

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ КІБЕРНЕТИКИ ІМЕНІ В.М. ГЛУШКОВА

**БІОЛОГІЧНА І МЕДИЧНА
ІНФОРМАТИКА ТА
КІБЕРНЕТИКА
(БМІК-2013):**

**МАТЕРІАЛИ
ЩОРІЧНОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ
ШКОЛИ-СЕМІНАРУ**

Київ – 2013

ТЕПЛОВИЗИОННАЯ МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА КРИОГЕННЫХ СОСУДОВ

*Шустакова¹ Г.В., Гордиенко¹ Э.Ю., Глушук¹ Н.И.,
Ляхно¹ В.Ю., Турутанов¹ О.Г., Фоменко¹ Ю.В., Будник² Н.Н.*

*¹ Физико-технический институт низких температур им. Б.И.Веркина НАНУ,
² Институт кибернетики им. В.М.Глушкова НАНУ*

Введение

Криогенные сосуды различного назначения и конструкции широко используются в медицине для решения различных задач, в том числе для хранения и перевозки сжиженных газов и биопродуктов (сосуды Дьюара, термостаты, криогенные цистерны и хранилища), для охлаждения датчиков магнитного поля, применяемых в магнитокардиографии, магнитоэнцефалографии и магнитогастрографии (стеклопластиковые криостаты), для охлаждения применяемых в медицинских термографах приемников инфракрасного излучения (металлические и стеклянные криостаты), для создания криогенных температур в специальных нейрохирургических и гинекологических хирургических инструментах и т.д.

Отличительной чертой криогенных сосудов является наличие внутренней (для заливки криогенной жидкости - хладагента) и наружной (для вакуумирования и размещения средств термоизоляции) емкости. Ухудшение вакуума или качества тепловой изоляции криососуда является серьезной и нередкой проблемой, которая приводит к ухудшению параметров всего прибора или выходу его из строя.

Цель данной работы состояла в разработке тепловизионной методики оценки качества криогенных сосудов. Методика основана на анализе тепловых полей на поверхности сосуда в рабочем состоянии (с залитым во внутренний сосуд хладагентом) с целью выявления аномальных (гипотермических) зон.

Основные параметры тепловизоров

При разработке методики использовались созданные в ФТИНТ НАН Украины две различные модели тепловизора: системы со сканированием на основе одноэлементного приемника азотного уровня охлаждения для термографирования криососудов в установившихся режимах [1], а также системы на основе неохлаждаемой микроболометрической матрицы большого формата для анализа динамики тепловых полей в процессе охлаждения сосудов [2]. Основные параметры тепловизоров приведены в таблице.

Оригинальное многофункциональное программное обеспечение обеих моделей позволяло проводить термографирование в реальном времени (съемка термографического фильма), выявлять аномальные тепловые участки

в автоматическом режиме, измерять абсолютную температуру в любой точке, автоматически вычислять удельные и общие потери холода и др.

Таблица. Основные параметры используемых тепловизоров

Параметр	Тепловизор	Одно-элементный	Матричный
Количество элементов приемника		1	384x288
Рабочая температура приемника, °С		-196	+20
Спектральный диапазон, мкм		8-14	8-14
Температурная чувствительность при 30 ⁰ С, °С		0,1	0,07
Пространственное разрешение, мрад.		1,5	1,0
Поле зрения, град.		25x25	22x17
Частота кадров, Гц		1	15

Описание предлагаемой методики

В общем случае разработанная методика предполагает проведение термографирования криососуда не менее, чем с 5-ти сторон: регистрация теплового изображения поверхностей дна и крышки сосуда, а также боковой поверхности не менее чем с трех сторон (для цилиндрической формы). Так как при проведении тепловизионного обследования обычно используется один тепловизор, для одновременной регистрации всех термограмм можно использовать предварительно прокалиброванные инфракрасные зеркала [3].

Методика включает:

- регистрацию тепловых изображений криогенного сосуда до заливки хладагента (получение и запись фоновых термограмм);
- многократную (через установленный временной интервал) регистрацию тепловых изображений криососуда в процессе заливки хладагента и дальнейшего охлаждения (получение и запись динамических термограмм);
- регистрацию тепловых изображений криососуда после выхода в рабочий режим термодинамического равновесия с окружающей средой (получение и запись рабочих термограмм);
- вычитание средствами программного обеспечения из каждой рабочей термограммы соответствующей фоновой термограммы с целью увеличения точности контроля путем исключения из анализа ложных тепловых зон на поверхности сосуда, вызванных, например, тепловыми отражениями помещения, неоднородностью окрашивания поверхности сосуда и т.д. (получение и запись разностных термограмм);
- совмещение (в случае наличия аномальных тепловых зон) полученных разностных термограмм с соответствующими чертежами сосуда для точного определения координат и размеров аномальных зон;

- идентификацию дефекта, вызвавшего данную тепловую аномалию.
- измерение (учитывая коэффициент излучения покрытия поверхности сосуда) на рабочих термограммах температуры любой точки поверхности сосуда, средней температуры аномальной зоны и всей поверхности;
- вычисление по результатам измерений удельных и суммарных потерь холода в аномальных зонах и со всего сосуда;
- сравнение результатов с нормативными значениями.

Результаты исследования криостата

В результате тепловизионного исследования криососуда по предложенной методике можно сделать вывод о его качестве (достоинствах и недостатках конструкции или технологии изготовления, наличии дефектов, времени выхода на режим и т.д.). Ниже приведены некоторые термограммы криососудов, полученные в процессе разработки методики.

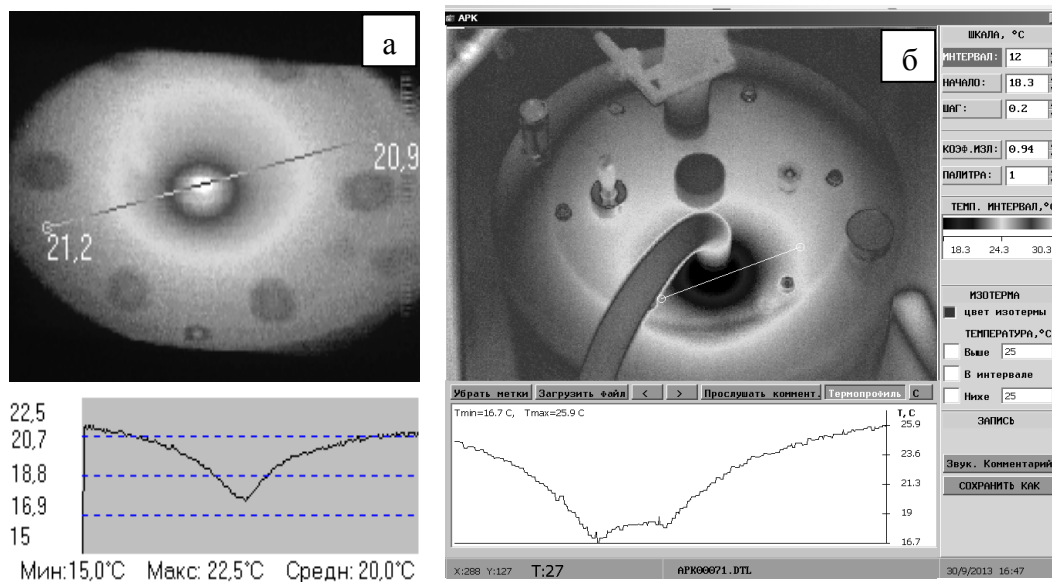


Рис.1. Тепловые изображения фрагментов стеклопластиковых криостатов: а) рабочая термограмма днища азотного криостата; б) главная страница интерфейса многоэлементного тепловизора с динамической термограммой гелиевого криостата. Под каждой термограммой соответствующие тепловые сечения.

На рис.1а приведена рабочая термограмма (установившийся режим) днища азотного стеклопластикового криостата с аномальной гипотермической зоной в области окна, смотрящего на охлажденный до азотной температуры датчик магнитного поля [4]. Внизу – тепловое сечение вдоль указанной на термограмме линии. Изображение получено на одноэлементном тепловизоре с помощью калиброванного зеркала, установленного под углом 45 градусов к днищу криостата.

На рис.1б приведена главная страница программного пользовательского интерфейса многоэлементного «быстрого» тепловизора с одной из динамических термограмм, полученных в процессе заливки жидкого гелия в стеклопластиковый криостат для магнитного кардиографа [5]. Под термограммой крышки криостата приведено тепловое сечение, проходящее через фрагмент крышки и штуцер для выхода газообразного гелия

Разработанная методика также может быть использована при тепловизионном обследовании, например, больших хранилищ сжиженных газов, но при этом необходимо учитывать особенности полевых условий, которые отличаются от лабораторных. В этом случае невозможно создать оптимальные для термографирования внешние условия, воспользоваться методом разностных термограмм (хранилища постоянно заполнены хладагентом), использовать инфракрасные зеркала и другие вспомогательные средства. Поэтому подобное тепловизионное обследование должно проводиться при погодных условиях и времени суток, когда паразитные тепловые поля минимальны.

Результаты исследования хранилища жидкого этилена

На рисунке 2б приведена термограмма боковой поверхности хранилища жидкого этилена, обследованного одноэлементным тепловизором перед рассветом (рис.2а) после полного остывания поверхностей, разогретых днем. По термограмме видно, что основная утечка холода происходит через крышу хранилища; кроме того, на боковой поверхности выявлена область провисшей изоляции (указана стрелкой). На термограмме 3в приведен фрагмент крыши с избыточными потерями холода.

По результатам термографирования были определены координаты дефектных участков теплоизоляции путем совмещения термограмм с соответствующими чертежами.

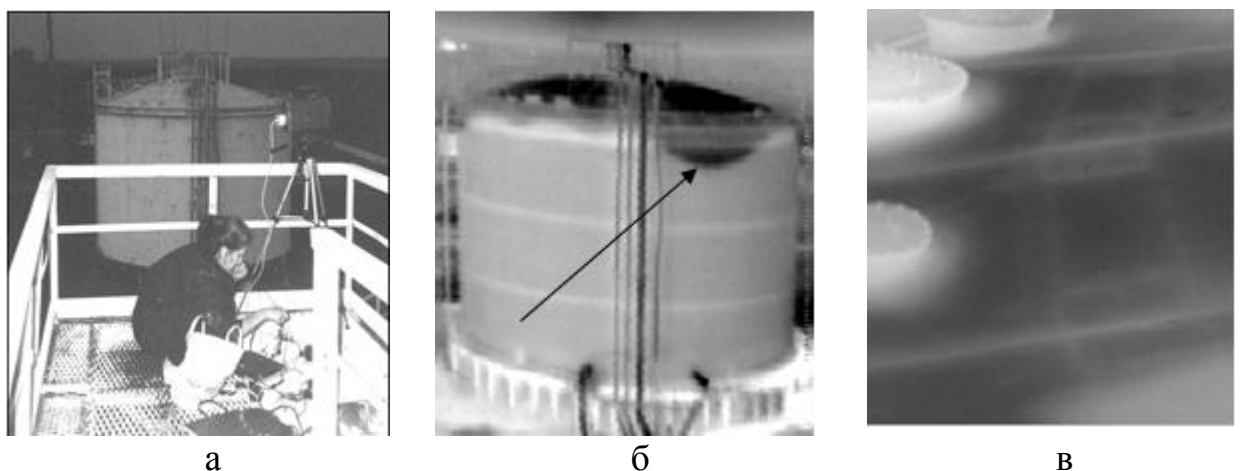


Рис.2. Термографирование криососудов в полевых условиях: а) процесс термографирования; б) рабочая термограмма хранилища жидкого этилена с выявленным дефектом (провисшей изоляцией) на боковой поверхности и

чрезмерными потерями холода через всю поверхность крыши; в) фрагмент поверхности крыши.

Также с учетом параметров внешней среды (температуры воздуха и скорости ветра на данной высоте) и коэффициентов излучения красок, покрывающих поверхности, были рассчитаны удельные и общие потери холода со всех поверхностей хранилищ (включая днища и крыши), проведено сравнение с нормативными данными и сделаны выводы о продолжении эксплуатации хранилища, необходимости ремонта или демонтаже.

Выводы

Методика может эффективно использоваться для оценки качества криогенных сосудов, изготовленных из материалов с высоким коэффициентом излучения или имеющих соответствующее покрытие. Некорректно проводить тепловизионное обследование, если коэффициент излучения поверхности меньше 0,7 [6], например неокрашенных металлических криостатов.

Разработанная тепловизионная методика может быть использована на приемных испытаниях изготовленных криогенных сосудов для оценки их соответствия нормативам или ГОСТам, а также в процессе эксплуатации для выявления причины ухудшения теплофизических характеристик сосудов (для обнаружения и локализации дефектов, течей и др.).

Работа выполнена при финансовой поддержке НАН Украины в рамках научно-технического проекта «Разработка анализатора тепловых полей для научных исследований» (Программа научного приборостроения НАНУ).

Литература

1. A broadband imaging system for research applications / V. Yefremenko, E. Gordiyenko, G. Shustakova et al. // Rev. of Scientific Instruments. – 2009. - V.80, N.5. - P.056104.
2. Многоэлементный тепловизор на основе неохлаждаемой болометрической матрицы / Э.Ю. Гордиенко, Н.И. Глушук, Ю.Я. Пушкарь и др. // ПТЭ. - 2012. - №4. - С.85-88.
3. Применение тепловизионных методов в научных исследованиях / Н.И.Глушук, Э.Ю.Гордиенко, Ю.В.Фоменко, Г.В.Шустакова // Наука и инновации. – 2013. - т.9, №2. – С.41-46.
4. Стеклопластиковый криостат для магнитного микроскопа на основе ВТСП СКВИДов / В.Ю. Ляхно, С.И. Мельник, Ю.В. Фоменко, В.И. Шнырков // Радиотехника. –2007. –Вип.150. –С.159-166.
5. Оптимизация параметров стеклопластикового криостата для биомагнитных исследований / В.Ю. Ляхно, А.С. Гарбуз, Л.В. Гнездилова и др. // ПТЭ. –2009. –№.5. – С.150-155.
6. Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций, ГОСТ 26629-85.