

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. ГУБКИНА
Кафедра сварки и мониторинга нефтегазовых сооружений

А.А. АНТОНОВ

Тепловой контроль в трубопроводном транспорте

Методические указания к лабораторной работе

Москва 2016

Тепловой контроль в трубопроводном транспорте

1. Цель лабораторной работы

1. Изучение назначения, принципа работы и характеристик теплового метода неразрушающего контроля.

2. Практическое применение тепловизионной техники.

2. Теоретические основы вихретокового контроля

Тепловой метод контроля (инфракрасная термография) – это дистанционный метод получения термограммы - изображения в инфракрасных лучах (рисунок 1), показывающего картину распределения температурных полей на поверхности контролируемого объекта с помощью специального прибора – тепловизора.

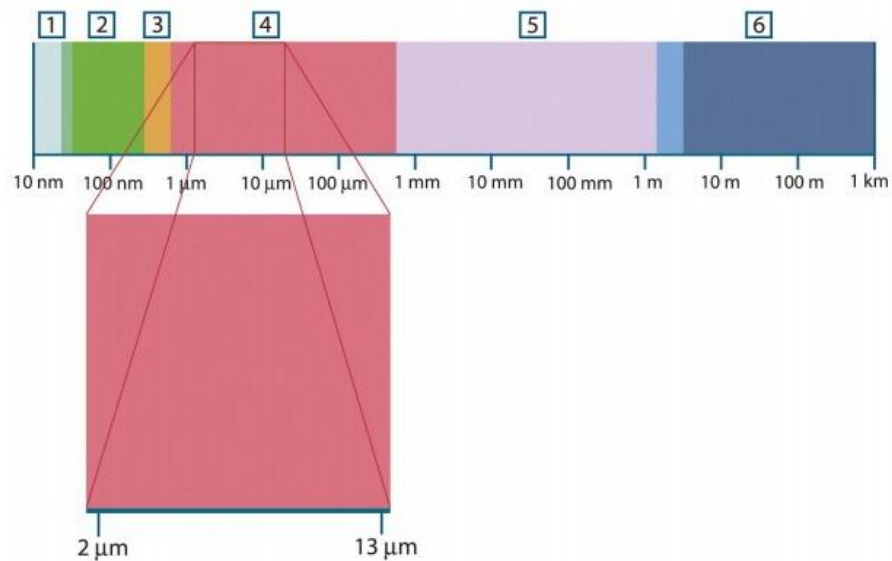


Рисунок 1 – Место ИК излучения в спектре электромагнитного излучения:

1-Рентгеновские лучи; 2-Ультрафиолет; 3-Видимая часть спектра;

4-Инфракрасный диапазон; 5-Микроволны; 6-Радиоволны.

Тепловизор - устройство для наблюдения за распределением температуры исследуемой поверхности (рисунок 2).

Распределение температуры отображается на дисплее (или в памяти) тепловизора как цветное поле, где определённой температуре соответствует определённый цвет. Как правило, на дисплее отображается диапазон температуры видимой в объектив поверхности.

Все объекты, температура которых выше абсолютного нуля ($0\text{ K} = -273.15\text{ }^{\circ}\text{C}$), излучают инфракрасные волны. Человеческий глаз не способен увидеть инфракрасное излучение.



Рисунок 2 – Внешний вид современного тепловизора

Тепловизор (рисунок 2) измеряет инфракрасное излучение в длинноволновом спектре в пределах поля обзора.

Каждый пиксель детектора представляет собой инфракрасную точку, отображаемую на дисплее.

Термография (измерение температуры посредством тепловизора) является пассивным, бесконтактным методом измерения. ИК-изображение отображает распределение температуры на поверхности объекта. Поэтому, с помощью тепловизора нельзя "заглянуть" вовнутрь объекта или увидеть его насквозь.

Излучение, регистрируемое тепловизором, состоит из излучаемого, отраженного и проходящего длинноволнового инфракрасного излучения, исходящего от объектов, расположенных в пределах поля зрения тепловизора (рисунок 3).

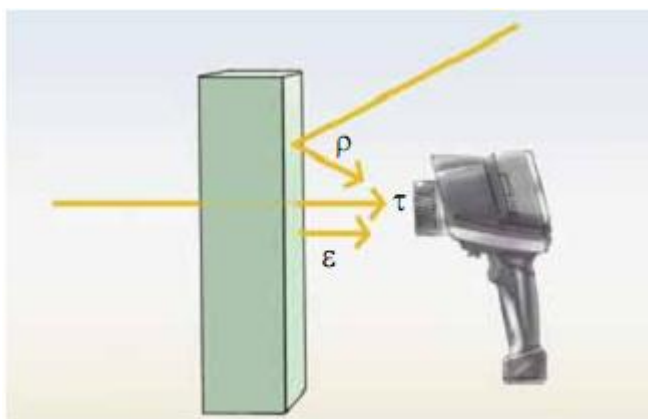


Рисунок 3 – Состав излучения, фиксируемого тепловизором

Коэффициент излучения (ϵ) - это степень способности материала излучать (выделять) инфракрасное излучение.

ϵ изменяется в зависимости от свойств поверхности, материала, и в случае с некоторыми материалами от температуры измеряемого объекта.

Максимальная излучательная способность: $\epsilon = 1$ (100%) . $\epsilon = 1$ в действительности не встречается.

Живые тела: $\epsilon < 1$, т. к. живые тела также отражают и по возможности пропускают излучение.

Многие неметаллические материалы (например, ПВХ, бетон, органические вещества) обладают высокой излучательной способностью в длинноволновом инфракрасном диапазоне, которая не зависит от температуры (ϵ от 0.8 до 0.95).

Металлы, особенно материалы с блестящей поверхностью, обладают низкой излучательной способностью, которая может меняться в зависимости от температуры.

Коэффициент излучения ϵ можно вручную задать в тепловизоре.

Коэффициент отражения (ρ) - это степень способности материала отражать инфракрасное излучение.

ρ зависит от свойств поверхности, температуры и типа материала.

Как правило, гладкие, полированные поверхности имеют большую отражательную способность, чем шероховатые, матовые поверхности, изготовленные из одного и того же материала.

Компенсацию отраженной температуры можно вручную настроить в тепловизоре (КОТ). Во многих областях применения отраженная температура соответствует температуре окружающей среды. Вы можете измерить ее, например, с помощью воздушного термометра.

Факт отражения легко обнаружить, направив тепловизор на полированную поверхность так, чтобы в ней, как в зеркале, отразился другой источник тепла. На рисунке 4 показан факт отражения водяной поверхностью тепла от труб.

Это абсолютно не означает, что поверхность воды в данном месте нагрета выше, чем поверхность в других местах.

Коэффициент пропускания (τ) - это степень способности материала пропускать (проводить через себя) инфракрасное излучение.

τ зависит от типа и толщины материала. Большинство материалов являются материалами не пропускающего типа, т.е. устойчивыми к длинноволновому инфракрасному излучению.

Сумма данных компонентов всегда принимается за 1 (100%): $\varepsilon + \rho + \tau = 1$

Поскольку коэффициент пропускания редко играет значительную роль на практике, он опускается и формула упрощается до $\varepsilon + \rho = 1$.

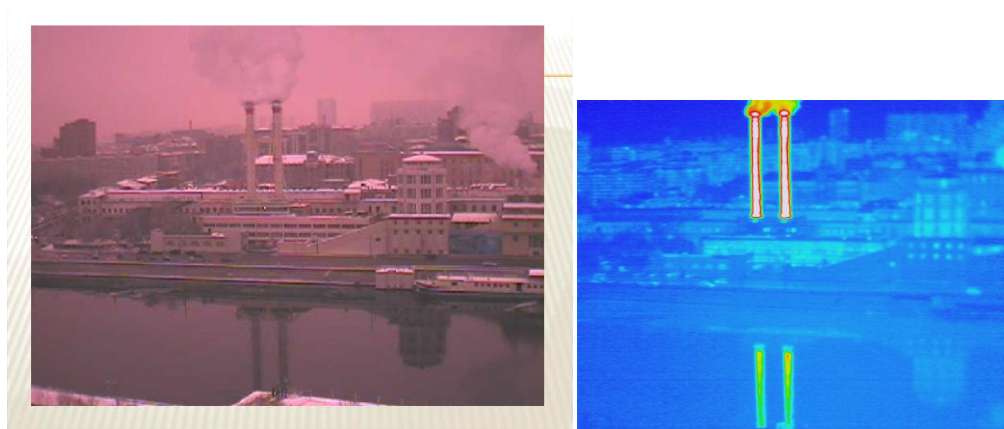


Рисунок 4 – Факт отражения теплового излучения труб водной поверхностью

Необходимо различать тепловизор и пирометр. Оба прибора бесконтактно измеряют температуру тела по принимаемому от тела инфракрасному излучению. Однако пирометр измеряют среднюю температуру по площади области измерения. Размеры области измерения зависят от мгновенного угла зрения и расстояния.

Виды теплового контроля:

- Тепловизионная диагностика электрооборудования;
- Тепловизионное обследование зданий;
- Тепловизионное обследование теплотехнического оборудования;
- Тепловизионное обследование нефтегазового оборудования.

Тепловизионная диагностика электрооборудования выявляет следующие виды дефектов:

- состояние межлистовой изоляции статора генератора;
- нарушения паек лобовых частей обмоток;
- перегревы контактных соединений (рисунок 5);
- наличие дефектных изоляторов;
- нарушения в работе систем охлаждения;
- нарушения внутренней циркуляции масла в баке трансформатора;
- ослабление контактных соединений токоведущих частей;
- ухудшение состояния основной изоляции, изоляции вводов, шунтирующих конденсаторов;
- перегрев контактных соединений аппаратных зажимов;
- трещины в опорно-стержневых изоляторах, дефекты подвесной изоляции;
- обрыв шунтирующих сопротивлений;
- неравномерность распределения напряжения по элементам;

- нарушения наружных и внутренних контактных соединений;
- ухудшение внутренней изоляции обмоток, связанное со шламообразованием и другими дефектами;
- ухудшение изоляции концевых кабельных муфт и кабельных заделок;
- дефекты поддерживающей арматуры;

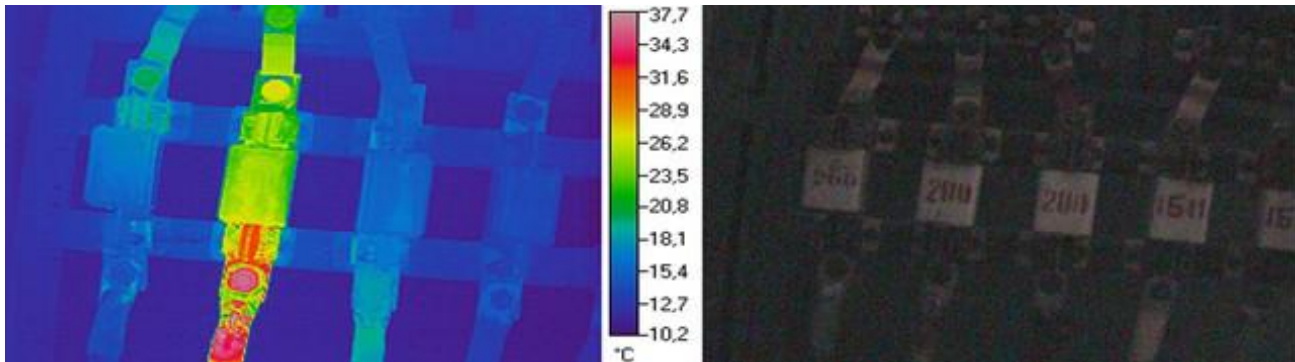


Рисунок 5 – Перегрев контактных соединений

Тепловизионное обследование зданий позволяет определить (рисунок 6):

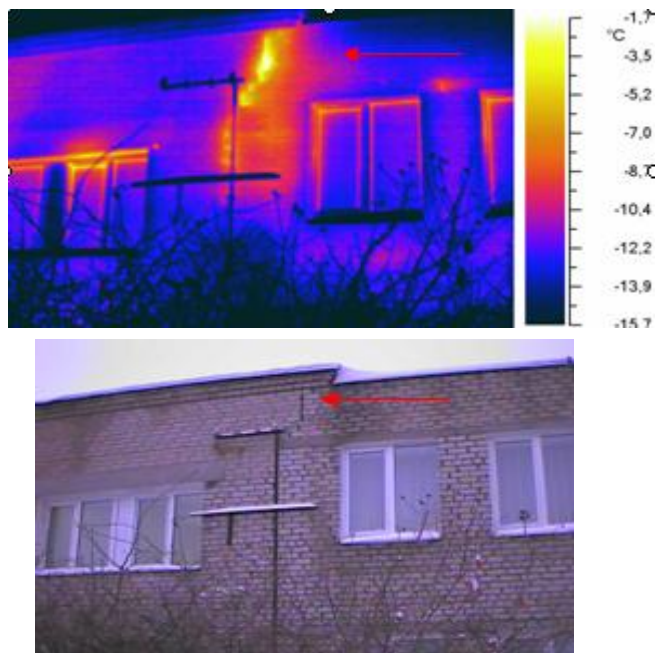


Рисунок 6 – Тепловизионное обследование зданий

- Скрытые дефекты теплоизоляции или конструктивные недоработки (некачественный монтаж оконных блоков, дефекты теплоизоляции стыков между панелями, мостики холода).
- Реальные теплотери и сравнение их с нормативными.
- Места возможного запотевания стен.
- Недоработки в разводке отопительной системы, засоренность батарей.
- Места протеканий в кровле.
- Места прокладки труб или электрических нагревателей в обогреваемых полах.

Тепловизионное обследование теплотехнического оборудования выявляет следующие виды дефектов:

- дефекты теплоизоляции между футеровкой и стволом трубы;
- трассировка теплотрасс, уточнение мест и размеров компенсаторов;
- дефекты теплоизоляции в подземных трубопроводах (разрушение, намокание);
- дефекты ствола труб (трещины, негерметичные швы бетонирования, участки пористого бетона);
- дефекты футеровки труб (трещины, выпадение кирпичей, не заделанные монтажные проемы);
- дефекты теплоизоляции печей, трубопроводов и т.д.
- выявление мест порыва трубопровода;

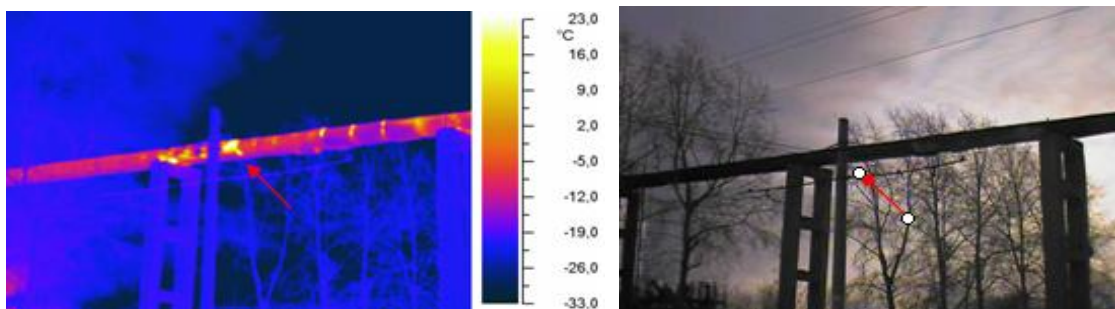


Рисунок 7 – Нарушение теплоизоляции теплотрассы

Тепловизионное обследование нефтегазового оборудования позволяет **ВЫЯВИТЬ**:

- места утечек газа;
- повреждение изоляции трубопроводов (рисунок 7);
- дефекты стенок резервуаров (рисунок 8);
- определение утечек и мест разлива нефти;
- определение уровня жидкости в резервуаре (рисунок 9).

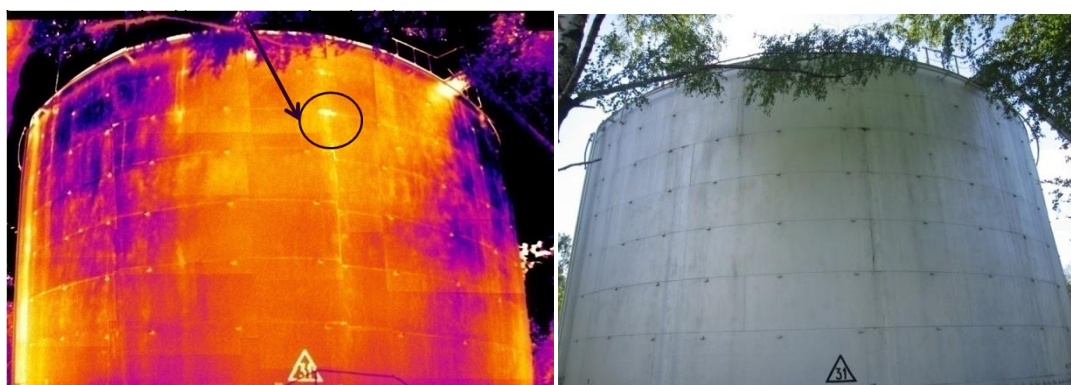


Рисунок 8 – определение дефекта на вертикальной стенке цилиндрического резервуара

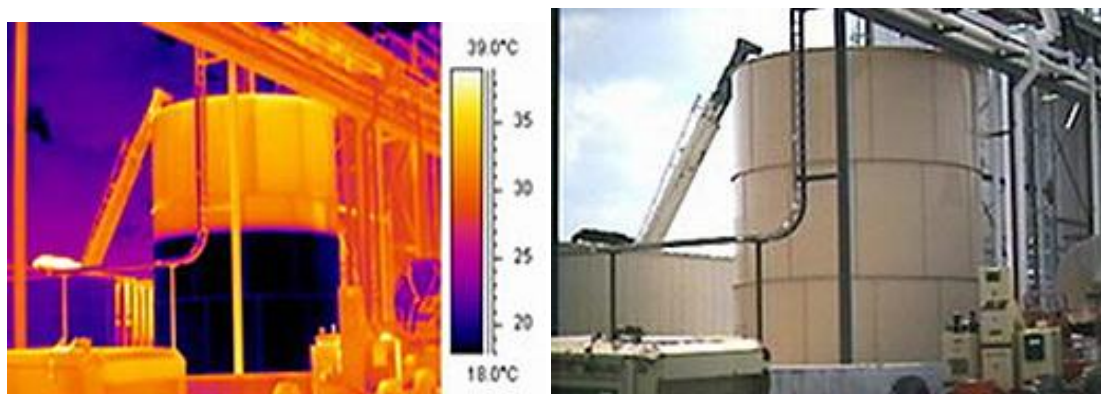


Рисунок 9 – Определение уровня жидкости в резервуаре

Тепловой контроль может проводиться с применением авиации, например, для мониторинга протяженных, скрытых в земле объектов. Например, магистральных газо- и нефтепроводов. На рисунке 10 представлена фотография в обычном спектре и в ИК диапазоне поверхности земли в месте нахождения магистрального трубопровода. Стрелками отмечены места повреждения изоляции и утечек продукта.

Преимущества тепловизионного обследования:

- Наглядность. Для понимания термограмм не требуется никакой специальной подготовки.
- Оперативность. Вся информация прибор отображает в реальном времени.
- Точность. У любого скрытого дефекта существует тепловое проявление, которое будет выявлено.

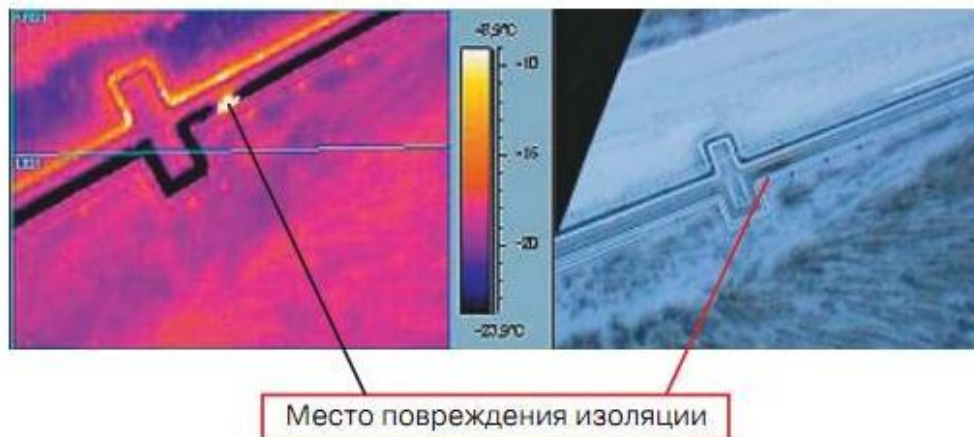


Рисунок 10 – Контроль трубопровода с вертолета

- Достоверность данных. Прибор показывает только то, что видит. Он не способен что-либо скрыть или добавить к увиденному.
- Безопасность при проведении обследования оборудования.
- Предотвращение аварий и повреждений оборудования.
- Большой объём выполняемых работ за единицу времени.
- Быстрая окупаемость. Экономический эффект теплового обследования многократно превышает затраты на ее проведение.
- Бесконтактность и дистанционность процесса контроля. Регистрирующая аппаратура расположена на расстоянии нескольких метров от объекта.

- Мобильность аппаратуры. Приборы имеют малые габариты и вес, что упрощает процесс проведения обследования.
- Независимость от размеров объекта. Возможность обзора одним и тем же прибором малых (размером до нескольких сантиметров) и очень больших (размером до сотен метров) объектов.
- Неразрушающий метод обследования. Для выполнения тепловизионной съемки не требуется демонтировать элементы конструкций или отделки.

Недостатки тепловизионного контроля как метода НК связаны в основном с условиями окружающей среды.

Интенсивные осадки (дождь, снег) могут исказить результаты измерений. К тому же, измерение влажных объектов может привести к ошибкам, поскольку поверхность измеряемого объекта охлаждается при испарении осадков.

Предметы нагреваются на солнце в результате поглощения солнечного света. Это в значительной степени влияет на поверхностную температуру - в некоторых случаях температура держится на протяжении нескольких часов после того как объект был подвержен солнечному воздействию.

Уровень относительной влажности воздуха во время измерений должен быть достаточно низким, чтобы избежать конденсации в воздухе (туман), на измеряемом объекте, на защитном фильтре объектива или самом объективе тепловизора. Если объектив (или защитный фильтр) запотеет, определенная часть инфракрасного излучения не будет получена тепловизором, т.к. излучение не сможет полностью пройти сквозь воду. Густой туман также может повлиять на результаты измерения, т.к. капли воды препятствуют прохождению инфракрасного излучения в полной мере по пути передачи.

Ветер или сквозняк в помещении может оказать влияние на измерение температуры с помощью тепловизора. В результате процесса теплообмена (конвекции) температура воздуха, приближенного к поверхности, и температура измеряемого объекта примерно одинаковые. Если в среде измерений присутствует ветер или сквозняк, данный слой воздуха "сдувается" и заменяется новым слоем, еще не адаптировавшимся к температуре измеряемого объекта. В результате конвекции, тепло

"забирается" из теплого измеряемого объекта или впитывается холодным измеряемым объектом до тех пор, пока температура воздуха и температура поверхности измеряемого объекта не приспособятся друг к другу. Эффект теплообмена усиливается при большей разнице между температурой поверхности измеряемого объекта и температурой окружающей среды.

Некоторые взвешенные вещества, такие как, например, пыль, сажа и дым, а также некоторые виды испарений имеют высокий коэффициент излучения и плохо пропускают излучение. Это означает, что они могут являться помехой для проведения измерений, т.к. они испускают собственное инфракрасное излучение, регистрируемое тепловизором. Более того, только некоторое количество инфракрасного излучения измеряемого объекта проходит к тепловизору, так как большая его часть рассеивается и поглощается взвешенными веществами.

Свет или освещение не оказывают значительного воздействия на измерения, осуществляемые с помощью тепловизора. Также вы можете проводить измерения в темноте, т.к. тепловизор измеряет инфракрасное излучение в длинноволновом спектре. Однако от некоторых источников света исходит инфракрасное тепловое излучение, которое может повлиять на температуру объектов, расположенных поблизости. Поэтому не рекомендуется проводить измерения под прямыми солнечными лучами или, например, вблизи накаливаемой электрической лампы. Холодные световые источники, такие как светодиоды или неоновый свет не представляют собой помехи, поскольку они преобразуют большую часть потребляемой энергии в видимый свет, а не инфракрасное излучение.

- Идеальными условиями для проведения измерений являются:
- Устойчивые погодные условия;
- Значительная облачность до и во время проведения измерений (относится только к измерениям на открытом воздухе);
- Отсутствие прямых солнечных лучей до и во время измерения;
- Отсутствие осадков;
- Сухая и не подверженная источникам помех поверхность измеряемого объекта (например, без листвы или опилок на поверхности);
- Отсутствие ветра или сквозняка;

- Отсутствие источников помех на пути передачи ИК излучения или в измерительной среде.

3. Порядок выполнения лабораторной работы

3.1 Оборудование и материалы

Для проведения лабораторной работы требуется тепловизор Flir-620, стакан с теплой водой.

3.2 Инструкция по работе с Тепловизором Flir-620

3.2.1 Технические характеристики

Разрешение 640 x 480 пикселей, что обеспечивает высокую точность и детализацию предметов, находящихся на большом расстоянии.

Камера с высококачественным изображением. Встроенная видеокамера с разрешением 3,2 мегапиксела для создания четких видимых изображений при любых условиях.

Лазерный указатель позволяет связывать горячие и холодные точки на ИК-изображении с реальными физическими предметами на месте.

Универсальные интерфейсы. Удобный доступ к видео, USB, FireWire (P640 & P660) выходам и прямое подключение для зарядки батареи в камере.

Автоматический и ручной фокус, цифровой объектив. В число вариантов фокусировки входят: автофокус с одним кадром, непрерывный автофокус, и ручной фокус.

Видоискатель с изменяемым углом. Видоискатель с высоким разрешением предусматривает возможность изменения угла и может быть настроен с учетом требований конкретного пользователя. Он идеально подходит для использования вне помещений или в ситуациях, когда не используется ЖК-монитор.

Большой ЖК-монитор. Складной высококачественный большой ЖК-монитор 5,6" позволяет разглядеть мельчайшие подробности и малейшие изменения температуры.

3.2.2 Работа с тепловизором

Внимательно ознакомьтесь с инструкцией по эксплуатации тепловизора.

3.3 Проведение лабораторной работы

Тепловизор – очень дорогой прибор, работа с которым возможна только с разрешения преподавателя и под его непосредственным контролем.

1. Обучение работе с тепловизором
 - a. Включить тепловизор.
 - b. Изучить информацию, содержащуюся на экране.
 - c. Направить тепловизор на любой объект, научиться фокусировать прибор
2. Изучение теплового поля человека
 - a. Определить места человеческого тела с максимальной и минимальной температурой
3. Особенности анализа тепловизионной картинки при наличии отраженных лучей
 - a. Направить тепловизор на глянцевую поверхность, расположенную горизонтально (парта, зеркало).
 - b. Обнаружить тепловое изображение ламп, расположенных на потолке.
 - c. Сделать вывод о температуре поверхности лампы (зеркала) в той части, где видны лампы освещения.
 - d. Повторить эксперимент, направив тепловизор на стекло окна таким образом, чтобы обнаружить отраженное изображение людей, находящихся в лаборатории.
 - e. Сделать выводы об информации об исследуемом объекте, пришедшей в виде ИК-лучей в матрицу тепловизора.
4. Особенности анализа тепловизионной картинки при наличии проходящих лучей

- a. Направить тепловизор на окно таким образом, чтобы было видно теплые объекты, расположенные на улице (люди, машины и т.п.)
 - b. Сделать вывод о температуре стекла окна в месте, где пришел тепловой сигнал от внешних объектов.
5. Тепловое обследование зданий на поиск утечек тепла (проводится в холодное время года)
- a. Выйти на улицу и направить тепловизор на здание. Обнаружить области здания с аномально высокими температурами.
 - b. Находясь внутри помещения, направить тепловизор на внешнюю стену.

4. Контрольные вопросы

Информация, которая необходима для ответа на вопросы, содержится в лекциях, учебных пособиях и методических указаниях к данной работе.

1. Объекты из каких материалов могут быть подвергнуты тепловому контролю?
2. Чем тепловизор отличается от прибора ночного видения, от пирометра?
3. Для каких целей может быть использован тепловизор в нефтегазовой отрасли?
4. Какие тепловые поля фиксирует матрица тепловизора, направленная на конкретный объект исследования?
5. Влияют ли погодные условия на точность проведения теплового контроля? Если влияют, то какие и как?
6. Какие явления могут быть источником тепла?

Приложение 1

УТВЕРЖДАЮ

_____ / _____ /

« _____ » _____ 200_ г.

АКТ №

проведения вихретоковой дефектоскопии

В порядке проведения лабораторной работы проведена дефектоскопия объекта:

_____.

Дефектоскопия объекта проведена « ____ » _____ 200_ г. в ауд. ____

в присутствии:

Используемые для проведения дефектоскопии приборы:

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ: _____

ВЫВОДЫ:

Подписи членов комиссии (группы студентов):

Литература

1. Неразрушающий контроль сварных конструкций в нефтегазовых отраслях: Учебное пособие / А.А. Антонов, Е.М. Вышемирский, О.Е. Капустин, А.К. Прыгаев. – М.: Издательство «Спутник +», 2014. – 238с.
2. Маслов, Б.Г. Неразрушающий контроль сварных соединений и изделий в машиностроении: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. - М.: Издательский центр "Академия", 2008. - 272с.
3. Каневский, И.Н., Сальникова, Е.Н. Неразрушающие методы контроля: учебное пособие. - Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. - 243 с.
4. Работоспособность трубопроводов: в 3 ч. / Е.Е. Зорин, Г.А. Ланчаков и др.- М.: Недра-бизнесцентр, 2000. - Ч. 1-3.
5. Горицкий, В.М. Диагностика металлов - М.: Metallurgizdat, 2004.- 402с.
6. Сварка. Резка. Контроль: справочник в 2 т. Т.1/ под ред. Н.П. Алешина, Г.Г. Чернышова. – М.: Машиностроение, 2004.- 478с.