловості та комунальному господарстві. Значною проблемою, при використанні теплової енергії є труднощі, які виникають при спробі вимірювання її індивідуального споживання. Нормативний метод вимірювання обсягу споживання тепла за узагальненими нормативами вносить значну недостовірність в систему розрахунків за надання послуги тепlopостачання та не сприяє впровадженню ідеології всеохоплюючої економії енергоресурсів. Гостро постає питання створення нормативно-технічного та метрологічного забезпечення обліку споживання індивідуальним споживачем теплової енергії в умовах широкого розповсюдження систем централізованого теплозабезпечення (багатоквартирні будинки), яке забезпечить достатній рівень вірогідності оцінки теплоспоживання окремим приміщенням, щоб можна було здійснювати комерційні розрахунки та виконувати вимоги чинних нормативно-правових актів. Основні проблеми виникають при спробі забезпечити облік індивідуального споживання тепла через відсутність раціональних нормативно-методичних та техніко-економічних практик обліку теплової енергії, які б дозволили в умовах великого розмаїття об'єктів теплоспоживання створити системи обліку з великим ступенем адаптації як до змін теплофізичних властивостей об'єктів теплоспоживання, так і до змін на ринку енергоносіїв.

У зв'язку з цим завдання підвищення достовірності обліку теплової енергії з одночасним оцінюванням її якості, з метою раціонального її використання, є надзвичайно актуальною проблемою економіки України.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Тема наукової роботи відповідає проблемам, над розв'язанням яких працює кафедра інформаційно-вимірювальних технологій, а саме проблемам обліку теплової енергії спожитої окремим приміщенням та забезпечення якості послуги тепlopостачання. Так, впродовж низки років працівники кафедри займаються розробкою методів та засобів для вимірювання кількості спожитої теплової енергії, дослідженням теплових явищ, поведінки пристроїв вимірювання тепла в умовах їх експлуатації, розробленням методів та засобів бездемонтажного контролю їх метрологічних характеристик. Тема даної наукової роботи дозволяє доповнити тематику кафедри, розширити пізнання в області дослідження залежності якості надання послуг тепlopостачання від достовірності їх обліку, з метою забезпечення задоволеності споживачів в умовах підвищення енергоощадності української економіки. Основні результати роботи були використані при розробці держбюджетної науково-дослідної роботи “Розроблення будинкових систем для індивідуального обліку спожитого тепла, води, газу з оцінкою їх якості («СТЕП»)", № держреєстрації 0104U002312.

Мета та завдання дослідження. Метою даного дослідження є аналіз існуючих методів обліку спожитої теплової енергії та пошук методів удосконалення нормативно-технічного забезпечення індивідуального обліку споживання теплової енергії в Україні з оцінюванням якості послуги теплозабезпечення.

Для досягнення поставленої в роботі мети необхідно було вирішити такі завдання:

- провести аналіз нормативно-правового та нормативно-методичного забезпечення стовно вимог до індивідуального обліку споживання теплової енергії складними теплотехнічними об'єктами та визначити показники які забезпечать погодження інтересів виконавця та споживача при здійсненні комерційного обліку послуги теплопостачання та оцінюванні її якості;

- здійснити оптимізацію структури і функцій системи індивідуального обліку тепла багатоквартирного будинку та розробити метод структурування функції якості послуги теплопостачання для забезпечення умов її постійного вдосконалення;

- розробити математичну модель індивідуального споживання теплової енергії окремим приміщенням та провести оцінку її придатності застосування для складних теплотехнічних об'єктів;

- дослідити специфіку оцінювання ефективності використання теплової енергії окремого приміщення шляхом врахування його теплофізичних властивостей та оцінювання якості послуги тепло забезпечення;

- розробити структуру та алгоритм роботи системи тепловізійного моніторингу тепловтрат зовнішніх огорожуючи конструкцій будинку для ідентифікації місць критичних тепловтрат, що створюватиме умови оперативного покращення теплової ефективності приміщення.

Об'єктом дослідження є процес обліку теплової енергії індивідуальними споживачами з оцінюванням її якості.

Предметом дослідження є науково-методичні та науково-технічні засади підвищення ефективності обліку споживання теплової енергії індивідуальними споживачами з оцінюванням її якості.

Методи дослідження. У дисертації використано теоретичні аспекти інформаційно-вимірювальної техніки та метрології, моделювання, програмування, розроблення, дослідження та стандартизації, в тому числі у галузі метрологічного забезпечення засобів вимірювальної техніки. Математичне моделювання базується на вирішенні задач про передачу, використання та облік теплової енергії. Використовуються положення теорії теплопровідності, а також викладки теорії математичного моделювання теплових процесів. Використовувалася сучасна теорія оцінювання якості.

Наукова новизна одержаних результатів дисертаційної роботи полягає в наступному:

Вперше запропоновано:

- коефіцієнт теплової ефективності приміщення, як вимірюваний показник тепловтрат приміщення, нормування якого, при здійсненні комерційного обліку, сприятиме погодженню інтересів виконавця і споживача послуги теплопостачання та визначенню рівня якості наданої послуги.

- метод структурування функції якості послуги теплопостачання, що дає змогу підвищити ступінь відповідності наданої послуги, реалізувати принцип постійного вдосконалення та сприяє підвищенню вірогідності оцінювання якості при мінімізації витрат на його реалізацію.

- удосконалено математичну модель споживання теплової енергії, шляхом нормування надійності послуги теплопостачання та оцінювання теплової ефективності приміщення, що дає змогу оперативно визначати тепловий баланс окремого приміщення та підвищити точність обліку використаної теплової енергії індивідуальним споживачем.

- отримала подальший розвиток методологія підвищення ефективності використання теплової енергії шляхом врахування теплофізичних властивостей приміщення та оцінювання якості теплозабезпечення, що дає змогу інтегрувати такий підхід в нормативне забезпечення комерційного індивідуального обліку споживання теплової енергії.

- удосконалено метод тепловізійного моніторингу тепловтрат зовнішніх огорожуючих конструкцій будинку із застосуванням CANNY та Hot Pixels Seeds алгоритмів для ідентифікації місць критичних тепловтрат, що дає змогу оперативно оцінювати теплову ефективність приміщення.

Практичне значення одержаних результатів. Виконані в роботі дослідження дозволили одержати наступні практичні результати:

- розроблено рекомендації для удосконалення чинного нормативно-правового забезпечення, які дозволять підвищити об'єктивність індивідуального обліку споживання теплової енергії складними теплотехнічними об'єктами;
- розроблено алгоритм роботи системи тепловізійного моніторингу тепловтрат зовнішніх огорожуючих конструкцій будинку та блок-схеми застосування CANNY та Hot Pixels Seeds алгоритмів для ідентифікації місць критичних тепловтрат;
- систематизовано вимоги до якості послуг теплопостачання та розроблено алгоритм її оцінювання;
- здійснено аналіз структури та функцій системи індивідуального обліку тепла багатоквартирного будинку, що дозволить більш раціонально обирати кращий варіант.

Особистий внесок здобувача. Основні теоретичні та прикладні дослідження виконані автором самостійно.

Здобувачем особисто здійснено формулювання завдань з вивчення можливості впровадження сучасної теорії оцінювання споживання теплової енергії окремим приміщенням багатоквартирного будинку з централізованим теплопостачанням. Досліджено математичну модель та специфіку споживання теплової енергії окремим приміщенням багатоквартирного будинку. Сформульовано вимоги до структури системи обліку тепла та розроблено алгоритм оцінювання теплової ефективності окремим приміщенням. Удосконалено методику тепловізійного моніторингу тепловтрат зовнішніх огорожуючих конструкцій будинку. Розроблено рекомендації щодо удосконалення методики розподілу між споживачами теплової енергії. Розроблено алгоритм оцінювання якості послуги теплопостачання та пропозиції щодо підвищення точності обліку теплової енергії.

Апробація результатів дисертації. Викладені в дисертаційній роботі наукові положення та результати досліджень доповідались і обговорювались на всеукраїнських та міжнародних науково-практичних і науково-технічних конференціях: V Міжнародній науково-практичній конференції «Innovative development of science, technology and education» 15-17 лютого 2024 року, м. Ванкувер, Канада; Міжнародній науковій інтернет-конференції «Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення (випуск 85)» 15-16 лютого 2024 року, м. Тернопіль, Україна, м. Ополе, Польща; Міжнародній мультидисциплінарній науковій інтернет-конференції «Світ наукових досліджень. Випуск 27» 22-23 лютого 2024 року, м. Тернопіль, Україна, м. Ополе, Польща.

Публікації. Основні результати наукової роботи опубліковані в 13 друкованих працях, в тому числі 8 – у наукових фахових виданнях України, 1 – у закордонному журналі, 4 – у матеріалах науково-технічних конференцій.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел (98 найменувань) та 1 додатку, викладена на 139 сторінках друкованого тексту.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та основні завдання досліджень, показано зв'язок роботи з науковими програмами та планами, визначено об'єкт та предмет досліджень, висвітлено наукову новизну отриманих результатів та показано їх практичну цінність, а також подано відомості про особистий внесок здобувача, апробацію роботи та основні праці, опубліковані за темою дисертації.

У **першому розділі** проаналізовано існуючі методи обліку спожитої теплової енергії стосовно можливостей їх застосування для обліку споживання тепла окремим приміщенням багатоквартирного будинку. Встановлено, що найбільш раціональною схемою обліку спожитої теплової енергії є її комерційний облік за результатами вимірювання будинкового вузла обліку з наступним розподілом між індивідуальними споживачами за показами квартирних пристроїв-розподільвачів тепла. Здійснено огляд існуючих засобів обліку споживання теплової енергії та виявлено їх особливості застосування для обліку теплової енергії індивідуальними споживачами багатоквартирного будинку. Здійснено аналіз чинного нормативно-правового забезпечення комерційного обліку теплової енергії та показано необхідність його удосконалення у напрямку підвищення вірогідності результатів обліку та підвищення рівня забезпечення якості послуги тепlopостачання.

На основі проведеного аналізу сформульовано мету та визначено основні науково-технічні завдання дисертаційних досліджень.

У **другому розділі** показано, що важливою умовою виконання договірних зобов'язань між виконавцем та споживачем послуги тепlopостачання є забезпечення відповідного рівня теплової ефективності приміщення. Запропоновано нормувати коефіцієнт теплової ефективності приміщення та здійснювати його періодичне оцінювання за результатами теплотехнічного аудиту.

Процес обліку використання енергоресурсів повинен містити дві складові: вимірювальну – отримання, за допомогою засобів вимірювань, кількісної інформації про надану споживачеві енергію та розрахункову – розрахунок ефективності використаної споживачем енергії з оцінюванням якості наданої послуги.

$$Q_i^{вик} = K_i^{ЕФ} \cdot Q_i^{над} \quad (1)$$

де $Q_i^{вик}$ – кількість використаної теплової енергії індивідуальним споживачем; $Q_i^{над}$ – кількість наданої теплової енергії індивідуальному споживачу; $K_i^{ЕФ}$ – коефіцієнт ефективності використання теплової енергії приміщенням.

В роботі розроблено та проаналізовано математичну модель індивідуального споживання теплової енергії окремим приміщенням багатоквартирного будинку. Враховуючи, що система тепlopобезпечення є складною організаційно-технічною

системою, то з точки зору, системного аналізу математичну модель S_{T3} її функціонування представлено у виді:

$$S_{T3} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} 1) \rightarrow \sum_{i=1}^n Q_i^{ex} = \sum_{j=1}^m Q_j^{lux} \rightarrow const \\ 2) \rightarrow k_H(t) = P \left\{ t, \sum_{i=1}^n Q_i^{ex} \geq Q_H^{ex} \right\} \cdot P \left\{ t, Q_H^{ex} \geq \sum_{j=1}^m Q_j^{lux} \right\} \\ 3) \rightarrow C_R \cdot \rho_R \cdot V_R \cdot T_R = \sum_{i=1}^n Q_i^{ex} - \sum_{j=1}^m Q_j^{lux} \\ 4) \rightarrow K_{E\Phi} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i^{ex} - \sum_{j=1}^m Q_j^{lux}}{C_R \cdot \rho_R \cdot V_R \cdot T_R} \rightarrow \max \end{array} \right. \quad (2)$$

Забезпечення виконання умови 1) є важливою для забезпечення виконання вимог чинних нормативно-правових актів стосовно виконання умов надання виконавцем послуги теплопостачання. Оскільки система теплопостачання є технічною системою, тобто є можливість однозначного регулювання її характеристик, доцільно сформулювати критерій ефективності як ймовірність виконання заданих функцій теплопостачання при заданій ймовірності мінімальних втрат тепла. Цей критерій можна представити коефіцієнтом надійності функціонування системи теплопостачання: $k_H(t)$, що знаходиться з виразу 2). Математична модель теплового режиму приміщення в загальному виді представлено виразом 3), який забезпечує умови створення нормативних умов комфорту в приміщенні. Виконання умови 4) дозволить підвищити об'єктивність обліку тепла, контролю рівня якості послуги теплопостачання та справедливості розподілу витрат за опалення між індивідуальними споживачами багатоквартирного будинку та забезпечить дотримання вимог законодавства стосовно підвищення енергоефективності.

Застосування такого підходу підвищить об'єктивність віднесення тепловтрат окремих приміщень будинку, які належать індивідуальному споживачу, при здійсненні комерційного обліку використаної ним теплової енергії.

Встановлено необхідні вимоги до послуги теплопостачання забезпечення яких є важливою умовою виконання вимог чинних нормативно-правових актів стосовно забезпечення якості цієї послуги.

Досліджено специфіку індивідуального обліку спожитої теплової енергії у будинках з великою кількістю споживачів. Встановлено практичну трудність комерційного обліку спожитого тепла у складних теплотехнічних об'єктах при існуючому методичному забезпеченні. Запропоновано підхід до раціонального об'єднання різних методів обліку теплової енергії при здійсненні комерційного обліку споживання тепла індивідуальним споживачем.

На Рис. 1 наведено схему теплового балансу окремого приміщення в багатоквартирному будинку.

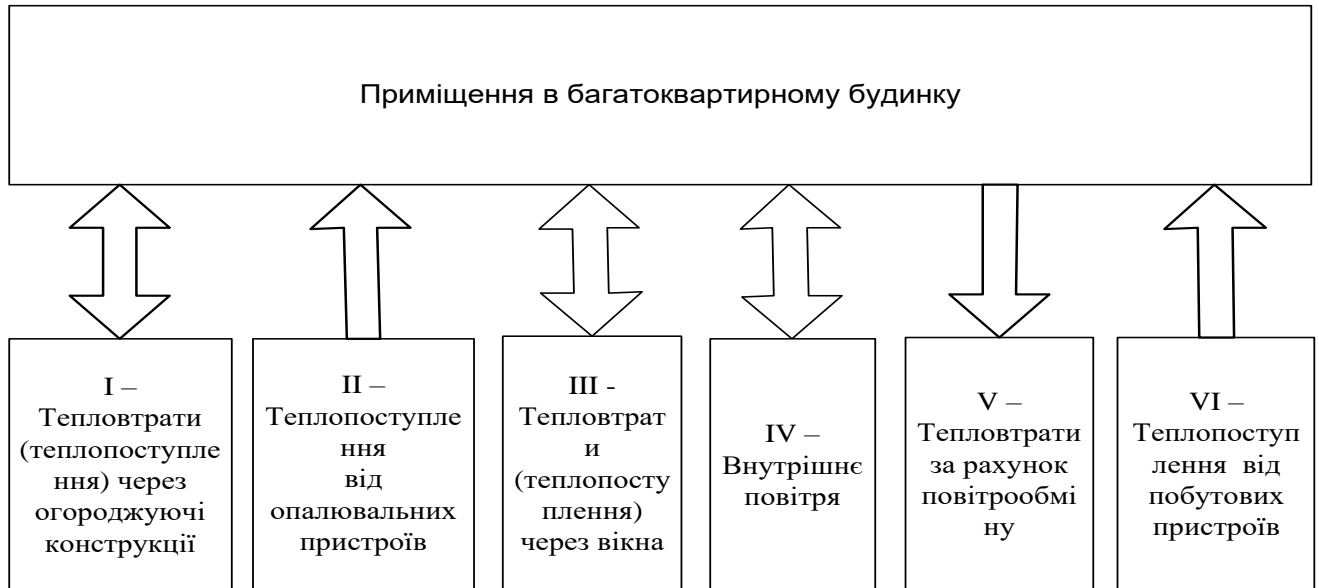


Рис. 1 Схема теплового балансу окремого приміщення в багатоквартирному будинку.

За результатами аналізу схеми теплового балансу окремого приміщення розроблено граф-модель теплового балансу окремого приміщення в багатоквартирному будинку, який наведено на Рис.2.

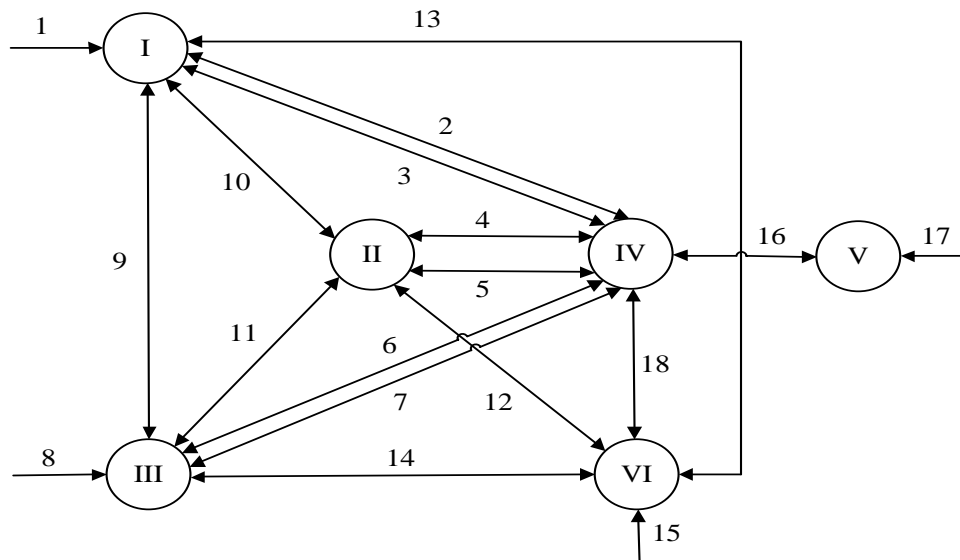


Рис. 2 Граф-модель теплового балансу окремого приміщення в багатоквартирному будинку.

Аналіз граф-моделі теплового балансу окремого приміщення дозволяють встановити зв'язки, які характеризують передавання теплоти між основними елементами, що визначають стан теплового балансу приміщення та внутрішнім повітрям. Для врахування поточних теплотехнічних характеристик окремих приміщень багатоквартирного будинку розроблено алгоритм визначення їх коефіцієнтів теплової ефективності, який дозволяє враховувати індивідуальні теплофізичні властивості приміщення та буде важливим інструментом підвищення теплової ефективності будинку.



Рис. 3 Алгоритм визначення коефіцієнта теплової ефективності окремого приміщення в багатоквартирному будинку.

Розроблений підхід до оцінювання реальних теплофізичних властивостей окремого приміщення дозволить значно підвищити об'єктивність обліку споживання теплової енергії та стане основою для оцінювання якості послуги тепло забезпечення.

У **третьому розділі** розроблено структурну схему системи комерційного обліку теплової енергії багатоквартирного будинку (Рис. 4), визначено її функції та проаналізовано вимоги до структурних елементів.

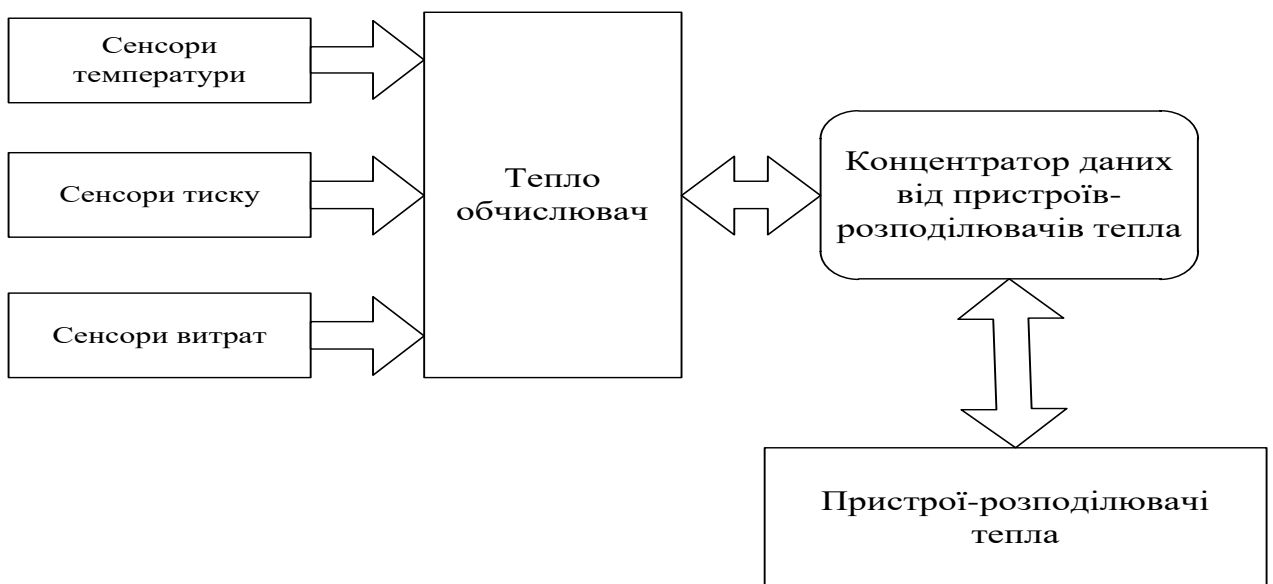


Рис.4 Структура системи комерційного обліку споживання теплової енергії багатоквартирного будинку.

Проаналізовано вимоги до тепловізійного моніторингу тепловтрат зовнішніх огорожуючих конструкцій будинку. Розроблено структуру системи тепловізійного моніторингу яка складається з тепловізійної камери, фотокамери на основі матриці із зарядовими зв'язками та пірометра.



Рис.5. Структура системи тепловізійного моніторингу тепловтрат зовнішніх огорожувальних конструкцій будинку.

В даній структурі паралельно із тепловізійною камерою та фотокамерою встановлено пірометричний вимірювач температури, застосування якого дозволить скорегувати методичну похибку вимірювання температури стін будинку.

У сфері діагностики будівель ефективність і доцільність інфрачервоної термографії у комплексних обстеженнях на місці особливо очевидна. Це полегшує ідентифікацію як явних, так і прихованих дефектів матеріалу, ускладнень, спричинених вологою, і температурних аберацій. Інфрачервоне сканування дає широкі можливості, отримання кількісних даних із репрезентативних областей та набуває першочергового значення для точної інтерпретації виявлених проблем. Використання послідовного тепловізійного дослідження для вивчення проблемних зон полегшує кількісну оцінку цих місць. Ця методологія передбачає отримання послідовних інфрачервоних зображень під час чергування інтервалів нагрівання та охолодження, метою таких досліджень є створення диференціальних теплових зображень, які підкреслюють різницю температур поверхні. Завдяки моніторингу змін у фізичних і теплових властивостях, притаманних області дефекту, ці диференціальні зображення дозволяють легко відстежувати аномалії. Крім того, часова еволюція температури під впливом нагрівання та охолодження піддається аналізу за допомогою графічних зображень, що дає змогу зрозуміти зміни температури поверхні з часом. Швидкість нагрівання або охолодження для кожного конкретного місця забезпечує емпіричні зв'язки з характеристиками теплової інерції матеріалу.

Розроблено алгоритм роботи системи тепловізійного моніторингу, який дозволяє здійснювати ідентифікацію місць тепловтрат та прив'язку їх до конкретного місця огорожуючих конструкцій досліджуваного будинку.

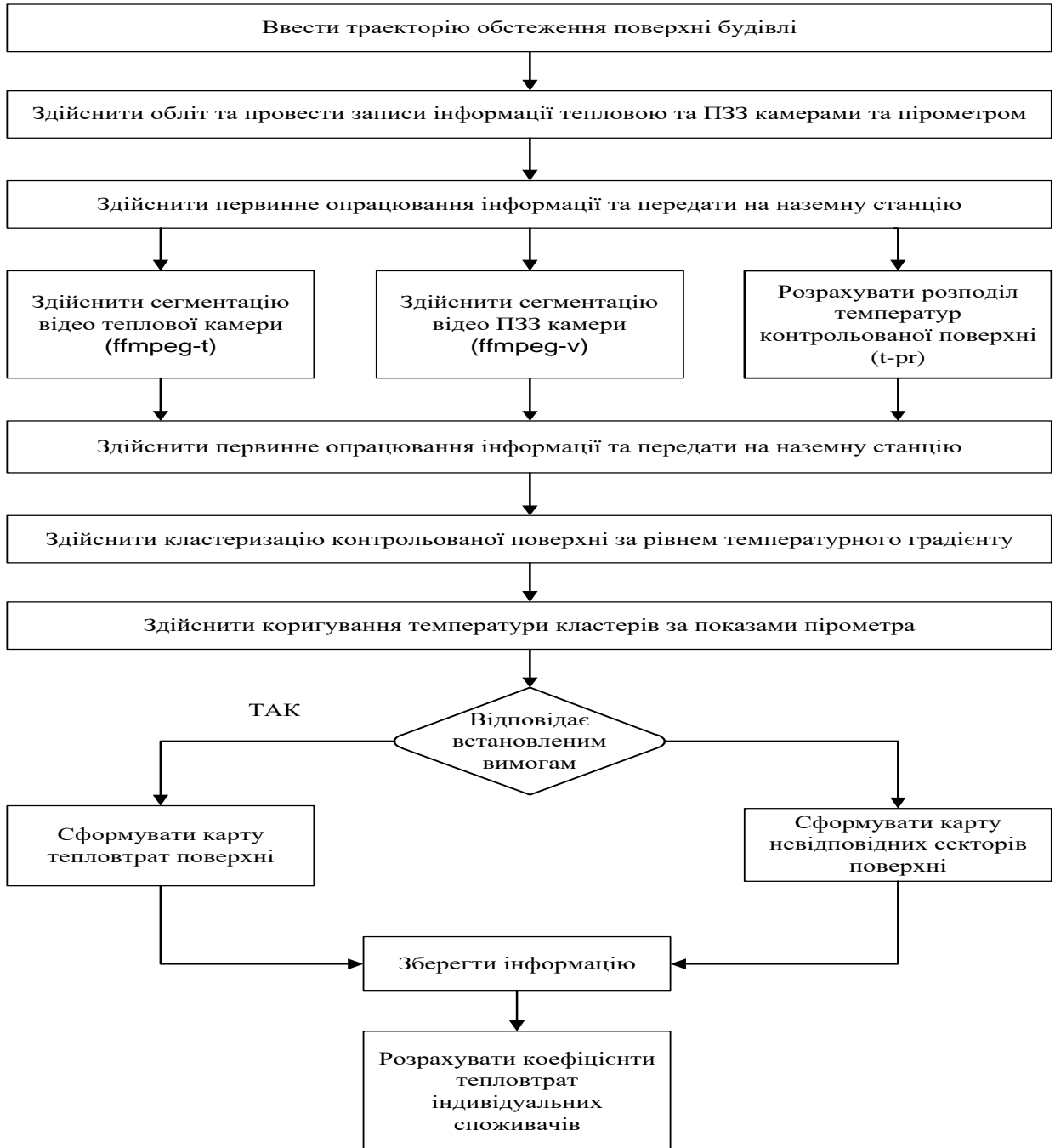


Рис. 6. Алгоритм роботи системи тепловізійного моніторингу тепловтрат зовнішніх огорожувальних конструкцій будинку.

Важливим завданням, при здійсненні тепловізійного моніторингу будівель, є правильна ідентифікація місць тепловтрат та прив'язка їх до конкретного місця огорожувальної конструкції досліджуваного будинку. Тому, було розроблено блок-схему використання морфологічного та CANNY алгоритмів обробки даних за результатами тепловізійного моніторингу. Використання квадрокоптера дозволяє підвищити оперативність моніторингу тепловтрат конкретних будівель. За результатами моніторингу тепловтрат доцільно створювати теплотехнічний паспорт будівлі. Теплотехнічний паспорт дозволить оцінювати реальні тепловтрати будівлі, планувати заходи із термомодернізації та буде важливим джерелом об'єктивної інформації при оцінюванні якості послуги теплопостачання.

Проаналізовано необхідні умови для підвищення точності обліку споживання тепла окремим приміщенням. Вимірювання кількості теплової енергії виконують непрямим методом на основі обчислених значень параметрів теплоносія і вимірних значень параметрів потоку (час інтеграції V_i витратоміра, різницю температур ΔT_i на вході та виході системи тепlopостачання, коефіцієнт теплоємності k_i теплоносія, час між двома інтеграціями Δt_i). Похибку вимірювання кількості теплової енергії можна представити рівнянням:

$$\delta_Q = \frac{dk_i \cdot \Delta T_i + d\Delta T_i \cdot k_i}{k_i \cdot \Delta T_i} + \frac{dV_i \cdot \Delta t_i + d\Delta t_i \cdot \Delta T_i}{V_i \cdot \Delta t_i}, \quad (3)$$

Розроблено підхід до оцінювання непевності результатів вимірювання теплової енергії для систем з витратомірами та лічильниками різних типів. Для оцінювання комбінованої стандартної непевності кількості теплової енергії, яку обчислюють за рівнянням (3), отримано таке рівняння:

$$u_Q^* = \sqrt{u_t^2 + C_1^2 \cdot u_k^2 + C_2^2 \cdot u_V^2 + C_3^2 \cdot u_T^2}, \quad (4)$$

де u_t^2 - непевність вимірюваного значення інтервалу часу, протягом якого обчислюють кількість теплової енергії;

u_V^2 - непевність результатів вимірювання витрати теплоносія в системі теплотабезпечення;

u_T^2 - непевність результатів вимірювання різниці температур теплоносія відповідно у подавальному та зворотному трубопроводах;

u_k^2 - коефіцієнт теплоємності теплоносія;

C_1, C_2, C_3, C_4 – коефіцієнти впливу, які слід обчислювати за формулами:

$$C_1 = \frac{\partial Q}{\partial k} \cdot \frac{k}{Q}, \quad C_2 = \frac{\partial Q}{\partial V} \cdot \frac{V}{Q}, \quad C_3 = \frac{\partial Q}{\partial T} \cdot \frac{T}{Q}.$$

Застосування залежності (4) дає можливість однозначно оцінити непевність результату вимірювання кількості теплової енергії із урахуванням непевностей вхідних параметрів. Запропоновані автором підходи дають можливість розробити залежності для оцінювання непевності вимірюваного значення кількості теплової енергії для систем різної конфігурації.

Четвертий розділ роботи присвячений розробленню рекомендацій до методики розподілу витрат теплової енергії між споживачами багатоквартирних будинків. Запропоновані зміни до методики дозволить здійснювати розподіл обсягів спожитої теплової енергії між споживачами багатоквартирних будинків у випадку застосування загально будинкових вузлів обліку тепла та наявності споживачів, приміщення яких оснащені та не оснащені пристроями розподілу тепла, та які обладнані автономними системами опалення.

Метою оцінювання якості послуги тепlopостачання є фіксація та встановлення факту неналежної якості послуги тепlopостачання та здійснення перерахунку

вартості комунальної послуги. Оскільки процес надання послуги передбачає погодження інтересів двох сторін: виконавець послуги та споживач послуги, то для забезпечення цієї процедури розроблено алгоритм оцінювання якості послуги теплопостачання. Алгоритм оцінювання якості послуги теплопостачання доцільно застосовувати при плануванні та організації теплопостачання індивідуального споживача, а також, підтвердження права на зміну розміру оплати у разі зниження якості послуги.

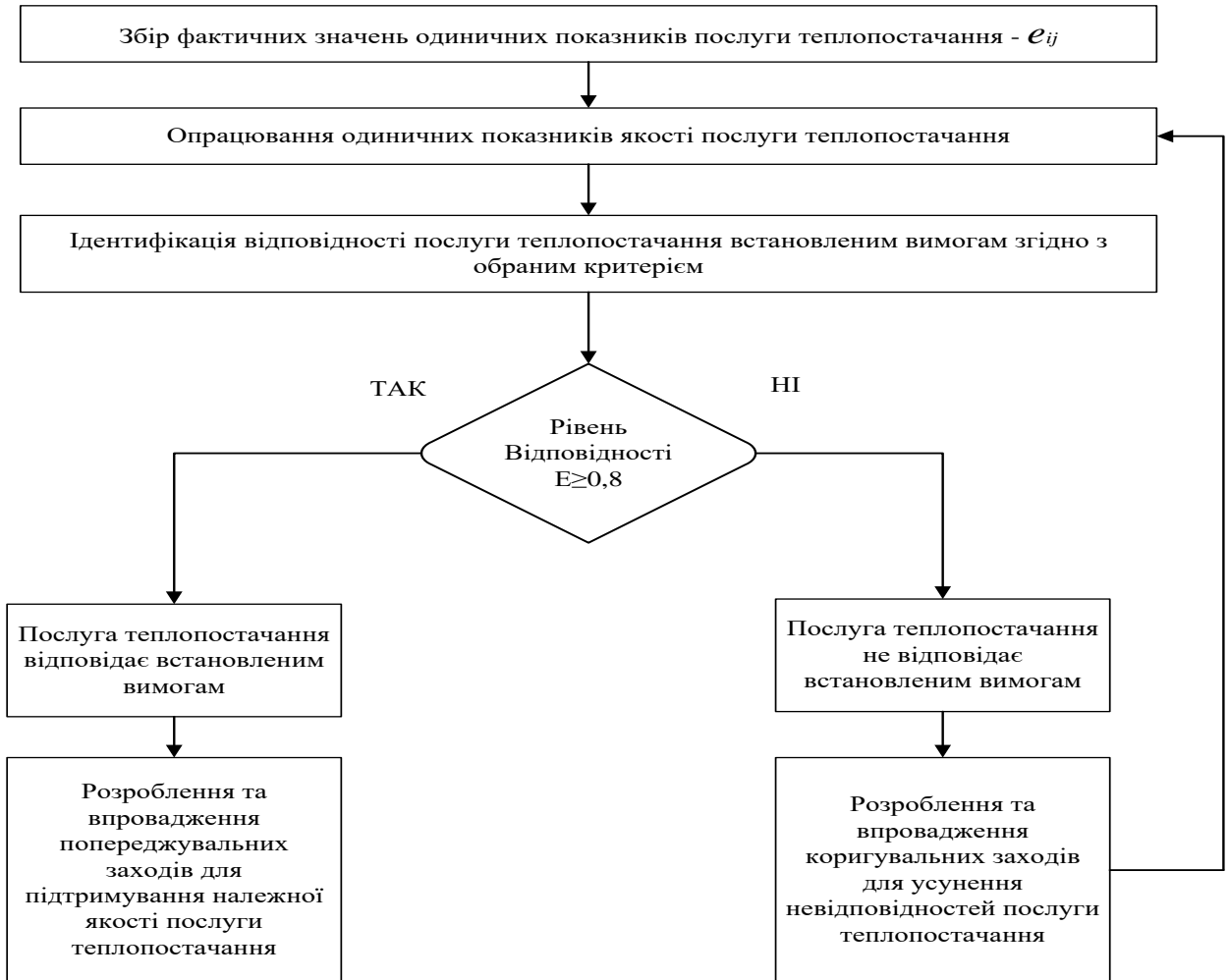


Рис. 7 Алгоритм оцінювання якості послуги теплопостачання

Значення одиничних показників якості послуги теплопостачання визначаються шляхом заповнення відповідної таблиці, де значення одиничного показника оцінюється за прийнятою шкалою оцінки відповідно до встановлених в Типовій угоді показників якості послуги теплопостачання.

Розрахунок комплексного показника якості послуги теплопостачання визначається із співвідношення:

$$E_{PE3} = \frac{\prod_{j=1}^m a_j \cdot E_j}{\prod_{j=1}^m a_j \cdot K_j} \quad (5)$$

де E_j – груповий показник якості послуги теплопостачання; K_j - планові групові показники якості послуги теплопостачання; a_j - ваговий коефіцієнт групового показника якості в структурі показників, який визначається умовами угоди про теплопостачання; m - кількість показників якості, які використовуються в процесі оцінювання послуги теплопостачання.

Запропонована методика оцінювання якості послуги теплопостачання за допомогою комплексного показника враховує вплив всіх одиничних показників, що входять до складу системи показників якості. Комплексна оцінка якості послуги теплопостачання може знайти широке застосування при плануванні та організації теплопостачання індивідуального споживача в багатоквартирному будинку, а також, підтвердження права на зменшення у встановленому законодавством порядку розміру плати за житлово-комунальні послуги у разі їх ненадання, надання не в повному обсязі або зниження їхньої якості.

ВИСНОВКИ

1. Показано, що фізичне зношування будівель та устаткування призводить до зростання теплоспоживання і на сьогодні не розроблено зручних у практичному використанні стандартизованих методів та методик, які б об'єктивно (через економічні показники) стимулювали кожного індивідуального споживача до всебічної економії енергоносіїв. На основі аналізу розробленої математичної моделі індивідуального споживання теплової енергії окремим приміщенням показано, що важливою умовою виконання договірних зобов'язань між виконавцем та споживачем послуги теплопостачання є нормування коефіцієнта теплової ефективності приміщення та його періодичне оцінювання за результатами теплотехнічного аудиту.

2. Доведено, що методи комерційного обліку теплової енергії, які сьогодні використовуються та існуюче нормативно-правове забезпечення їх застосування не відповідають сучасним вимогам, при їх застосуванні виникає низка методичних помилок обліку, пов'язаних із специфікою тепло-фізичних та конструкційних особливостей окремих приміщень будинку, що не мотивує до підвищення рівня теплоефективності та рівня якості послуги теплозабезпечення. Розроблено метод структурування функції якості та алгоритм оцінювання якості послуги теплопостачання, який доцільно використовувати при плануванні та організації теплопостачання індивідуального споживача, а також підтвердження права на зміну розміру оплати у разі зниження якості послуги.

3. Встановлено, що найбільш раціональною схемою обліку спожитої теплової енергії є її комерційний облік за результатами вимірювання будинкового вузла обліку з наступним розподілом між індивідуальними споживачами за показами квартирних пристроїв-розподільовачів тепла. Проаналізовано необхідні умови для підвищення точності обліку споживання тепла окремим приміщенням та розроблено підхід до оцінювання непевності результатів вимірювання теплової енергії для систем з витратомірами та лічильниками різних типів, що дозволяє підвищити достовірність комерційного обліку.

4. Розроблено алгоритм роботи системи тепловізійного моніторингу тепловтрат зовнішніх огорожуючих конструкцій будинку та блок-схеми застосування CANNY

та Hot Pixels Seeds алгоритмів для ідентифікації місць критичних тепловтрат. Розроблено структуру системи тепловізійного моніторингу, яка складається з тепловізійної камери, фотокамери на основі матриці із зарядовими зв'язками та пірометра та алгоритм роботи системи тепловізійного моніторингу, який дозволяє оперативно здійснювати ідентифікацію місць критичних тепловтрат та прив'язку їх до конкретного місця огорожуючої конструкції досліджуваного будинку.

5. Розроблено рекомендації до методики розподілу витрат теплової енергії між споживачами багатоквартирних будинків, нормування яких дозволить здійснювати розподіл обсягів спожитої теплової енергії між споживачами багатоквартирних будинків у випадку застосування загально будинкових вузлів обліку тепла та наявності споживачів, приміщення яких оснащені, не оснащені пристроями розподілу тепла та які обладнані автономними системами опалення.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Микийчук Б. М., Яцук В.О. / Математична модель теплової ефективності приміщення з урахуванням показника якості теплопостачання // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах: міжнародний науково-техн. журнал. – 2024. - №1.- С.74-81. - Бібліогр.: 12 назв. - укр. – <https://vottp.khmnu.edu.ua/index.php/vottp/article/view/255/221>.

2. O. Honsor, V. Mykyichuk / Fundamental aspects of metrological support in IoT // Measuring Equipment and Metrology - 2024. – Vol. 85 (1), № 1. - P. 50-56 – <https://science.lpnu.ua/istcmtm/all-volumes-and-issues/volume-85-no1-2024/fundamental-aspects-metrological-support-iot>.

3. П. Столярчук, Б. Микийчук, В. Яцук, О. Шпак / Оптимізація методики контролю якості сонячних колекторів // Вимірюв. техніка та метрологія: міжвід. наук.-техн. зб.. - 2014. - Вип. 75. - С. 119-124. - Бібліогр.: 10 назв. - укр. – <http://irbis-nbuv.gov.ua/publ/REF-0000524098>.

4. П. Г. Столярчук, М. М. Микийчук, В. Р. Куць, Б. М. Микийчук / Метод декомпозиции функции качества системы метрологического обеспечения производства // Устойчивое развитие. — Варна. — 2013. — № 12. — С. 25 — 30.

5. Б. М. Микийчук, В. О. Яцук / Математична модель теплової ефективності приміщення з показником якості теплопостачання // Вісн. Нац. ун-ту "Львів. політехніка". - 2010. - № 665. - С. 164-168. - Бібліогр.: 5 назв. - укр. – <http://irbis-nbuv.gov.ua/publ/ref-0000333104>.

6. Б. Микийчук, В. Яцук / Порівняльний аналіз методів обліку теплової енергії індивідуальними споживачами // Вимірюв. техніка та метрологія. - 2010. - Вип. 71. - С. 66-71. - Бібліогр.: 10 назв. - укр. – <http://irbis-nbuv.gov.ua/publ/ref-0000345601>.

7. Б. М. Микийчук, В. О. Яцук, П. Г. Столярчук / Інформаційно-вимірювальні системи індивідуального обліку теплової енергії // Методи та прилади контролю якості. - 2010. - № 24. - С. 65-68. – <http://elar.nung.edu.ua/handle/123456789/3540>.

8. Б. М. Микийчук / Переваги автоматизованих систем індивідуального обліку витрат теплової енергії з оцінюванням якості теплопостачання // Вісн. Нац. ун-ту "Львів. політехніка". - 2009. - № 639. - С. 193-195. - Бібліогр.: 2 назв. - укр. – <http://www.irbis-nbuv.gov.ua/publ/ref-0000210426>.

9. Б. Микийчук / Системи раціонального обліку та розподілу теплової енергії в оселях - перспективний напрямок енергоощадності // Вимірюв. техніка та

метрологія. - 2009. - Вип. 70. - С. 103-105. - Бібліогр.: 5 назв. - укр. – <http://irbis-nbuv.gov.ua/publ/ref-0000213634>.

10. Микийчук Б. М. / Актуальні питання метрологічної надійності вимірювання температури // Міжнародна мультидисциплінарна наукову інтернет-конференція "Світ наукових досліджень", Тернопіль – Ополь, 22-23 лютого 2024 – <https://www.economy-confer.com.ua/full-article/5319/>.

11. Микийчук Б. М. / Вимоги до якості під час надання послуг теплопостачання в житлово-комунальній сфері // Proceedings of V International Scientific and Practical Conference «Innovative development of science, technology and education», Vancouver, Canada, 15-17 February 2024 – <https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2024/02/innovative-development-of-science-technology-and-education-15-17.02.2024.pdf>.

12. Микийчук Б. М. Системи інтелектуально-раціонального обліку та розподілу теплової енергії в оселях – перспективний напрямок енергоощадності // International Scientific Internet Conference «Information society: technological, economic and technical aspects of formation», Ternopil – Opole, February 15-16, 2024 – <http://www.konferenciaonline.org.ua/ua/article/id-1612/>

13. Лапченко Ю., Микийчук Б., Паращич Р. / Метод оцінювання якості використання теплової енергії // Міжнародна науково-практична конференція «Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи», 22-24 травня 2013 р., Львів. С. 237.

АНОТАЦІЇ

Микийчук Б.М. Створення нормативно-технічних засад для індивідуального обліку спожитої теплової енергії з оцінюванням її якості. – На правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.01.02 *Стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення* – Національний університет «Львівська політехніка», Міністерство освіти та науки України, Львів, 2024.

Дисертація стосується проблем підвищення достовірності індивідуального обліку споживання теплової енергії окремим приміщенням багатоквартирного будинку. В роботі показано, що фізичне зношування будівель та устаткування призводить до зростання теплоспоживання і на сьогодні не розроблено зручних у практичному використанні стандартизованих методів та методик, які б об'єктивно (через економічні показники) стимулювали кожного індивідуального споживача до всебічної економії енергоносіїв. Аналіз існуючої структури централізованого постачання енергоносіями за багато підвідним колективним принципом показує практичну трудність простого апаратного (об'єктивного) обліку спожитого теплі індивідуальними споживачами. Також відсутня нормативна база, що дозволила б здійснювати нарахування оплати за використане тепло із врахуванням якості наданої послуги за звітний період. У зв'язку з цим задача підвищення достовірності обліку теплової енергії з одночасним оцінюванням її якості, з метою раціонального її використання є надзвичайно актуальною проблемою економіки України.

Сьогодні застосовуються такі основні методи комерційного обліку теплової енергії: за затвердженими нормами споживання віднесеними до одиниці площі

приміщення, пропорційний розподіл показів будинкових вузлів обліку тепла, віднесені до площі конкретного приміщення, пропорційний розподіл показів будинкових вузлів обліку тепла, віднесені до визначених індивідуальних теплотехнічних характеристик окремих приміщень та ефективності використаних в них опалювальних пристроїв. При цьому виникає ряд методичних похибок обліку, пов'язаних із специфікою тепло-фізичних та конструкційних особливостей окремих приміщень будинку. Також, існуюче нормативно-правове забезпечення не дозволяє оперативної оцінювати якість послуги теплопостачання, що не сприяє вчасному впровадженню коригувальних дій.

В дисертації проведено аналіз методів обліку теплової енергії та встановлено їх ефективність для індивідуального обліку споживання окремим приміщенням багатоквартирного будинку. Встановлено, що найбільш раціональною схемою обліку спожитої теплової енергії є її комерційний облік за результатами вимірювання будинкового вузла обліку з наступним розподілом між індивідуальними споживачами за показами квартирних пристроїв-розподільвачів тепла.

Розроблено та проаналізовано математичну модель індивідуального споживання теплової енергії окремим приміщенням. Показано, що важливою умовою виконання договірних зобов'язань між виконавцем та споживачем послуги теплопостачання є забезпечення відповідного рівня теплової ефективності приміщення. Запропоновано нормувати коефіцієнт теплової ефективності приміщення та здійснювати його періодичне оцінювання за результатами теплотехнічного аудиту.

Розроблено структуру системи тепловізійного моніторингу яка складається з тепловізійної камери, фотокамери на основі матриці із зарядовими зв'язками та пірометра. Розроблено алгоритм роботи системи тепловізійного моніторингу, який дозволяє здійснювати ідентифікацію місць тепловтрат та прив'язку їх до конкретного місця огорожуючої конструкції досліджуваного будинку. Також, розроблено блок-схему використання морфологічного та CANNY алгоритмів обробки даних за результатами тепловізійного моніторингу. Проаналізовано необхідні умови для підвищення точності обліку споживання тепла окремим приміщенням. Розроблено підхід до оцінювання непевності результатів вимірювання теплової енергії для систем з витратомірами та лічильниками різних типів.

В дисертації розроблено рекомендації до методики розподілу витрат теплової енергії між споживачами багатоквартирних будинків. Запропоновані зміни до методики дозволить здійснювати розподіл обсягів спожитої теплової енергії між споживачами багатоквартирних будинків у випадку застосування загальнобудинкових вузлів обліку тепла та наявності споживачів, приміщення яких оснащені, не оснащені пристроями розподілу тепла та які обладнані автономними системами опалення. Розроблено алгоритм оцінювання якості послуги теплопостачання який може використовуватися при плануванні і організації теплопостачання індивідуального споживача, а також, підтвердження права на зміну розміру оплати у разі зниження якості послуги.

Ключові слова: метрологічне забезпечення, метрологічні характеристики, система обліку теплової енергії, лічильники теплової енергії, кваліметричне оцінювання, тепловізійний моніторинг, якість послуги теплопостачання.

ANNOTATION

Mykyichuk B.M. Creation of normative and technical principles for individual accounting of consumed thermal energy with assessment of its quality. - On the rights of the manuscript. Dissertation for obtaining the scientific degree of Candidate of Technical Sciences in the specialty 05.01.02 - standardization, certification and metrological support - Lviv Polytechnic National University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2024.

The dissertation concerns the problems of increasing the reliability of individual accounting of heat energy consumption by individual premises of an apartment building. The paper shows that the physical wear and tear of buildings and equipment leads to an increase in heat consumption, and today there are no standardized methods and techniques convenient for practical use that would objectively (through economic indicators) stimulate each individual consumer to comprehensively save energy. The analysis of the existing structure of the centralized supply of energy carriers according to the multi-source collective principle shows the practical difficulty of simple hardware (objective) accounting of heat consumed by individual consumers. Also, there is no regulatory framework that would allow the calculation of payment for the used heat, taking into account the quality of the service provided for the reporting period. In this regard, the task of increasing the reliability of thermal energy accounting with simultaneous assessment of its quality, with the aim of its rational use, is an extremely urgent problem of the economy of Ukraine.

Today, the following basic methods of commercial thermal energy accounting are used: according to the approved consumption norms related to the unit area of the room, proportional distribution of readings of house heat accounting units, related to the area a specific room, proportional distribution of readings of house heat accounting units, related to the determined individual thermal technical characteristics of individual rooms and the efficiency of the heating devices used in them. At the same time, there are a number of methodological accounting errors associated with the specifics of the thermal-physical and structural features of individual premises of the building. Also, the existing regulatory legal support does not allow to quickly assess the quality of the heat supply service, which does not contribute to the timely implementation of corrective actions.

In the dissertation, an analysis of thermal energy accounting methods was carried out and their effectiveness was established for individual accounting of consumption by individual premises of an apartment building. It has been established that the most rational accounting scheme for consumed thermal energy is its commercial accounting based on the measurement results of the home accounting unit with subsequent distribution among individual consumers according to the readings of apartment heat distribution devices.

A mathematical model of the individual consumption of thermal energy by a separate room was developed and analyzed. It is shown that an important condition for the fulfillment of contractual obligations between the performer and the consumer of the heat supply service is the provision of the appropriate level of thermal efficiency of the room. It is proposed to standardize the coefficient of thermal efficiency of the room and carry out its periodic assessment based on the results of a thermal audit.

The structure of the thermal imaging monitoring system, which consists of a thermal imaging camera, a photo camera based on a matrix with charge connections, and a

pyrometer, has been developed. An algorithm for the operation of the thermal imaging monitoring system was developed, which allows identification of heat loss locations and linking them to a specific location of the enclosing structure of the house under investigation. Also, a block diagram of the use of morphologic and CANNY data processing algorithms based on the results of thermal imaging monitoring was developed. Necessary conditions for increasing the accuracy of accounting for heat consumption by individual rooms have been analyzed. An approach to estimating the uncertainty of heat energy measurement results for systems with flowmeters and counters of various types has been developed.

The dissertation developed recommendations for the method of distributing heat energy costs between consumers of multi-apartment buildings. The proposed changes to the methodology will allow for the distribution of consumed heat energy between consumers of multi-apartment buildings in the case of the use of general building heat metering units and the presence of consumers whose premises are equipped, not equipped with heat distribution devices, and which are equipped with autonomous heating systems. An algorithm for assessing the quality of the heat supply service has been developed, which can be used in the planning and organization of the heat supply of an individual consumer, as well as confirmation of the right to change the amount of payment in case of a decrease in the quality of the service.

Keywords: metrological support, metrological characteristics, thermal energy accounting system, thermal energy meters, qualitative assessment, thermal imaging monitoring, quality of heat supply services.