

і тому процедура побудови еталона значно простіша, ніж побудова моделі оберненого об'єкта. Обернення еталона можна здійснити різними способами: перший полягає в розв'язуванні рівняння еталона відносно вхідної змінної, другий – в побудові оберненої моделі з використанням оберненої моделі на основі нейронної мережі.

Висновки. Розглянуті методи відзначаються високою швидкістю навчання за мінімальних витрат процесорного часу і забезпечують задану точність

навчання нейронної мережі завдяки фіксованості навчальних послідовностей і відсутності обернених зв'язків всередині мережі на етапі її навчання.

1. Norgaard M., Ravn O., Poulsen N., Hansen L. *Neural Networks for Modelling and Control of Dynamic Systems*. - London: Springer, 2000. 2. Каллан Р. *Основные концепции нейронных сетей*. – М., 2001. 3. Медведев В., Потемкин В. *Нейронные сети MATLAB6*. – С.-Пб., 2001. 4. Галушки А. *Теория нейронных сетей*. – М., 2000.

УДК 536.532:536.629

ІНФОРМАЦІЙНО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕПЛОВИХ ВИПРОБУВАНЬ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ, ВИРОБІВ ТА КОНСТРУКЦІЙ

© Декуша Леонід, Воробйов Леонід, Зайцев Володимир, Декуша Олег, Шаповалов В'ячеслав, 2007

Інститут технічної теплофізики НАН України, Україна, Київ, вул. Желябова 2, а
teplomer@ukr.net

Розроблено універсальний комп'ютеризований приладовий комплекс для визначення тепловтрат будівель та енергетичних об'єктів, теплового опору та коефіцієнта теплопровідності теплоізоляційних матеріалів та покриттів. Розглянуто питання створення вимірювального комплексу на базі малоінерційних перетворювачів теплового потоку та температури. Виконано дослідження "енергоощадних" фарб та тепловтрат зовнішніх поверхонь водогрійного котла.

Разработан универсальный компьютеризованный приборный комплекс для определения теплотерь зданий и энергетических объектов, термического сопротивления и коэффициента теплопроводности теплоизоляционных материалов и покрытий. Рассмотрены вопросы создания измерительного комплекса на базе малоинерционных преобразователей теплового потока и температуры. Выполнены исследования "энергосберегающих" красок и теплотерь наружных поверхностей водогрейного котла.

The universal computerized complex of equipment for determination of heat loss from buildings and energetic objects, thermal resistance and thermal conductivity of heat insulating materials and coverings is developed. The questions of design of measuring complex, based on fast-response heat flow meters and thermocouples are described. The investigation of «energy-saving» paints and heat loss from external surfaces of water boiler are carried out.

Істотне підвищення вимог до рівня теплозахисту будівель під час проектування зовнішніх огорожувальних конструкцій будівель і споруд різного призначення зумовило широке застосування ефективних сучасних утеплювачів, що розміщують ззовні або усередині огорожувальних конструкцій і які призначені підвищувати тепловий опір теплопередаванню крізь них. Нові вимоги, що встановлені у нормативному документі [1] до теплової ізоляції будівель, мають виконуватися при проектуванні

будинків і споруд, їхньому будівництві, реконструкції та капітальному ремонті, визначенні витрат паливно-енергетичних ресурсів на опалення та виконанні енергетичного обстеження. Великий потенціал енергозбереження має також комунальна та промислова енергетика, що використовує більше від половини енергетичного палива, що споживає Україна і має вкрай застаріле обладнання зі значними тепло-втратами. Таке обладнання (котли, теплотраси, теплообмінники тощо) потребує модернізації, встановлення

оптимальних режимів роботи, відновлення теплоізоляції.

Для своєчасного визначення місць витoku теплоти, оперативного контролю теплоізоляційних характеристик огорожувальних конструкцій та матеріалів, що використовують під час ремонтно-відновлювальних робіт, і встановлення їхніх дійсних значень необхідна апаратура для вимірювання тепловтрат і теплового опору.

Для вирішення таких завдань в ІТТФ НАН України розроблено універсальний приладовий комплекс "Ресурс". Фундаментом цієї розробки став півсторічний досвід із створення приладів для прямих вимірювань густини теплового потоку, температури і теплофізичних властивостей [2...4]. У цій статті подано опис розробленого комплексу "Ресурс" та його вимірювальних пристроїв, а також результати дослідження "енергоощадних" фарб та тепловтрат від зовнішніх поверхонь водогрійного котла ТВГ-8.

Комплекс "Ресурс". При обстеженні теплового стану енергетичного обладнання, огорожень житлових будівель та промислових споруд у ході експлуатації для визначення тепловтрат необхідно одночасно вимірювати температуру та тепловий потік у багатьох точках об'єкта протягом доволі тривалого часу. Це зумовлено тим, що енергетичне обладнання, як правило, змінює режими роботи залежно від навантаження, яке, своєю чергою змінюється не лише упродовж сезону, але й протягом доби. Тепловий стан будівель також змінюється як упродовж доби, так і залежно від погоди. Довготривалість теплових процесів, значні розміри будівель, енергетичного обладнання та нерівномірність розподілу тепловтрат спричиняють необхідність застосування для їхнього обстеження значної кількості перетворювачів теплового потоку (далі – ПТП) і перетворювачів температури (далі – ПТ) та багатоканальної вимірювальної системи з можливістю приєднання до неї також перетворювачів та пристроїв інших фізичних величин. Багатоканальна комп'ютеризована вимірювальна система дає можливість автоматизувати вимірювання та накопичувати вимірювальну інформацію для подальшого оброблення.

Основними складовими ВК "Ресурс", загальний вигляд якого подано на рис.1, є вимірювальний блок 1 та персональний комп'ютер 2 (ноутбук) з відповідним програмним забезпеченням, які під час транспортування розміщують у переносних кейсах. Для

розв'язання різних задач до вимірювального блока 1 приєднують різноманітні первинні перетворювачі та пристрої, а саме:

- комплект термоелектричних вимірювальних перетворювачів теплового потоку 3 та температури 4 ;
- пірометр Fluke 574 для безконтактного вимірювання температури об'єкта – 5 ;
- зондовий вимірювач коефіцієнта теплопровідності теплоізоляційних матеріалів – 6 ;
- пристрої для визначення коефіцієнтів конвективного та радіаційного теплообміну – 7 ;
- перетворювач для визначення вологості повітря – 8 ;
- пристрій для контролю теплозахисних властивостей покриттів та фарб (на рис. 1 відсутній).

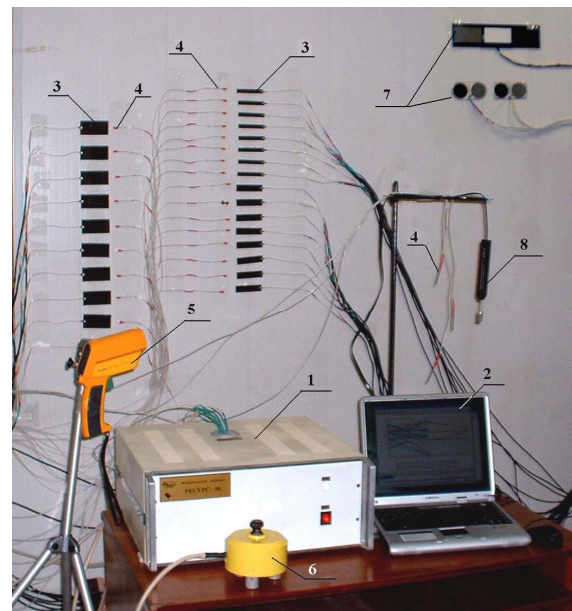


Рис. 1. Зовнішній вигляд комплексу "Ресурс"

Залежно від завдань, які повинен вирішувати конкретний комплекс, він може мати повний або частковий набір первинних перетворювачів та пристроїв, а також різну кількість вимірювальних каналів – від 16 до 96. Вимірювальний блок 1 комплексу дає змогу у довільній послідовності вимірювати напругу по всіх каналах. Блок має металевий прямокутний корпус, на якому розташовані з'єднувачі для під'єднання первинних перетворювачів. Блок побудовано на основі модулів серії I-7000, що призначені для створення промислових вимірювальних мереж. Базовими елементами блока є модулі типу I-7018 – модулі восьмиканальних 16-розрядних АЦП для вимірювання малих (термопарних) сигналів. Вони об'єднані між собою шиною інтерфейсу RS-485, а для зв'язку з

комп'ютерним послідовним інтерфейсом RS-232 застосовано модуль перетворювача інтерфейсів типу I-7520. Для кожного з модулів типу I-7018 програмно з комп'ютера можна задавати свій діапазон вимірювань з ряду ± 15 мВ; ± 50 мВ; ± 150 мВ, що дає змогу послідовно вимірювати вихідні сигнали різноманітних перетворювачів з необхідною роздільною здатністю. Електроживлення модулів вимірювального блока здійснюється від блока живлення типу DR4524, що перетворює мережеву напругу 220 В, 50 Гц на постійну напругу 24 В при навантаженні до 1,5 А.

Вимірювальний блок має вбудований пристрій опорних спаїв термопар (БОС), температура якого враховується під час визначення температури за допомогою термопар. БОС виконано у вигляді масивного дюралюмінієвого циліндра з отворами для спаїв термопар та транзисторного вимірювача температури, який виведено із одного з модулів I-7018. Зовнішня поверхня циліндра покрита теплоізоляцією для зменшення впливу зміни температури довкілля.

Програмне забезпечення ВК „Ресурс” дає змогу створювати індивідуальні конфігураційні файли для кожного об'єкта, тобто визначати послідовність опитування каналів, проміжок часу між опитуванням каналів, швидкість обміну та номер порту комп'ютера. При роботі здійснюється вимірювання сигналів за заданою програмою, їхнє первинне оброблення, видавання у вікно на екрані комп'ютера як у числовому вигляді у таблиці, так і у вигляді графіка зміни у часі. Одночасно дані запам'ятовуються в комп'ютері у текстовому файлі, що уможливує їхнє подальше оброблення програмним пакетом Microsoft Excel або іншим.

Комплект перетворювачів теплового потоку та температури. До комплекту первинних вимірювальних перетворювачів входять ПТП, в які вбудовано термоелектричні ПТ типу хромель-копель [4]. ПТП виконано у вигляді прямокутної жорсткої пластини, гнучкої пластини, а також ПТП у вигляді диска з поверхнею, що має низький або високий ступінь чорноти. Під час розроблення ПТП враховані рекомендації щодо вибору типу ПТП для різних об'єктів та умов експлуатації [5, 6, 7]. До комплекту первинних перетворювачів входять також перетворювачі для вимірювання температури [8] поверхні контрольованого об'єкта, повітря біля неї, а також перетворювачі, що призначені для занурення в

гільзи трубопроводів для визначення температури теплоносія.

Малоінерційні перетворювачі та швидкодіючий вимірювальний блок. Сучасне енергетичне та технологічне обладнання характеризується нестационарними режимами роботи, імпульсним введенням енергії, змінним навантаженням. Для дослідження таких об'єктів необхідно застосовувати малоінерційні первинні перетворювачі теплового потоку та температури, а також вторинну апаратуру з відповідним часом перетворення, передавання та оброблення сигналів.

Стала часу ПТП типу допоміжної стінки пропорційна до квадрата його товщини, тому зменшення сталої часу потребує зменшення товщини звичайного ПТП, що, своєю чергою, призводить до зменшення чутливості. У ПТФ розроблені малоінерційні перетворювачі з корекційною термоелектричною батареєю, в яких вдалося зменшити сталу часу не менш ніж на порядок [9]. Якщо для звичайних ПТП у вигляді пластини товщиною 2 мм стала часу становить приблизно 20...30 с, то для малоінерційних ПТП тієї самої товщини стала часу не перевищує 1 с. Для досліджень нестационарних теплових процесів комплекс може бути оснащений малоінерційними ПТП та стрічковими термопарами зі сталою часу на рівні 0,3 с.

Модулі I-7018, на базі яких побудований вимірювальний блок, дають змогу опитувати вісім каналів за 0,1 с. Така швидкодія достатня для побудови порівняно невеликої вимірювальної системи на 8 – 16 каналів. У разі необхідності вимірювань по більшій кількості каналів вторинна апаратура будується на іншій елементній базі. Так, наприклад, модуль E14-140 може виконувати вимірювання по 16 диференційних або 32 каналах з “загальною землею”; розрядність 14 бітів, частота дискретизації в одноканальному режимі 100 кГц, у багатоканальному – 20 кГц.

Зондовий вимірювач коефіцієнта теплопровідності. До вимог щодо якості теплового захисту енергетичних об'єктів, будівель і споруд належать вимоги до коефіцієнтів теплопровідності використаних матеріалів. Для оперативного дослідження та регулярного контролю коефіцієнтів теплопровідності твердих теплоізоляційних і будівельних матеріалів у виробничих умовах створений переносний прилад – зондовий вимірювач коефіцієнта теплопровідності теплоізоляційних матеріалів. У приладі реалізований

метод локального теплового впливу на обмежену зону плоскої поверхні контрольованого матеріалу при диференціальному способі вимірювання різниць густини теплового потоку і температур у зоні нагрівання і незбуреній зоні та обчисленні значення коефіцієнта теплопровідності [10, 11]. Перевага цього методу полягає в можливості визначення коефіцієнтів теплопровідності на зразках неправильної форми, зокрема і на готових виробах без підготовки спеціального зразка конкретної форми. Необхідно мати одну плоску поверхню, на яку встановлюється тепловий блок приладу.

Під час розроблення приладу використано результати аналітичного дослідження методу локального теплового впливу на обмежену зону поверхні контрольованого матеріалу у вигляді зразка або у вигляді напівобмеженого масиву, або нескінченної пластини обмеженої товщини. Виконані теоретичні та експериментальні дослідження, що дали змогу оцінити вплив сторонніх факторів на функцію перетворення та похибки вимірювань.

Тепловий блок (поз. б на рис. 1) вимірювача являє собою малогабаритну конструкцію циліндричної форми, основними елементами якої є три зонди, сполучені конструктивно з ніжками-опорами, прикріпленими до основи корпусу. Один зонд є робочим зондом приладу, призначеним для завдання локального теплового впливу на обмежену зону поверхні контрольованого об'єкта. Інший зонд є референтом, а

третій – призначений для визначення температури, за якої отримано результати вимірювання коефіцієнта теплопровідності. Функціональна (а) схема приладу та конструктивна (б) схема зонду надані на рис. 2. Робочий зонд і зонд-референт мають однаковий конструктивний устрій (див. рис. 2) і складаються з теплової голівки на основі 1, з'єднаний з корпусом 2 за допомогою гнучкого шарніра 3. Теплова голівка кожного з цих двох зондів містить електричний нагрівник 4, термопару 5 і ПТП 6. Теплова голівка третього зонда містить тільки термопару.

У тепловому блоці розміщений регулятор температури РТ, призначений для підтримання заданої різниці температури між робочим зондом і зондом-референтом. Цей регулятор є керуючою ланкою замкнутої системи регулювання з пропорційним законом регулювання. Чутливим елементом є диференціальна термопара, один спай (ПТЗ) якої розташований у тепловій голівці робочого зонда, а інший (ПТ4) – у тепловій голівці референта. Їхній диференціальний сигнал підсилюється і надходить на один із входів елемента порівняння, на інший вхід якого надходить сигнал, пропорційний до заданої різниці температури. Вихідним сигналом елемента порівняння керує силовий транзистор, до якого підімкнений нагрівальний елемент $R_{н1}$, розташований у робочому зонді. У тепловому блоці розміщена також мостова схема пристрою компенсації температури опорного спаю перетворювача температури поверхні зразка.

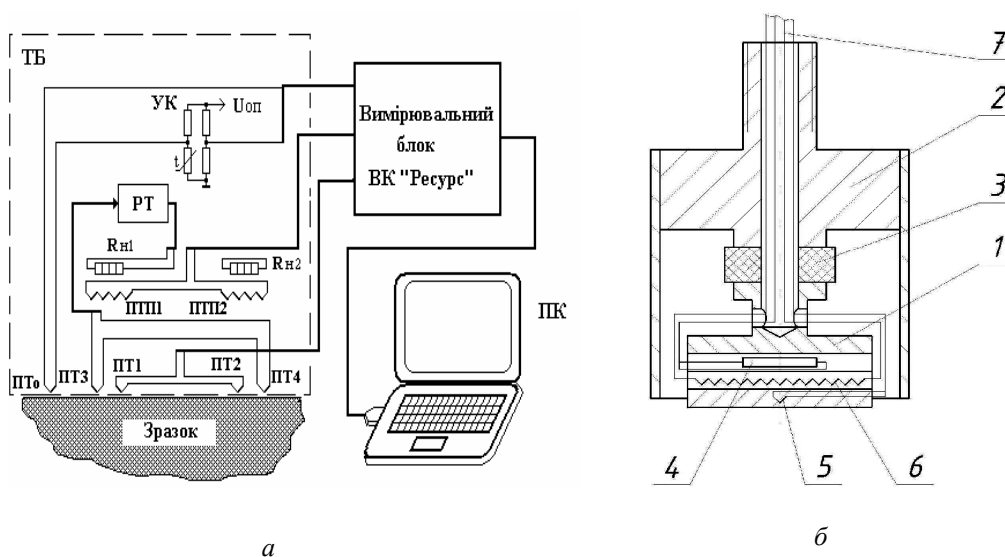


Рис. 2. Функціональна схема (а) і конструкція робочого зонда та зонда-референта (б) вимірювача коефіцієнта теплопровідності

Усі вимірювальні виводи і проводи живлення сформовані у вигляді кабелю зв'язку з вимірювальним блоком ВК "Ресурс". Дані про сигнали перетворювачів з вимірювального блока ВК "Ресурс" передаються у ноутбук, перераховуються у значення температури та густини теплового потоку, та розраховується значення коефіцієнта теплопровідності досліджуваного зразка.

Коефіцієнт теплопровідності I розраховують за формулою:

$$I = F \frac{q_1 - q_2}{T_1 - T_2}$$

де F – поліноміальна апроксимаційна функція, яка визначається при градуванні приладу із застосуванням еталонних мір теплопровідності; q_1 і q_2 – теплові потоки крізь робочий зонд та зонд-референт; T_1 і T_2 – температури на поверхні зразка, що виміряні робочим зондом та референтом;

Пристрій контролю покриттів та фарб. До ВК "Ресурс" входить ще пристрій для контролю теплозахисних властивостей покриттів та фарб, бо у практику активно впроваджуються нові енергоефективні матеріали з невідомим коефіцієнтом теплопровідності, що мають малу товщину. Це різноманітні покриття, фарби, скло з низькою поглинальною здатністю тощо. Для таких матеріалів не завжди коректне застосування відомих засобів вимірювання. Тому розроблено спеціальний пристрій для контролю теплозахисних властивостей тонких матеріалів, в якому реалізовано умови теплообміну, що характерні для об'єкта, де використані ці матеріали.

Конструктивною основою пристрою (рис. 3) є плита 1 з дюралюмінію, в яку вбудовані термометр опору 2 та нагрівник 3. Разом з регулятором вони утворюють систему регулювання температури плити. Під час дослідів ця температура встановлюється такою, що дорівнює температурі об'єкта, для якого призначено покриття.

На робочій поверхні плити 1 встановлено три ПТП з вмонтованими ПТ 4. На поверхню одного з ПТП наносять контрольоване покриття 5, другий залишають вільним для контролю теплообміну на незахищеній поверхні, а на третій можна наносити покриття з відомими властивостями для порівняння з контрольованим. Навпроти робочій поверхні плити встановлено екран 6, причому для імітації різних умов теплообміну можна встановлювати екрани з різною поглинальною здатністю – від 0,1 для фольги з алюмінію до 0,9 для оргскла. Під час дослідження можливостей використання покриття для захисту від зовнішнього теплового випромінювання (наприклад, від сонця) як екран використовується тонка поліетиленова плівка з широким спектром пропускання. Екран 6 та робоча поверхня плити 1 створюють плоский канал, в якому для відтворення конвективного теплообміну за допомогою вентилятора 7 продувається повітря. Заслінка 8 дає змогу за потреби спрямовувати частину повітря від вентилятора на зворотну частину плити 1 для її охолодження. Турбулізуючі решітки 9 застосовано для просторового вирівнювання коефіцієнта конвективного теплообміну в каналі. Пристрій оснащений термоелектричними ПТ 10, 11, 12 відповідно для вимірювання температури поверхонь покриттів, плити та повітря. Сигнали первинних перетворювачів подаються на вимірювальний блок ВК "Ресурс", звідки дані за послідовним інтерфейсом передаються у ноутбук. Пристрій дає змогу порівнювати інтегральні теплозахисні властивості різних тонких матеріалів, а також оцінювати їхні тепловий опір та поглинальну здатність.

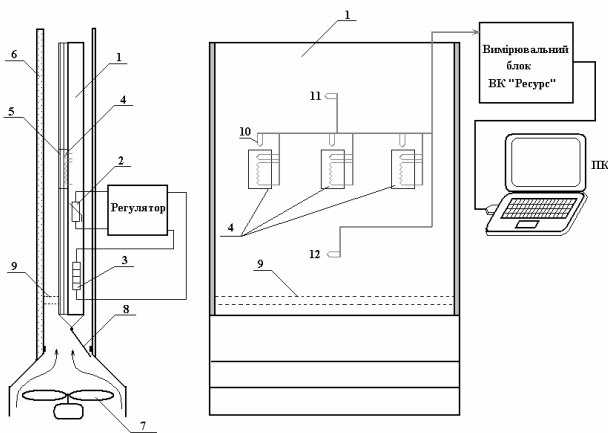


Рис. 3. Функціонально-конструктивна схема пристрою для контролю теплозахисних властивостей покриттів та фарб

Дослідження енергоощадних фарб. В останні роки ряд фірм пропонує фарби і покриття типу мастик, що рекламують як "теплоізолювальні" і "енергоощадні". Ці покриття мають різні фірмові і торговельні назви: "Thermo-Shield", "Thermal-Coat", "Delta-T", "Superthermo" та інші, однак опис історії їхнього створення, структури і властивостей дуже схожі. Прототипи покриттів розроблені в NASA для космічних апаратів. Як зв'язуюче використана

водорозчинна акрилова смола, а як наповнювач – порожні керамічні (боросилікат натрію) кульки з розмірами в кілька десятків мікрметрів і менші. Стверджується, що різні "енергоощадні" фарби відбивають від 85 до 98% інфрачервоного теплового випромінювання. У деяких рекламних проспектах вказують, що ефективний коефіцієнт теплопровідності покриття не перевищує $0,001 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$, а шар фарби товщиною 1 мм за теплоізолювальними властивостями відповідає шарові мінеральної вати товщиною 150 мм. Такі характеристики, що декларуються, викликають подив і природну недовіру.

Для досліджень цих фарб застосовано пристрій, що розглянутий вище. Під час досліджень визначено інтегральні коефіцієнт поглинання і ступінь чорноти покриття за різних значень температури випромінювача, а також при впливі прямого сонячного випромінювання, тобто при різному спектральному розподілі теплового випромінювання. Визначений також коефіцієнт теплопровідності шару покриття за значень температури, близьких до кімнатної. Встановлено, що коефіцієнт поглинання випробуваних фарб для сонячного випромінювання дійсно доволі малий. Так, для двоміліметрового шару фарби "Superthermo" коефіцієнт поглинання сонячного випромінювання становить $0,04 \div 0,05$. Однак для температури випромінювача від кімнатних значень до кількох сотень градусів інтегральний напівсферичний коефіцієнт поглинання становить $0,8 \div 0,9$, тобто покриття поглинає значну частину довгохвильового інфрачервоного спектра.

Визначені значення коефіцієнта теплопровідності для досліджених фарб і покриттів лежать у діапазоні $0,05 \div 0,13 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$, тобто відповідають теплопровідності звичайних теплоізоляційних матеріалів і не суперечать розрахунковим даним для пористої акрилової смоли. Отримані значення на два порядки більші від задекларованих у рекламі. Використання покриттів з цих фарб як теплоізоляторів вже завдало великих збитків на деяких об'єктах в Україні, але їх продовжують розповсюджувати.

Отже, запропоновані фарби можуть захистити від теплового сонячного випромінювання, а також вони ефективні для нанесення на устаткування, яке потрібно захистити від перегріву сонячним випромінюванням: космічні апарати, газгольдери, дахи будинків у південних регіонах тощо. У цьому змісті фарби дійсно є "енергоефективними", тому що дають змогу заощаджувати енергію на охолодження і кондиціонування цих об'єктів.

Водночас розглянуті покриття зовсім не здатні замінити теплову ізоляцію тих об'єктів, де потрібно захиститися від втрат теплоти – теплотрас, фасадів будинків, енергетичного та технологічного устаткування, що мають температуру поверхонь до декількох сотень градусів. У цих випадках необхідно використовувати сертифіковані за теплопровідністю традиційні ізоляційні матеріали, товщина яких розраховується за відомими методиками і, як правило, значно перевищує товщину шару фарби [12].

Дослідження тепловтрат поверхонь водогрійного котла. Для визначення можливостей вимірювального комплексу "Ресурс" і перевірки методик вимірювання виконано експериментальні дослідження на об'єкті комунального господарства філії Київенерго "Житло теплоенерго" [13]. Об'єктом дослідження вибрано теплофікаційний водогрійний газовий котел ТВГ-8 тепловідатністю $8,3 \text{ Гкал/год}$, що належить до прямоточних секційних котлів з примусовою циркуляцією води та з рівними зовнішніми стінами, тільки верхня поверхня має виступи через розташовані на ній труби верхніх колекторів.

При теплоенергетичному обстеженні цього котельного агрегату за допомогою ВК "Ресурс" були визначені значення фактичних втрат теплоти від поверхонь, на підставі чого розраховані значення q_5 – втрат теплоти від зовнішнього охолодження водогрійного котла.

Контактні вимірювання значень теплового потоку за допомогою ПТП та розрахунки на їхній основі теплових втрат є найбільш представницькими порівняно з вимірюванням температури поверхні і навколишнього повітря та застосуванням аналітичних розрахунків коефіцієнта теплообміну. Серед недоліків контактної методу можна назвати тривалість монтажу ПТП та ПТ на об'єкті, особливо за значних розмірів огорожень. Для визначення коефіцієнта теплообміну використано базовий спосіб визначення прямими контактними вимірюваннями значень теплового потоку та температури із застосуванням чорно-білого ПТП ВК "Ресурс" сумісно з одночасними безконтактними вимірюваннями температури пірометром Fluke 574 в місцях вимірів теплового потоку. Окремо вимірювалась температура повітря за межами пристінного шару поверхні котла.

У зв'язку з нерівномірністю розподілу тепловтрат на підставі попереднього обстеження пірометром вся

поверхня водогрійного котла ТВГ-8 поділена на оптимальну кількість ділянок. На кожній з ділянок вимірний тепловий потік та температура поверхні, а потім на підставі цих даних та площ ділянок розраховане значення тепловтрат з поверхні. Було встановлено, що q_5 в три рази менше за нормативне. Цей факт не має підтвердження в літературних джерелах за винятком рекомендацій проектного інституту – Інституту газу НАН України та вимагає додаткової перевірки за різними методиками. Чинні нормативи на тепловтрати q_5 розроблено на підставі досліджень парових котлів, що мають значно вищу температуру теплоносія.

Доцільно на основі вимірів за допомогою розроблених приладів визначити нові нормативні значення тепловтрат від зовнішнього охолодження водогрійних котлів та застосовувати їх при енергетичному аудиті різноманітних енергетичних об'єктів.

Висновки. Розроблений вимірювальний комплекс “Ресурс” дає змогу закрити приладову нішу по енергетичному аудиту. За допомогою комплексу можна досліджувати як стаціонарні, так і істотно нестационарні теплові процеси. Цим комплексом доцільно оснастити енергогенерувальні компанії, комунальні підприємства, служби енергонагляду та сертифікаційні центри.

1. ДБН В.2.6–31:2006 Державні будівельні норми України. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель. Мінбуд України, Київ, 2006. – 64 с. 2. Геращенко О.А. Основы теплотехники. – К.: Наук. думка, 1972. – 172 с. 3. Приборы для теплофизических измерений / Каталог Института технической теплофизики НАН Украины. – К.: ИТТФ НАН Украины, 2005.– 1991. – 60 с. 4. ДСТУ 3756-98 (ГОСТ 30619-98) Енергозбереження. Перетворювачі теплового потоку термоелектричні загального призначення. Загальні технічні умови / Розробники: Грищенко Т.Г., Декуша Л.В., Воробйов Л.Й. – К.: Держстандарт

України, 2000. – 21 с. 5. Визначення теплових потоків крізь огорожувальні конструкції: Методика М00013184.5.023-01/ Розробники: Т.Г.Грищенко, Л.В.Декуша та інші. – К.: ЛОГОС, 2002. – 131 с. 6. ДСТУ ISO 9869:2006 Теплоізоляція. Будівельні елементи. Натурні вимірювання теплового опору та коефіцієнту теплопередавання. 7. ДСТУ 4035-2001 Енергозбереження. Будівлі та споруди. Методи вимірювання поверхневої густини теплових потоків та визначення коефіцієнтів теплообміну між огорожувальними конструкціями та довкіллям. 8. ГОСТ 3044-94 Преобразователи термоэлектрические. Номинальные статические характеристики преобразования. 9. Декуша Л.В., Грищенко Т.Г., Декуша О.Л., Пархоменко Г.А., Воробьев Л.И. Малоинерционные преобразователи теплового потока с корректирующей термобатарей // Тезисы V междунар. конф. “Проблемы промышленной теплотехники” – Киев, 22-26 мая 2007г. – С.338. 10. Декуша Л.В., Воробьев Л.И., Декуша О.Л., Мхитарян Н.М., Бадеян Г.В. Переносной прибор для измерения коэффициентов теплопроводности строительных материалов // Пром. теплотехника, 2004. –Т.26, № 3. – С. 80–84. 11. Декуша Л.В., Менделеева Т.В, Воробьев Л.И., Декуша О.Л. Теоретическое обоснование прибора для экспресс-определения коэффициентов теплопроводности твердых материалов // Пром.теплотехника. – 2004, Т.26.– № 4. – С. 76–82. 12. Декуша Л.В., Грищенко Т.Г., Воробьев Л.И., Мазуренко А.Г. О реальных физических свойствах и возможностях “теплоизолирующих” красок // В сб. тезисов IV Межд. конф. “Проблемы промышленной теплотехники”. – К.: Институт технической теплофизики НАН Украины, 2005. – С.324–326. 13. Подовження ресурсу роботи елементів котельного обладнання децентралізованої енергетики / Звіт з НДР “Ресурс” № Держ. Рег. 0105U006883. – Київ: Інститут технічної теплофізики НАН України, 2005. – Розділ 3. – 46 с.