

**В.А. СТОРОЖЕНКО, Р. П. ОРЕЛ, С. Н. МЕШКОВ**

### **ТЕПЛОВИЗИОННАЯ ДИАГНОСТИКА ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

Описана методика проведения тепловизионного обследования жилых и административных зданий. Обнаружены эксплуатационные и конструктивные тепловые аномалии исследованных зданий, по которым проведены расчеты тепловых потерь. Абсолютные (ожидаемые) значения тепловых потерь сильно зависят от точности инструментального определения входных параметров. Исследованы группы факторов, влияющих на конечный результат. Показано, что наибольшую сложность представляет инструментальное определение коэффициента внешней теплоотдачи наружной поверхности стен объектов. При малых уровнях тепловой мощности излучаемых наружными стенами при отрицательных температурах воздуха применение измерителей тепловых потоков весьма затруднительно, что отражается на точности расчетов. Показано, что основным противоречием при проведении тепловизионного теплового аудита является то, что тепловые потери определяются на момент съемки, а затем экстраполируются на годовой период с учетом нормируемой температуры внутри помещений, средних климатических условий в данной местности и длительности отопительного периода. Выдвигается и обосновывается тезис, что тепловизионный метод наиболее эффективен и дает достоверные результаты при расчете относительных тепловых потерь, регистрируемых на момент съемки. В целом, тепловизионный энергоаудит может давать ориентировочные оценки тепловых потерь, что обусловлено большим числом параметров, которые надо учитывать при натуральных исследованиях. Визуализация и документирование температурных аномалий при наблюдении всех методических рекомендаций и расчет тепловых потерь позволяют формировать управленческие решения для разработки мер по теплосбережению. Указаны направления дальнейшего развития и совершенствования тепловизионного диагностирования и расчета температурных потерь.

**Ключевые слова:** тепловизионное диагностирование, ограждающие конструкции зданий, тепловые потери.

**В.О. СТОРОЖЕНКО, Р. П. ОРЕЛ, С. М. МЕШКОВ**

### **ТЕПЛОВІЗІЙНА ДІАГНОСТИКА ТЕПЛООВОГО ЗАХИСТУ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД**

Описана методика проведення тепловізійного обстеження житлових і адміністративних будівель. Виявлено експлуатаційні і конструктивні теплові аномалії досліджених будівель, за якими проведені розрахунки теплових втрат. Абсолютні (очікувані) значення теплових втрат сильно залежать від точності інструментального визначення вхідних параметрів. Досліджено групи факторів, що впливають на кінцевий результат. Показано, що найбільшу складність представляє інструментальне визначення коефіцієнта зовнішньої теплоїдачі зовнішньої поверхні стін об'єктів. При малих рівнях теплової потужності, що випромінюється зовнішніми стінами при негативних температурах повітря, застосування вимірювачів теплових потоків вельми скрутно, що відображається на точності розрахунків. Показано, що основним протиріччям при проведенні тепловізійного теплового аудиту є те, що теплові втрати визначаються на момент зйомки, а потім екстраполюються на річний період з урахуванням нормованої температури всередині приміщень, середніх кліматичних умов в даній місцевості і тривалості опалювального періоду. Було висунуто і обґрунтовується теза, що тепловізійний метод найбільш ефективний і дає достовірні результати при розрахунку відносних теплових втрат, що реєструються на момент зйомки. В цілому, тепловізійний энергоаудит може давати орієнтовні оцінки теплових втрат, що обумовлено великим числом параметрів, які треба враховувати при натурних дослідженнях. Визуалізація і документування температурних аномалій при дотриманні всіх методичних рекомендацій і розрахунок теплових втрат дозволяють формувати управлінські рішення для розробки заходів з теплосбереження. Вказано напрямки подальшого розвитку та вдосконалення тепловізійного діагностування та розрахунку температурних втрат.

**Ключові слова:** тепловизионное діагностування, огорожувальні конструкції будівель, теплові втрати.

**V.A. STOROZHENKO, R. P. OREL, S. N. MESHKOV**

### **THERMOGRAPHIC EXAMINATION OF BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS THERMAL PROTECTION**

The technique of thermal imaging survey of residential and office buildings is described. The operational and constructive thermal anomalies of the investigated buildings were revealed, for which the heat losses were calculated. The absolute (expected) values of heat losses strongly depend on the accuracy of the instrumental determination of input parameters. The groups of factors influencing the final result are investigated. It is shown that the greatest difficulty is the instrumental determination of the external heat transfer coefficient of the outer surface of the walls of objects. At low levels of thermal power emitted by external walls at negative air temperatures, the use of heat flow meters is very difficult, which affects the accuracy of the calculations. It is shown that the main contradiction in conducting of thermal imaging heat audit is that heat losses are determined at the time of the survey, and then extrapolated for a one-year period, taking into account the normalized indoor temperature, average climatic conditions in the room and the duration of the heating period. The thesis is advanced and substantiated that the thermal imaging method is most effective and gives reliable results when calculating the relative heat losses recorded at the time of the shooting. In general, a thermal imaging energy audit can provide approximate estimates of heat losses, due to a large number of parameters that must be considered in field studies. Visualization and documentation of temperature anomalies in compliance with all the guidelines and the calculation of heat loss allows you to create management solutions for the development of measures for heat saving. The directions of further development and improvement of thermal imaging diagnostics and calculation of temperature losses are indicated.

**Keywords:** thermal imaging diagnostics, building envelopes, heat losses.

**Введение.** В последнее десятилетие существенно вырос интерес к применению тепловидения в строительстве. В Украине это обусловлено следующими факторами: введением новых ДСТУ, строительных норм, энергетических паспортов. Все это стимулировало появление рынка услуг по энергоаудиту строительных сооружений и спросу на тепловизоры. Цены на тепловизоры снизились почти на порядок, измерительные модели стали доступными

организациям и даже физическим лицам. Пока, к сожалению, украинских официальных документов, используемых в тепловизионном аудите недостаточно [1]. Также мало и отечественных работ, посвященных этой теме. Однако, в связи с близостью общих строительных норм и климатических условий, вполне допустимо применение некоторых российских официальных документов [2, 3, 4], в основе которых лежат международные стандарты [5]. Значительное

количество стандартов и руководств были разработаны в Швеции, Канаде и США.

Однако, несмотря на очевидные достижения строительного тепловидения, теория тепловизионного контроля и методология его применения в значительной мере опираются на исследования, которые проводились еще в 80-х и 90-х годах [6, 7]. Можно сказать, что в современной тепловизионной практике в основном превалирует качественная картина и существует определенный разрыв между теоретическими аспектами теплопередачи и практическими обследованиями зданий и сооружений. Поэтому в настоящее время особое внимание уделяется количественной интерпретации результатов тепловизионного обследования.

Оценки тепловых потерь и сопротивления теплопередаче зданий могут быть проектными и экспериментальными. Известно, что фактическое состояние теплозащиты сооружений может весьма значительно отличаться от проектных значений в силу ошибок проектирования, недобросовестного строительства, деградации материалов с течением времени за счет увлажнения, старения, разрушения и тому подобных процессов. Поэтому важное место в энергетических обследованиях приобретает экспериментальная (инструментальная) оценка параметров теплозащиты ограждающих конструкций.

**Методика расчета тепловых потерь по результатам тепловизионного аудита.** Согласно схеме (рис. 1) при известных температурах воздуха внутри и снаружи контроля (соответственно  $T_{air}^{in}$  и  $T_{air}^{out}$ ), прогнозируемые тепловые потери  $W$  (МДж или Гкал) определяются по формуле [8]:

$$W = \sum_{k=1}^N Q_{cur,k} \tau \Delta S_k \cdot \frac{T_{air}^{in} - T_{air}^{out}}{T_{air,norm}^{in} - T_{air,norm}^{out}}, \quad (1)$$

где  $Q_{cur,k}$  – текущие тепловые потери в  $k$ -зоне;

$\tau$  – продолжительность отопительного сезона;

$\Delta S_k$  –  $k$ - область измерений;

$T_{air,norm}^{in}$  – нормативная температура внутри помещений (+21°C для жилых помещений);

$T_{air,norm}^{out}$  – средняя нормативная температура наружного воздуха в течение отопительного периода.

Выражение (1) распространяет данные текущих измерений на весь отопительный период. Предполагается, что система отопления может регулироваться для обеспечения комфортной температуры в помещениях при изменяющейся наружной температуре.

С помощью тепловизора, как правило, обследуют ограждающие поверхности, а теплотери через крышу и фундамент оценивают согласно разработанным в строительной теплофизике рекомендациям [7, 8].

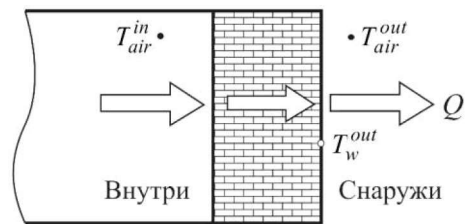


Рис. 1 – Схема и параметры для определения тепловых потерь

Большая часть тепловых потерь приходится на инфильтрацию холодного воздуха, основная часть которого поступает через притворы и неплотности окон и балконных дверей.

Таблица 1 – Теплотери через отдельные элементы зданий

Элемент здания	Доля теплотери, %
Стены	32,0
Окна	29,0
Кровли	24,0
Воздухообмен	9,0
Фундамент	6,0

Измерения сравнительно легко производятся на боковых ограждающих поверхностях (стенах). Тепловизионное обследование крыш и фундамента не всегда возможно и зачастую сводится к точечным оценкам с помощью ИК пирометров.

Для оценки теплотери необходимо измерять плотность мощности теплового потока  $Q_{cur,k}$  как функцию координат в каждой  $k$ -зоне обследования. ИК-термометры и тепловизоры не способны измерять тепловой поток, проходящий через ограждающие конструкции, величину  $Q_{cur,k}$  определяют в отдельных точках на внутренней поверхности ограждающей конструкции, используя измерители мощности теплового потока. Измерения проводят как на стенах, так и на окнах. Усреднение экспериментальных данных является сложной задачей из-за трудностей доступа к желаемым точкам измерений, а также из-за влияния систем отопления и вентиляции.

Ключевая роль тепловидения в рассматриваемой измерительной процедуре состоит в определении температурного распределения  $T_w^{out}$  по всей поверхности ограждающей конструкции. При этом теплопередача через стену считается стационарной. Последнее условие является обязательным, если используются формулы, рекомендуемые зарубежными и российскими стандартами. Если не учитывать рекомендованные методы учета суточных колебаний температуры [9, 10], то тогда средняя плотность теплового потока через ограждающую конструкцию согласно [8] равна:

$$Q_{cur,av} = Q_{cur,ref} \cdot \frac{T_w^{out,av} - T_{air}^{out}}{T_w^{out,ref} - T_{air}^{out}}, \quad (2)$$

где  $Q_{cur.ref}$  – текущее значение плотности теплового потока в выбранной эталонной точке на внутренней поверхности стены;

$T_w^{out.ref} - T_{air}^{out}$  – разность температур наружной поверхности стены в эталонной точке и наружного воздуха;

$T_w^{out.av}$  – средняя температура наружной стены, рассчитанная путем усреднения результатов тепловизионной съемки.

Принимается, что из-за линейного характера теплопередачи плотность мощности теплового потока в различных точках пропорциональна разности температур наружной стены и наружного воздуха. При подобных расчетах не рассматриваются тепловые потери вследствие работы естественной или принудительной вентиляции.

Общие тепловые потери можно оценить по формуле

$$W = Q_{cur.ref}TS \cdot \frac{T_w^{out.av} - T_{air}^{out}}{T_w^{out.ref} - T_{air}^{out}} \times \times \frac{T_{air}^{in} - T_{air}^{out}}{T_{air,norm}^{in} - T_{air,norm}^{out}} \quad (3)$$

где  $S$  – область, в которой выполнено усреднение результатов тепловизионных измерений. Величина  $Q_{cur.ref}$  зависит от сопротивления теплопередаче стены, а другие параметры предназначены для корректировки тепловых потерь по всей поверхности ограждающих конструкций согласно нормативным требованиям.

**Результаты тепловизионного оценивания тепловых потерь.** Специалистами НТЦ "Термоконтроль" Харьковского национального университета радиоэлектроники был проведен ряд тепловизионных обследований жилых и административных зданий. Например, студенческого общежития университета. Использовались измерительные средства: тепловизор ИРТИС-200, инфракрасный пирометр INFRAMETRICS H-107, датчик теплового потока ИТП-6. Целью тепловизионной диагностики были:

1. Оценка качества здания;
2. Оценка общих тепловых потерь здания и рекомендации по энергосбережению.

Климатические условия на момент съемки: температура наружного воздуха составляла  $-4,0$  °С, температура внутри помещений на разных этажах составляла от  $+19$  °С до  $+22$  °С. В ходе сплошного мониторинга с помощью тепловизора осмотрены три стороны здания и фасад со стороны внутреннего двора. Произведен замер температуры в коридорах на четырех этажах. В реперных точках на поверхности стен и окон внутри и снаружи здания измерены тепловые потоки с помощью прибора ИТП-6. Размеры здания и объем ( $14400$  м<sup>3</sup>) определены по технической документации (рис. 2). Площадь боковых ограждающих конструкций оценена в  $2460$  кв.м.

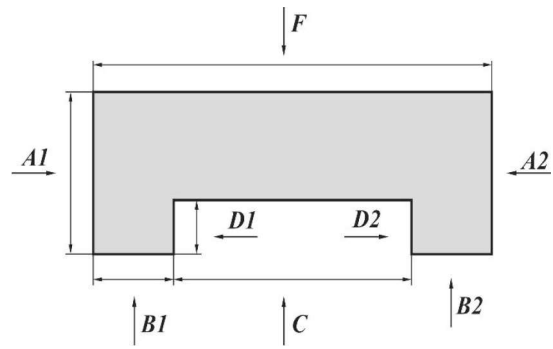


Рис. 2 – Схема тепловизионной съемки здания

Измеренные температуры внутри здания составили:

- +19,3 °С на 1-го этаже вдали от воздушных нагревателей;
- +20,0 °С в коридоре 2-го этажа;
- +20,4 °С в коридоре 3-го этажа;
- +21,1 °С в коридоре 4-го этажа.

Исходя величины из размеров поля зрения тепловизора и рекомендаций [6, 8] при расстоянии  $20$  м до объекта размер  $k$ -зоны на стене здания составлял около  $7$  м. Время адаптации тепловизора к температуре наружного воздуха составило не менее  $30$  минут. В результате панорамного осмотра было получено более  $30$  термограмм.

Термографирование позволило оценить тепловой режим отдельных помещений здания. Разброс температур наружных стен фасадов составлял  $-0,52$  °С ...  $-2,56$  °С. На разных этажах здания были обнаружены окна с высокими потерями тепла (за счет открытой внутренней рамы). Обработка термограмм показала, что средняя температура на всей боковой поверхности здания составляет  $-1,44$  °С.

Потери тепловой мощности из здания через боковую поверхность  $S$  на момент съемки согласно формуле (1) составляли около  $53$  кВт.

Согласно таблице 1 и данным [7] полные тепловые потери здания превышают тепловые потери через боковые ограждающие конструкции в  $2,3$  раза. Тогда полные потери тепловой мощности из здания на момент обследования составили около  $121$  кВт.

При оценке тепловых потерь из здания за отопительный период следует исходить из нормативной температуры внутри помещений ( $+18$  °С) и средней зимней температуры. Для города Харькова средняя температура воздуха за отопительный период составляет  $-4,3$  °С. На момент обследования температурный напор составлял порядка  $25$  °С ...  $28$  °С, то есть был близок к расчетному, поэтому потери тепловой мощности порядка  $121$  кВт справедливы также и при нормативных оценках.

Нормативные потери тепловой энергии через все ограждающие конструкции составили  $361$  Гкал/год. Сравнение с фактическими затратами по счетчику тепlopункта показали, что расчетная оценка выше на  $32\%$ . Близкие к этому результату расхождения были получены и другими авторами, которые использовали указанную методику в своих исследованиях [11, 12].

Под оптимальным тепловым режимом здания понимается такой, который обеспечивает во всех помещениях нормативную температуру 18 °С при средней зимней температуре климатической зоны. Из анализа термограмм здания следует, что на момент обследования оптимизация теплового режима должна привести к уменьшению средней температуры здания на 1,0 °С. Эта величина сохраняется и при переходе к нормативному тепловому режиму, поскольку фактический и расчетный температурный напор

приблизительно одинаковы. Тогда годовая экономия составит согласно формуле (1) около 157 Гкал/год.

Анализ термограмм выявил наличие в некоторых помещениях общежития запрещенных нагревательных приборов (рис. 3). Источниками потерь тепловой энергии являлись ниши под окнами, где установлены радиаторы центрального отопления (рис. 4), а также некачественно установленные оконные пакеты.

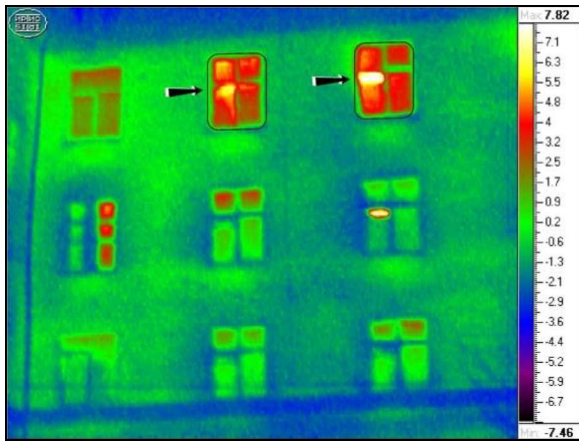


Рис. 3 – Помещения с дополнительными нагревательными приборами

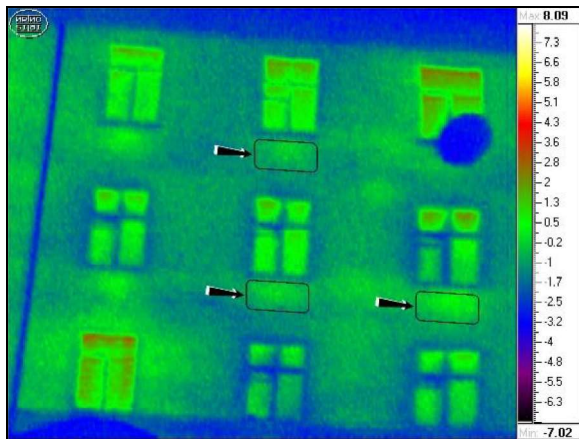


Рис. 4 – Тепловые потери из мест установки радиаторов центрального отопления

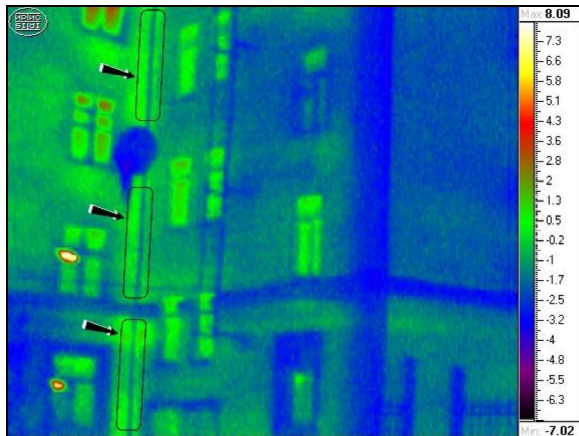


Рис. 5 – Дефект конструкции здания. Стык между фасадами С и D

Ранее при ремонте здания часть деревянных оконных рам были заменены на однокамерные стеклопакеты. Термографирование не выявило существенного отличия по величине тепловых потерь между старыми деревянными окнами с двойными рамами и новыми пластиковыми окнами с однокамерными стеклопакетами.

При обследовании были обнаружены дефекты конструкции здания – стык между фасадами *C* и *D* (рис. 5). Площадь дефекта составила около 12 кв.м. Дефектный стык приводит к потерям тепла, возможному сдвигу точки росы внутрь здания и промерзанию здания с последующим его разрушением. Оценка потери тепловой мощности составила около 0,14 кВт или 480 Мкал/год.

В количественном выражении тепловые потери от мест установки радиаторов отопления по указанной методике составляют около 2,29 Гкал/год. Итоговые расчеты по зданию общежития представлены в табл. 2.

По результатам обследования в целях экономии энергоресурсов были разработаны следующие рекомендации:

1. Установка теплозащитных отражающих экранов в нишах установки радиаторов;
2. Устранение щелей у некачественно установленных оконных рам;
3. Удаление самодельных нагревательных приборов из комнат общежития.

В случае установки тепловых экранов указанных тепловых потерь можно избежать (около 2,29 Гкал/год). Последняя мера имеет двойной эффект, так как повышает пожаробезопасность здания.

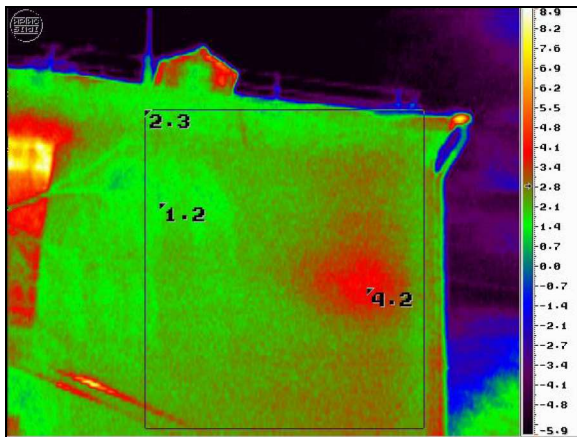


Таблица 2 – Результаты расчета тепловых потерь общежития №2 ХНУРЭ

Источник	Оценка потерь тепловой энергии, Гкал/год	Часть от общих тепловых потерь, %
Здание общежития	361	100
Места установки радиаторов отопления	2,29	0,6
Стык фасадов <i>C</i> и <i>D2</i>	0,48	0,1

Интересный расчет тепловых потерь был проведен для здания спального корпуса школы-интерната посёлка Кочеток, Харьковской области (рис. 6). Внутри корпуса находились душевые комнаты, внешняя стена которых была выложена с нарушением строительных норм. Потери тепла на момент съемки составили 112 Вт. Отчет о тепловизионном обследовании с соответствующими расчетами был представлен администрации учреждения

Большой интерес представляет эффективность современных систем отопления, которые устанавливаются в административных зданиях новой постройки. На рис. 7 показан фрагмент фасада новостройки административного здания. Источником тепловых потерь является вентиляционный выход, установленный на верхних этажах здания. Тепловые потери оцениваются на уровне около 0,19 Гкал/год.



Рис. 6 – Тепловые потери здания спального корпуса школы-интерната

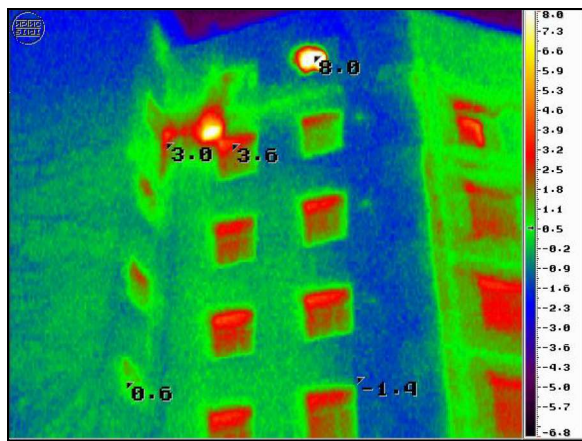


Рис. 7 – Тепловые потери через отверстие воздушной вентиляции.

### Особенности тепловизионного энергоаудита, снижающие точность оценки тепловых потерь.

При тепловизионном энергоаудите можно выделить две особенности, снижающие его точность:

1. Недостаточное метрологическое обоснование тепловизионных измерений (использование экономичных тепловизоров с небольшим форматом термоизображений (160×120 и менее) и существенной погрешностью температурных измерений (обычно  $\pm 2\%$  или  $\pm 2\text{ }^\circ\text{C}$ , что мало приемлемо в энергоаудите);
2. Невыполнение методических рекомендаций по обеспечению точных температурных измерений при априорном отсутствии значений ряда параметров.

Первый момент можно разрешить достаточно просто, если применить для съемки тепловизор более высокого класса. Примерные характеристики такого прибора приведены в [5]. Выполнение методических рекомендаций требует значительно больших усилий. Есть сведения, что при невыполнении методических рекомендаций по проведению тепловизионных съемок экспериментальные оценки погрешности измерения температуры фасадов зданий могут достигать  $1,8\text{ }^\circ\text{C}$ . Снизить методические погрешности можно введением ряда корректирующих параметров. К ним относятся уточненные значения коэффициентов излучения стен и окон, которые могут отличаться от табличных [6]. Определение этих параметров должно проводиться во время тепловизионной съемки по специальным методикам [5], что значительно влияет на сложность и трудоемкость проводимых работ. Важное значение имеет время адаптации тепловизора к температуре наружного воздуха (оно должно составлять не менее 60 мин.). В случае полного соблюдения методических правил съемки и наличия относительно слабых отклонений значений отраженной температуры фона и коэффициента излучения от истинных можно снизить погрешность до  $0,4\text{ }^\circ\text{C}$ .

Основным противоречием при проведении тепловизионного теплового аудита является то, что тепловые потери определяются на момент съемки, а затем экстраполируются на годовой период с учетом нормируемой температуры внутри помещений, средних климатических условий в данной местности

и длительности отопительного периода. В целом, тепловизионный энергоаудит может давать ориентировочные оценки тепловых потерь, что обусловлено большим числом параметров, которые надо учитывать при натурных исследованиях. При соблюдении всех методических рекомендаций оценивание тепловых потерь является ориентиром для разработки мер по теплосбережению.

**Заключение.** Опыт проведенных тепловизионных обследований показывает, что, очевидно, в ближайшее время наиболее достоверными результатами тепловизионного диагностирования можно считать качественное определение мест аномальных тепловых потерь и относительные расчеты таких дефектов, которые проведены на момент съемки.

Абсолютные (ожидаемые) значения тепловых потерь сильно зависят от точности инструментального определения входных параметров. Наибольшую сложность представляет инструментальное определение коэффициента внешней теплоотдачи наружной поверхности стен объекта. При малых уровнях тепловой мощности излучаемых наружными стенами при отрицательных температурах воздуха применение измерителей тепловых потоков весьма затруднительно, что отражается на точности показаний. Вторым фактором, вносящим большую погрешность в конечный результат являются усредненные среднегодовые показатели, которые не учитывают микроклиматические условия местоположения здания.

Направлениями дальнейшего развития тепловизионного диагностирования является совершенствование методологии проведения обследований, включающее инструментальное определение ряда характеристик в момент съемки (коэффициента теплоотдачи стен, коэффициента черноты материала стен и др.).

## Список литературы

1. ДСТУ Б EN 13187:2011 Теплові характеристики будівель. Якісне виявлення теплових відмов в огорожувальних конструкціях. Інфраревоний метод. Київ, Мінрегіон України, 2012. 33с.
2. ГОСТ Р 54852-2011 Здания и сооружения. Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций. М.: Стандартинформ, 2012. 16с.
3. СНиП 11-3-79 Строительная теплотехника. М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. 32с.
4. СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий, М.: Госстрой РФ, 2004. 27 с.
5. DIN EN 13187-1999 Thermal Performance of Buildings – Qualitative detection of thermal properties in building envelopes – Infrared method. German Institute for Standardisation, 1999, 13p.
6. Дроздов В. И., Сухарев В. И. Термография в строительстве. М.: Стройиздат, 1987. 238 с.
7. Petersson B., Axen B. Thermography: Testing of Thermal Insulation and Airtightness of Buildings. Swedish Council for Building Research, Sweden, 1980. 130p.
8. Вавилов В. П. Инфракрасная термография и тепловой контроль. М.: ИД Спектр, 2009. 544 с.
9. Будадин О. Н. Новый метод определения термического сопротивления ограждающих конструкций. Техническая диагностика и неразрушающий контроль, 2013, №3. С.9-15.
10. Вавилов В. П., Маринетти С., Нестерук Д. А. Тепловизионная оценка сопротивления теплопередаче строительных конструкций в нестационарных условиях. Дефектоскопия, 2009, №7. С.50-61.
11. Вавилов В. П., Лариошина И. А. Методические погрешности тепловизионного энергоаудита строительных сооружений. Вестник науки Сибири, 2012, № 5. С.49–53.
12. Заголило С.А., Черенков Н.С., Семенов А.С. Проведение тепловизионного обследования как способ выявления дефектов конструкций строящихся объектов. Международный журнал экспериментального образования, 2016, № 7. С.76–79.

## References (transliterated)

1. DSTU B EN 13187:2011 Teplovi karakteristiki budivel'. Jakisne vijavlenija teplovih vidmov v ogorodzhival'nih konstrukcijah. Infrachervonij metod. Kiiv, Minregion Ukraïni, 2012. 33 p.
2. GOST R 54852-2011 Zdanija i sooruzhenija. Metod teplovizionnogo kontrolja kachestva teploizoljacii ograzhdajushhijh konstrukcij. Moscow: Standartinform, 2012. 16 p.
3. NiP 11-3-79 Stroitel'naja teplo tehnika. Moscow: CИTP Gosstroja SSSR, 1986. 32 p.
4. SNiP 23-02-2003 Teplovaja zashhita zdaniy, Moscow:: Gosstroj RF, 2004. 27 p.
5. DIN EN 13187-1999 Thermal Performance of Buildings – Qualitative detection of thermal properties in building envelopes – Infrared method. German Institute for Standardisation, 1999, 13 p.
6. Drozdov V. I., Suharev V. I. Termografija v stroitel'stve. Moscow: Strojizdat, 1987. 238 p.
7. Petersson B., Axen B. Thermography: Testing of Thermal Insulation and Airtightness of Buildings. Swedish Council for Building Research, Sweden, 1980. 130 p.
8. Vavilov V. P. Infrakrasnaja termografija i teplovoj kontrol'. M.: ID Spekr, 2009. 544 p.
9. Budadin O. N. Novyj metod opredelenija termicheskogo soprotivlenija ograzhdajushhijh konstrukcij. Tehnicheskaja diagnostika i nerazrushajushhij kontrol', 2013, No3. P. 9–15.
10. Vavilov V. P., Marinetti S., Nesteruk D. A. Teplovizionnaja ocenka soprotivlenija teploperedache stroitel'nyh konstrukcij v nestacionarnyh uslovijah. Defektoskopija, 2009, No7. P. 50–61.
11. Vavilov V. P., Larioshina I. A. Metodicheskie pogreshnosti teplovizionnogo jenergoaudita stroitel'nyh sooruzhenij. Vestnik nauki Sibiri, 2012, No 5. P. 49–53.
12. Zagolilo S.A., Cherenkov N.S., Semenov A.S. Provedenie teplovizionnogo obsledovanija kak sposob vyjavlenija defektov konstrukcij strojashhihsja ob'ektov. Mezhdunarodnyj zhurnal jeksperimental'nogo obrazovanija, 2016, No 7. P.76–79.

Поступила (received) 15/11/2019

## Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Стороженко Володимир Олександрович (Стороженко Владимир Александрович, Storozhenko Volodymyr Oleksandrovich)** – доктор технічних наук, професор, Харківський національний університет радіоелектроніки, професор кафедри Фізики; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7609-2955>; e-mail: [volodymyr.storozhenko@nure.ua](mailto:volodymyr.storozhenko@nure.ua)

**Орел Роман Петрович (Орел Роман Петрович, Orel Roman Petrovych)** – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний університет радіоелектроніки, доцент кафедри Фізики; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3592-2393>; e-mail: [roman.orel@nure.ua](mailto:roman.orel@nure.ua)

**Мешков Сергій Миколаєвич (Мешков Сергей Николаевич, Meshkov Sergiy Mikolayovych)** – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний університет радіоелектроніки, доцент кафедри Фізики; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3464-8318>; e-mail: [sergiy.meshkov@nure.ua](mailto:sergiy.meshkov@nure.ua)