

УДК 378.147.88:621.311

ДИДАКТИКО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ «ТЕПЛОВИЗИОННАЯ ДИАГНОСТИКА ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ»

© **Канюк Г.И., Чернюк А.М., Пугачова Т.Н., Безъязычный В.Ф.**

Українська інженерно-педагогічна академія

Інформація про автора:

Канюк Геннадій Іванович: ORCID: 0000-0003-1399-9039; gennadiyy-kanjuk@rambler.ru; доктор технічних наук, декан енергетичного факультету; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська 16, м. Харків, 61003, Україна.

Чернюк Артем Михайлович: ORCID: 0000-0003-2046-8754; ach2@yandex.ua; кандидат технічних наук, старший викладач кафедри електроенергетики; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська 16, м. Харків, 61003, Україна.

Пугачова Тетяна Миколаївна: ORCID: [0000-0002-4786-8988](https://orcid.org/0000-0002-4786-8988); tatpch@mail.ru; кандидат технічних наук, виконуюча обов'язки завідуючої кафедрою теплоенергетики та енергозбереження; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська 16, м. Харків, 61003, Україна

Без'язичний Василій Федорович: ORCID: 0000-0001-8054-3723; Bezvf@mail.ru; кандидат технічних наук, старший викладач кафедри теплоенергетики та енергозбереження; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська 16, м. Харків, 61003, Україна.

В статті приведено опыт лабораторного моделювання процесу тепловизионної діагностики. Представлены основные теоретические положения о процессе тепловидения в инфракрасном спектре излучения с поверхности ограждающих конструкций зданий и сооружений. Разработана методика проведения лабораторной работы, направленной на формирование практических умений проведения тепловизионной диагностики зданий и сооружений и расшифровки полученных термограмм.

Ключевые слова: тепловидение, экономическая эффективность, лабораторное моделирование, техническое творчество студентов, практические навыки, энергосбережение.

Канюк Г.И., Чернюк А.М., Пугачова Т.М., Без'язичний В.Ф. «Дидактико-методичні основи розробки лабораторної роботи «Тепловізійна діагностика огороджувальних конструкцій будівель і споруд»

У статті наведено досвід лабораторного моделювання процесу тепловізійної діагностики. Представлені основні теоретичні положення про процес тепловидіння в інфрачервоному спектрі випромінювання з поверхні огороджувальних конструкцій будівель і споруд. Розроблено методику проведення лабораторної роботи спрямованої на формування практичних умінь проведення тепловізійної діагностики будівель і споруд та розшифровки отриманих термограм.

Ключові слова: тепловидіння, економічна ефективність, лабораторне моделювання, технічна творчість студентів, практичні навички, енергозбереження.

Kanuk G.I., Cerniuk A.M., Pugachova T.N., Bez'yazichny V.F. «Didactic and methodical bases working laboratory work "Thermal imaging diagnostics of the building envelope and facilities"»

Experience laboratory modeling thermal process diagnostics is presented in the article. The main theoretical propositions about the process of thermal imaging infrared radiation from the surface of protecting designs of buildings and structures are presented. The methodology of the laboratory work aimed at developing practical skills of thermal diagnostics of buildings and structures and decryption obtained thermograms developed.

Keywords: thermal imaging, economic efficiency, laboratory simulations, technical creativity of students practical skills, energy saving.

Постановка проблеми

В условиях вынужденного энергетического дефицита в Украине особенно остро стоят вопросы экономии энергоресурсов и снижения технологических потерь энергии, в частности тепловых. Высокий уровень потерь энергии обуславливает недопустимо высокую энергоёмкость промышленного производства и коммунально-бытовой сферы, которая в 3-4 раза выше среднеевропейского уровня. Решение вопросов энерго- и ресурсосбережения возможно лишь при использовании системного подхода и комплекса мероприятий, затрагивающих все виды и стадии преобразования энергии и её передачи и распределения.

Подготовка инженеров является составляющей актуальной на сегодня проблемы технического образования в Украине в целом и базой для развития экономической сферы государства. От уровня квалификации будущих инженеров зависит решение таких научно-технических и практических задач как проблемы энерго- и ресурсосбережения.

Необходимость подготовки инженеров обусловлена переориентацией промышленности на инновационный путь развития. В связи с чем необходимо повышение качества подготовки будущих инженеров-энергетиков, поскольку повышаются требования к профессиональным знаниям и умениям специалиста в области энергетики.

Получение соответствующих знаний, в частности будущий инженер энергетического профиля осуществляет в процессе своей подготовки, одной из ключевых составляющих которой является дисциплина «Основы энерго- и ресурсосбережения» [1, 2, 3].

Важную роль при закреплении полученных знаний на лекционных занятиях рассматриваемой дисциплины отображают лабораторные работы, которые направлены на подтверждение теоретических положений дисциплины. Среди всего цикла лабораторных работ по курсу «Основы энерго- и ресурсосбережения» необходимо выделит лабораторную работу на тему «Тепловизионная диагностика ограждающих конструкций зданий и сооружений», которая составляет важную часть теоретической и практической подготовки будущего инженера-энергетика.

В статье рассмотрены методические аспекты постановки лабораторной работы «Тепловизионная диагностика ограждающих конструкций зданий и сооружений».

Анализ последних достижений и публикаций. В научных статьях [1, 2, 3] была проанализирована подготовка будущих инженеров в энергетической области. Среди прочих рассмотрены негативные тенденции в системе подготовки этих специалистов, а именно: «сокращение цикла лабораторных и практических занятий». Вопросами изучения постановки и методики проведения лабораторных работ занимались известные педагоги среди которых необходимо выделить Ю.К. Бабанского, П.И. Пидкасистого, В.А. Сластенина, В.Л. Полонского и др. С точки зрения педагогики лабораторные работы рассматриваются как метод обучения и форма организации учебного процесса студентов. Следовательно, при подготовке инженеров-энергетиков уделено недостаточное внимание практическому закреплению полученных ранее теоретических положений при изучении дисциплины «Основы энерго- и ресурсосбережения», а именно разработке лабораторной работы на тему «Тепловизионная диагностика ограждающих конструкций зданий и сооружений».

Постановка задачи. Разработанная лабораторная работа на тему «Тепловизионная диагностика ограждающих конструкций зданий и сооружений» является важной частью освоения студентами курса «Основы энерго- и ресурсосбережения», поскольку тепловизионная диагностика необходима для определения источников тепловых потерь. Данная технология успешно применяется в развитых странах и нашла свое место в промышленном производстве, однако лабораторная база учебных заведений Украины пока в достаточной мере не располагает соответствующей учебно-лабораторной материальной и дидактико-методической базой. Формирование умений по тепловизионной диагностике в настоящее время происходит на реальных объектах в условиях промышленного производства, и адаптация соответствующих производственных процессов к условиям

учебной лаборатории и учебного процесса является актуальной задачей, решение которой возможно с применением средств педагогического и технического моделирования.

Условия учебной лаборатории и учебного процесса предъявляют такие требования как:

- ограниченные технические возможности лаборатории (габариты помещения, наличие источников электропитания, высокого давления, температурный и шумовой режим и т.д)
- ограниченное время работы установки и протекания процессов (в рамках академических учебных занятий)
- форма проведения работы должна делать учебный материал доступным для понимания широкому кругу специалистов, включая неэнергетические специальности.

Эти условия и особенности во многом определяют средства и методы разработки дидактико-методических основ проведения рассматриваемой работы.

Изложение основного материала

Структура лабораторной работы включает в себя следующие основные моменты:

- постановка задачи лабораторной работы;
- постановка цели лабораторной работы;
- указания по проведению лабораторной работы;
- краткое содержание эксперимента;
- указание по оформлению лабораторной работы

Цель лабораторной работы – экспериментальная проверка и подтверждение существующих теоретических положений расшифровки термограмм при помощи специализированного программного обеспечения Smart View.

Задачами лабораторного моделирования процессов тепловизионной диагностики являются:

- формирование практических навыков работы с тепловизором;
- формирование умений оценить энергоэффективность теплоизоляции;
- формирование умений обнаружения источников теплопотерь реальных зданий и сооружений;

Исходя из поставленных задач ЦТТС «Учтехника» было поставлено задание разработать методику проведения лабораторной работы.

Указания по проведению лабораторной работы:

В тепловых методах неразрушающего контроля (далее ТНК) используется тепловая энергия, распространяющаяся в объекте контроля. Температурное поле поверхности объекта является источником информации об особенностях процесса теплопередачи, которые, в свою очередь, зависят от наличия внутренних или наружных дефектов, а также от окружающих условий в которых проводится термография. Под дефектом при этом понимается наличие пар трения с повышенной температурой, неоднородность материала, скрытых раковин, коррозии, полостей, трещин, непроваров, инородных включений, плохих контактов электрических цепей, дефекты ограждающих конструкций и т.д., всевозможных отклонений физических свойств объекта контроля от нормы, наличия мест локального перегрева (охлаждения) и т.п. Иногда места перегрева и охлаждения называют «температурными пятнами».

Различают пассивную и активную термографию. При пассивной термографии анализ тепловых полей изделий производят регистрацией их собственного теплового излучения. Активная термография предполагает нагрев объекта внешним источником энергии

Для модельных испытаний теплопроводности различных видов ограждающих конструкций зданий и сооружений изготовлен испытательный стенд в виде теплоизолированного короба с источником тепла внутри и сборной панелью для монтажа образцов строительных и теплоизоляционных материалов (рис.1). Сборная панель с натурными образцами закрывается съёмным фасадом, что делает невидимым глазу содержимое отдельных ячеек.

Суть модельных испытаний состоит в следующем: включается источник тепла, прогревается внутренняя часть испытательного короба, фиксируется температура внутри короба и снаружи, посредством тепловизионной диагностики определяется температура

секторов поверхности, что позволяет определять теплопроводные свойства строительных материалов и утеплителей без непосредственного измерения температуры на их поверхности и с учётом общего отделочного слоя. Полученные термограммы отражают теплоизолирующие свойства материалов, а их расшифровка и интерпретация позволяет получить численные значения параметров, характеризующих данные свойства.

Таким образом в лабораторных условиях студенты приобретают навыки посредством активной термографии определять теплоизоляционные свойства материалов ограждающих конструкций зданий и сооружений.

Приобретение навыков расшифровки полученных термограмм осуществляется в компьютерном классе на базе программного обеспечения Smart View. Задача расшифровки термограмм достаточно сложная и требует определённого понимания особенностей построения тепловизором температурного поля испытуемого объекта.

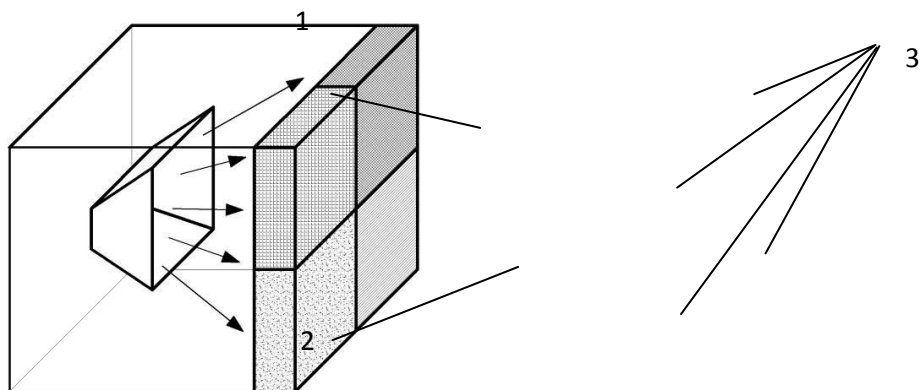


Рис. 1. Испытательный стенд

– теплоизолированный короб, 2 – источник теплового излучения, 3 – образцы строительных и утеплительных материалов

Основной характеристикой температурного поля, являющейся индикатором дефектности, служит величина локального температурного перепада. Координаты места перепада температур, его рельеф или, иными словами, топология температурного поля и его величина в градусах являются функцией большого количества факторов. Эти факторы при термографии можно разделить на внутренние и внешние. Внутренние факторы определяются теплофизическими свойствами контролируемого объекта и дефекта, а также их геометрическими параметрами. Эти же факторы определяют временные параметры процесса теплопередачи, в основном, процесса развития температурного перепада. Внешними факторами являются характеристики процесса теплообмена на поверхности объекта контроля (чаще всего величина коэффициента конвективной теплоотдачи), мощность источника нагрева и скорость его перемещения вдоль объекта контроля.

Краткое содержание эксперимента: Основным информационным параметром при термографии является локальная разность температур между дефектной T_a и бездефектной T_b областями объекта. Знак перепада зависит от соотношения теплофизических свойств дефекта и изделия и исследуемой поверхности. При нагреве изделий, содержащих дефекты, плохо проводящие тепло (типа газовых включений), перепад положителен для поверхности, подвергнутой нагреву (т.е. место дефекта характеризуется локальным повышением температуры), и отрицателен для противоположной стороны. В случае дефекта, проводящего тепло лучше основного изделия (металлические вкрапления), знак перепада изменяется на обратный.

Временной ход перепада характеризуется кривой с максимумом. Это заставляет в каждом конкретном случае оптимальным образом выбирать момент регистрации температурного перепада. Величина t зависит от тепло- и температуропроводности изделия и дефекта и глубины залегания дефекта.

Момент наступлення максимального перепада и глубина залегания дефекта обычно связаны линейной зависимостью, причем угол наклона соответствующей прямой зависит от теплофизических свойств изделия и дефекта. Чем более теплопроводно изделие, тем меньше величина t . В зависимости от типа материала и глубины залегания дефекта величина t металлов колеблется от долей секунд до десятков секунд, для неметаллов она может составлять десятки минут.

В основе аналитического решения задач активного теплового контроля (термографии) лежит уравнение теплопроводности. Процесс переноса тепла в среде за счет теплопроводности и конвекции характеризуется известным дифференциальным уравнением.

В результате можно определить распределение температур на объекте контроля в зависимости от его формы, размеров, наличия дефектов. Обычно при термографии скорость объекта контроля мала и конвекцией можно пренебречь.

Решение упрощается, если принять некоторые допущения. Например, в стационарном режиме. В случае быстрых изменений температуры, когда объект контроля не успевает полностью прогреться, анализ уравнения выполняют с учетом производной по времени.

Существуют следующие способы активной термографии и теплового контроля изделий:

1. Кратковременный локальный нагрев изделия с последующей регистрацией температуры той же (при одностороннем контроле) или противоположной области (при двустороннем контроле). По истечении некоторого времени (чтобы изделие успело остыть) переходят к следующей точке и т.д. Так будет пройдена вся поверхность изделия, причем измеренная температура дефектных областей будет существенно отличаться от температуры бездефектных участков при термографии.

2. Термография с использованием сканирующей системы, состоящей из жестко закрепленных друг относительно друга источника нагрева и регистрирующего прибора, перемещающихся с постоянной скоростью вдоль поверхности образца.

3. Одновременный нагрев поверхности образца вдоль некоторой линии с последующей регистрацией температуры вдоль той же линии (при одновременном контроле) или вдоль аналогичной линии с противоположной поверхности образца (при двустороннем контроле). Этот метод называют продольной термографии.

4. Одновременный нагрев всей поверхности образца и последующая одновременная регистрация температурного распределения на этой же или на противоположной поверхности. Подобный способ термографии может быть осуществлен при помощи любой модели тепловизора.

Эффективность выявления дефектов каждым из описанных способов теплового контроля (термографии) уменьшается от первого к четвертому, а производительность – возрастает.

Указания по оформлению лабораторной работы: результаты, полученные в процессе работы следует оформить в виде типового протокола тепловизионной диагностики, форма которого представлена в комплекте программного обеспечения Smart View.

Успешность проведения лабораторной работы возможно определить при помощи ряда контрольных вопросов и заданий, таких как:

- назовите спектр длины волны излучения, доступный для фиксации средствами тепловидения;
- охарактеризуйте особенности теплового излучения с поверхностями различного цвета и фактуры;
- опишите процесс настройки тепловизора;
- как диагностировать при помощи тепловизора неравномерную загрузку фаз трёхфазной сети электропитания?;
- назовите причины возможных ошибок фиксации теплового излучения и т.д.

Выводы и перспективы дальнейших исследований. Учитывая насущную необходимость в формировании навыков тепловизионной диагностики в рамках учебного процесса и учебных лабораторий посредством методов педагогического и технического моделирования была решена задача разработки дидактико-методических основ создания соответствующей лабораторной работы.

Техническая реализация поставленной задачи основывалась на физических принципах фиксации теплового излучения инфракрасного спектра и основных законах теплотехники. При этом, в лабораторных условиях, был смоделирован процесс тепловизионной диагностики ограждающих конструкций зданий и сооружений. В натуральных испытаниях определены возможные пути конвективных потерь тепловой энергии в учебных корпусах Украинской инженерно-педагогической академии и составлены рекомендации по их устранению.

Работа проводилась с активным привлечением студентов энергетического факультета УИПА, что значительно улучшило их уровень теоретической и практической подготовки по данной тематике.

Рассмотренная методика проведения лабораторной работы (при наличии тепловизора) является универсальной, малозатратной и может быть успешно реализована в учебных заведениях нашей страны и зарубежья.

Список использованных источников

1. Проект створення системи підготовки та підвищення кваліфікації викладачів курсів «Основи енерго- та ресурсозбереження на виробництві, у комунальному господарстві, у сфері послуг та побуту» / Г. І. Канюк, О. Е. Коваленко, М. І. Лазарев, В. Ф. Без'язичний, Т. М. Пугачова // Проблеми інженерно-педагогічної освіти : зб. наук. пр. / Укр. інж.-пед. акад. – Харків, 2013. – № 38/39. – С. 13–23.
2. Васиученко П. В. Повышение компетентности выпускника ВУЗа за счёт развития системы технического творчества студентов / П. В. Васиученко, А. М. Чернюк, Н. А. Несторук // Наукова скарбниця освіти Донеччини. – 2013. – №1 (14). – С. 9–14.
3. Концепція створення лабораторної бази навчального курсу "Основи енерго- і ресурсозберігання" / Г. Канюк, А. Чернюк, Т. Пугачова, В. Без'язичний, С. Занихайло // [Збірник наукових праць Бердянського державного педагогічного університету. Педагогічні науки](#) . – 2013. – № 4. – С. 59–64.
4. Малявина Е. Г. Теплопотери здания: справочное пособие / Е. Г. Малявина. – М. : АВОК-ПРЕСС, 2007. – 265 с.
5. Ржеганек Я. Снижение теплопотерь в зданиях / Я. Ржеганек, А. Яноуш. – М. : Стройиздат, 1988. – 166 с.
6. Основы тепловидения / В. В. Коротаев, Г. С. Мельников, С. В. Михеев [и др.]. – СПб. : НИУ ИТМО, 2012. – 122 с.
7. Вавилов В. П. [Инфракрасная термография и тепловой контроль](#) / В. П. Вавилов. – М.: Спектр, 2009. – 544 с.

References

1. Kaniuk, HI, Kovalenko, OE, Lazariiev, MI, Beziazichnyi, VF & Puhachova, TM 2013, 'Proekt stvorennia systemy pidhotovky ta pidvyshchennia kvalifikatsii vykladachiv kursiv «Osnovy enerho- ta resursoberezhennia na vyrobnytstvi, u komunalnomu hospodarstvi, u sferi posluh ta pobutu», *Problemy inzhenerno-pedahohichnoi osvity*, no. 38-39, pp. 13-23.
2. Vasiuchenko, PV, Cherniuk, AM & Nestoruk, NA 2013, 'Povyshenye kompetentnosti vypusknika VUZA za schet razvytyia systemy tekhnicheskoho tvorchestva studentov', *Naukova skarbnytsia osvity Donechchyny*, no. 1 (14), pp. 9-14.
3. Kaniuk, H, Cherniuk, A, Puhachova, T, Beziazichnyi, V, & Zanykhaylo Ye 2013, 'Kontseptsiia stvorennia laboratornoi bazy navchalnoho kursu «Osnovy enerho- i resursoberehannia», *Zbirnyk naukovykh prats Berdianskoho derzhavnoho pedahohichnoho universytetu. Pedahohichni nauky*, no. 4, pp. 59-65.
4. Maliavyna, EH 2007, *Teplopoteri zdaniya*, AVOK-PRESS, Moskva.
5. Rzhehanek, Ia & Yanoush, A 1988, *Snyzheniye teplopoter v zdaniyakh*, Stroyizdat, Moskva.
6. Korotaev, VV, Melnykov, HS, Mykheev, SV et al. 2012, *Osnovy teplovideniya*, NYU YTMO, Sankt-Peterburh.
7. Vavyllov, VP 2009, *Infrakrasnaya termografiya i teplovoi control*, Spektr, Moscva.

Стаття надійшла до редакції 16.12.2014р.