

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по выполнению лабораторных  
работ по дисциплине

Надежность и диагностика технологических систем  
Направление подготовки – 15.04.02  
Технологические машины и оборудование  
Профиль подготовки: Проектирование  
технологического оборудования

Ставрополь, 2022

## Содержание

<i>Лабораторная работа №1</i> <b>УЛЬТРАЗВУКОВОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА.....</b>	4
<i>Лабораторная работа №2</i> <b>БЕСКОНТАКТНОЕ ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ УЗЛОВ ОБОРУДОВАНИЯ.....</b>	13
<i>Лабораторная работа № 3</i> <b>КАПИЛЛЯРНЫЕ МЕТОДЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ .....</b>	21
<i>Лабораторная работа № 4</i> <b>ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ ИСПЫТАНИЕ ТЕПЛООБМЕННИКА .....</b>	24
<i>Лабораторная работа №5</i> <b>ДЕФЕКТАЦИЯ ДЕТАЛЕЙ .....</b>	28
<i>Лабораторная работа № 6</i> <b>ДИАГНОСТИКА ВРАЩАЮЩИХСЯ ДЕТАЛЕЙ .....</b>	31

## Введение

Целью выполнения лабораторных работ является практическое закрепление студентами теоретических знаний, полученных при изучении лекционного материала.

Перед выполнением лабораторной работы студент получает допуск к её выполнению. При подготовке к допуску студент изучает не только материал, представленный в данных методических указаниях, но и теоретические положения по работе, изложенные в курсе лекций и в соответствующих учебных пособиях.

После выполнения работы студент готовит протокол испытаний, в котором сформулированы цели работы, основные теоретические положения и результаты практических испытаний. Протокол лабораторной работе должен включать:

- фамилию, имя, отчество и номер группы студента;
- описание цели лабораторной работы;
- краткое описание принципа действия прибора или схемы установки;
- необходимые графики, таблицы с результатами испытаний (по указанию преподавателя).

## **УЛЬТРАЗВУКОВОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА**

Цель работы - определение толщины конструкционного материала оборудования по скорости распространения ультразвука в исследуемом материале.

**Оборудование и материалы:** комплект учебно-лабораторного оборудования «Контроль качества деталей методом ультразвуковой дефектоскопии»

Формируемые компетенции:

ОПК-5 способностью выбирать оптимальные решения при создании продукции с учетом требований качества, надежности и стоимости, а также сроков исполнения, безопасности жизнедеятельности и экологической чистоты производства

ПК-16 способностью изучать и анализировать необходимую информацию, технические данные, показатели и результаты работы, систематизировать их и обобщать

### **Указания по технике безопасности**

Работы по ультразвуковому контролю разрешается производить только исправным, настроенным дефектоскопом, имеющего плавкие предохранители и надежное заземление. Штепсельные розетки для переносных дефектоскопов должны быть снабжены специальным контактом для присоединения заземляющего проводника. При этом конструкция штепсельного соединения должна исключать возможность использования токоведущих контактов, предназначенных для заземления. Заземляющий контакт штепсельной розетки должен быть электрически соединен с ее корпусом. Питание дефектоскопа от сети необходимо производить через стабилизатор напряжения или автотрансформатор.

Смену предохранителей необходимо производить только при отключенном электропитании. При коротком замыкании или других неисправностях аварийного характера необходимо немедленно отключить дефектоскоп от сети и разрядить электролитический конденсатор на корпус прибора. Повторное включение в сеть допускается только после полного устранения неисправности. При работе и перевозках дефектоскопа необходимо тщательно оберегать от ударов электронно-лучевую трубку во избежание ранения от осколков разорвавшейся трубки.

Запрещается:

- производить ремонт дефектоскопа;
- включать в сеть дефектоскоп со снятым кожухом;
- применять самодельные предохранители, не соответствующие номиналу дефектоскопа;
- пользоваться штепсельными розетками без крышек, а также производить включение с помощью оголенных проводов без вилок;
- оставлять без присмотра включенный в сеть дефектоскоп.

После окончания работы дефектоскоп должен быть выключен, а подсоединительная вилка вынута из розетки.

Рабочее место должно содержаться в чистоте и не загромождаться посторонними предметами.

## Теоретическая часть

В процессе эксплуатации технологического оборудования конструкционный материал его деталей подвергается коррозионному, эрозионному и другим воздействиям. Это приводит к уменьшению толщины стенок оборудования и может исключить его дальнейшую безопасную эксплуатацию.

Для определения состояния конструкционного материала и, в частности, толщины элементов технологического оборудования используются разрушающие и неразрушающие методы контроля. К разрушающим методам относится, например, метод засверловки, суть которого сводится к следующему. В корпусе аппарата просверливают отверстие, через которое и определяют толщину стенки, затем отверстие заваривают.

Предпочтение отдается неразрушающим методам контроля при определении толщины стенок и других элементов оборудования. Одним из таких методов является акустическая (ультразвуковая) толщинометрия.

Акустические методы неразрушающего контроля нашли широкое распространение во многих отраслях промышленности благодаря их следующим качествам:

- высокая чувствительность к мелким дефектам;
- большая проникающая способность;
- возможность определения размеров и места расположения дефектов;
- оперативность индикации дефектов;
- возможность контроля при одностороннем доступе к объекту;
- высокая производительность;
- безопасность работы оператора и окружающего персонала.

Акустические методы контроля основаны на распространении и отражении упругих волн в упругих средах. При этом частицы среды не переносятся, а совершают колебания с определенной частотой. При ультразвуковом контроле колебания передаются от внешнего источника частицам материала объекта.

Для реализации акустических методов используют упругие колебания в ультразвуковом диапазоне с частотой от 0,5 до 25 МГц, поэтому эти методы называют ультразвуковыми методами контроля (УЗК). Для возбуждения ультразвуковых колебаний чаще всего используют пьезоэлектрические преобразователи, которые изготавливают из монокристалла кварца или пьезокерамических материалов: титаната бария, цирконат-титаната - свинца и др. Из таких материалов делают пластину, на параллельные поверхности которой наносят тонкие слои серебра, служащие электродами. Затем пластину поляризуют в постоянном электрическом поле, после чего такое изделие приобретает пьезоэлектрические свойства (рис.1.1).

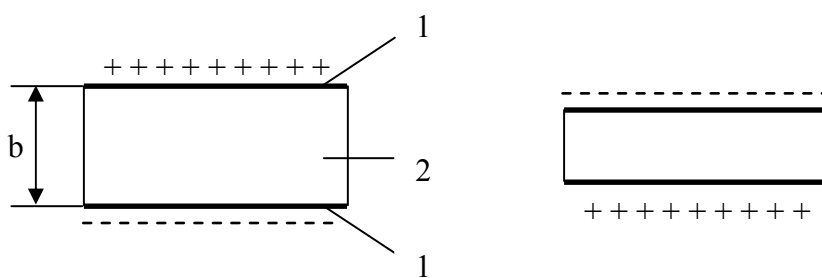


Рис.1.1 Пьезопреобразователь.

1-электроды; 2-пьезопластина; b - начальная толщина пластины.

Если к электродам приложить переменное электрическое напряжение, то пластина будет совершать вынужденные колебания, растягиваясь и сжимаясь, с частотой приложенного электрического напряжения (обратный пьезоэффект). Если на пластину воздействовать упругими механическими колебаниями, то на электродах её возникает переменное электрическое напряжение с частотой приложенных механических колебаний (прямой

пьезоэффект). При диагностике для предохранения пьезопластины от механического износа, а также для ввода в объект контроля под определенным углом и приема волн пластину помещают в специальные призмы из оргстекла, получая таким методом искательные головки – искатели (рис.1.2).

Если колеблющуюся пластину приложить к поверхности контролируемого объекта, то в материале его будут возбуждаться и распространяться упругие волны.

Ультразвуковые волны распространяются по законам геометрической оптики, т.е. им присущи отражение, преломление, интерференция, дифракция, затухание. Например, если волна падает на границу раздела двух сред, которые имеют различные акустические сопротивления, то часть энергии волны отражается от этой границы в первую, а другая часть энергии переходит во вторую среду. Соотношение этих энергий зависит от соотношения акустических сопротивления сред. Скорость распространения волн зависит от акустического сопротивления материала контролируемого объекта. Акустическое сопротивление различных сред отличаются друг от друга. Например, волновое сопротивление газов, жидкостей и металлов относятся друг другу в среднем как  $1: 3 \times 10^3: 10^5$ . И если, например, между ультразвуковым датчиком (искательной головкой) и поверхностью контролируемого объекта будет воздушный зазор, то от него отразится в датчик практически вся энергия упругих волн, т.к. акустические сопротивления этих сред значительно отличаются друг от друга. Поэтому для улучшения акустического контакта между доньшком искательной головки и объектом контроля помещают тонкий слой минерального масла, устраняя таким приёмом воздушный зазор.

Для ультразвуковой диагностики оборудования используют часто эхо-импульсный метод. Этот метод реализуется путем ввода в объект контроля импульса ультразвука и приема отраженного импульса, который и свидетельствует о наличии границы раздела фаз. Фиксирование отраженного ультразвука от границ объекта контроля (от дефекта) осуществляется с помощью электронно-лучевой трубки (ЭЛТ) или приемно-усилительного устройства по времени задержки принимаемого ультразвукового импульса относительно излучаемого с последующим изображением результата на экране дисплея. По времени между вводом импульса и приемом отраженного эхо-сигнала от границы объекта и известной скорости распространения ультразвука судят о толщине конструкционного материала. (Значения скоростей распространения ультразвука для некоторых материалов приведены в таблице 1.1).

При рассматриваемом методе контроля применяют прямые и наклонные искательные головки (искатели), для которых характерно то, что функции излучения и приёма ультразвука выполняет один и тот же пьезоэлектрический преобразователь (раздельно-совмещенная искательная головка). В раздельно-совмещенной искательной головке имеются два преобразователя: один является излучателем, а другой – приёмником. С

помощью прямых искателей колебания вводятся в объект контроля перпендикулярно, а в наклонных - под углом к поверхности объекта в точке ввода (рис.1.2).

В данной работе для определения размеров объекта контроля будет использоваться толщиномер ТТ 100, имеющий приемно-усилительное устройство.

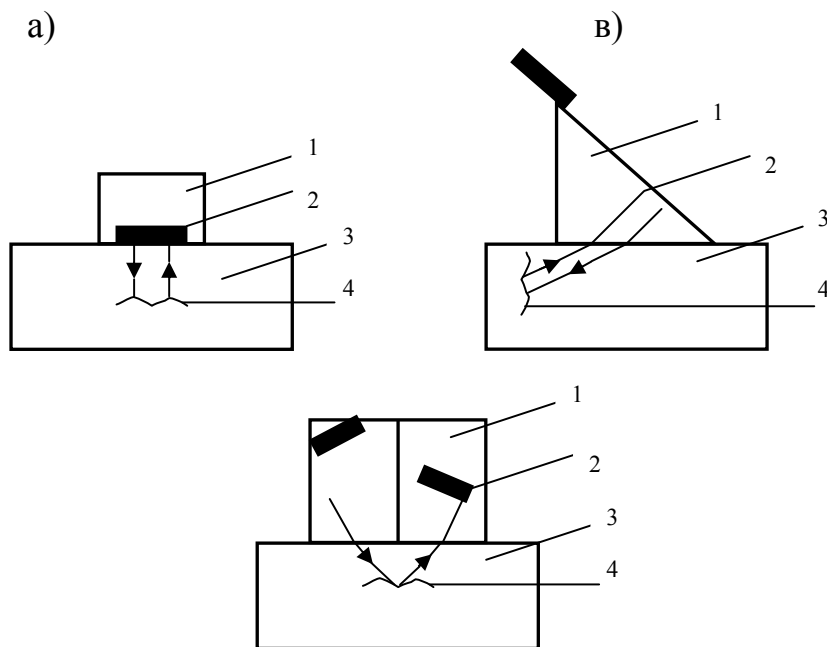


Рис.1.2 Основные типы искателей.

а-прямой; б- наклонный (призматический); в- раздельно-совмещенный  
 1-оргстекло; 2-пьезопластина; 3-объект контроля; 4-дефект

## ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И УСТРОЙСТВО ТОЛЩИНОМЕРА

Принцип действия толщиномера основан на ультразвуковом контактном эхоимпульсном методе неразрушающего контроля. Излучаемый пьезоэлектрическим преобразователем [ПЭП] ультразвуковой импульс направляется в контролируемый объект, отражается от его задней стенки и возвращается на приемную часть ПЭП. Измерение времени задержки, принимаемого толщиномером ультразвукового импульса относительно излученного, обеспечивает определение толщины объекта (при известной скорости распространения звука в нем) или скорости звука (при известной толщине образца). Электронный блок толщиномера включает в себя:

1. генератор зондирующих импульсов (искатель);
2. приемно-усилительное устройство;
3. измеритель временных интервалов;
4. процессор управления;
5. четырехразрядный жидкокристаллический дисплей;
6. клавиатуру для: включения прибора (клавиша **ON**), включения



режима измерения скорости (клавиша **VEL**), включения калибратора (клавиша **ZERO**) регулировки значений скорости, толщины и выбора ячеек памяти;

7. контрольный образец ( $v=5900$  м/с и  $h - 4$  мм) для калибровки прибора.

В корпусе электронного блока находится контейнер для размещения двух элементов электропитания, закрытый съемной крышкой, и встроены два гнезда для подключения сигнального кабеля от ультразвукового преобразователя.

Ультразвуковой преобразователь выполнен в цилиндрическом корпусе, в переднем торце которого установлены излучающая и приемная пьезокерамические пластины, разделенные акустическим экраном и залитые полимерным компаундом. Преобразователь соединен с сигнальным кабелем.

Толщиномер ТТ100 позволяет измерять толщину многих материалов: металлов, пластмасс, фарфора, стекла и других, которые достаточно хорошо проводят ультразвуковые волны. Важно при этом, чтобы контролируемые образцы имели достаточно плоскопараллельные поверхности. Однако настоящий прибор не применим для измерения таких материалов, имеющих крупнозернистую структуру как, например, чугун.

Несмотря на то, что толщина материала и скорость звука в нем зависят от температуры, эта зависимость не сказывается на показаниях прибора, и поэтому температура измеряемого объекта не ограничивается. Однако она не должна превышать  $60^{\circ}\text{C}$ , по другим соображениям: чтобы не повредить ультразвуковой преобразователь, контактная поверхность которого выполнена из мягкого полимерного материала.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Вставьте в контейнер электронного блока элементы питания, соблюдая полярность (пружины контейнера должны контактировать с выходом «-» элементов питания).

Подключите к электронному блоку кабель ультразвукового преобразователя. Нажав клавишу ON, включите прибор. Спустя несколько секунд на дисплее высветится значение скорости звука, полученное в предыдущем измерении. Воспользовавшись предусмотренной в толщиномере функцией калибровки, проверьте работоспособность прибора, для чего:

1 нанесите тонкий слой связующего геля на контактную поверхность преобразователя и контрольный образец (круглый стальной диск), расположенный на передней панели корпуса электронного блока;

2 нажатием клавиш или установите на дисплее скорость, равную 5900 м/с;

- установите преобразователь на контрольный образец и нажмите клавишу ZERO. На дисплее высветятся расположенные в ряд четыре черточки «-» которые характеризуют готовность аппаратуры и начнут последовательно исчезать, после чего должно появиться значение 4,0 mm. Это свидетельствует о готовности прибора к работе.

При выполнении лабораторной работы перед замером толщины образцов (№№ 1,2,3,4,5,6) необходимо определить скорость распространения ультразвука в материале образцов. При этом измеряют штангенциркулем толщину контрольной пластины, (изготовленной из того же материала, что и образцы) и затем с помощью прибора ТТ100 определяют скорость распространения ультразвука в ней. Для этого выберите место установки на пластине ультразвукового преобразователя. На этом месте не должно быть ржавчины, грязи, каких-либо покрытий, затрудняющих проникновение ультразвукового сигнала. Оно не должно быть слишком шероховатым. Нанесите гель на выбранное место и слегка прижмите к нему ультразвуковой преобразователь.

**Внимание: Во избежание повреждения контактной поверхности преобразователя не допускается его «притирание» к поверхности контролируемого объекта.**

На дисплее должен высветиться знак «=», свидетельствующий о наличии акустического контакта, и какое-то значение толщины. Уберите преобразователь с пластины, при этом значок «=» исчезнет, значение толщины останется. Нажатием клавиш  $\square$  и  $\wedge$  откорректируйте значение толщины до истинного, замеренное штангенциркулем. Нажмите клавишу VEL- на дисплее высвечивается величина скорости, которая будет занесена в текущую память прибора. По указанию преподавателя необходимо измерить прибором ТТ100 толщины образцов и результаты измерений занести в таблицу 2. Для этого выберите место на каждом контролируемом образце для установки на нем ультразвукового преобразователя. На этом месте также (см. выше) не должно быть ржавчины, грязи, каких-либо покрытий, затрудняющих проникновение ультразвукового сигнала. Нанесите гель на выбранное на контролируемом объекте место и слегка прижмите к нему ультразвуковой преобразователь. На дисплее должен высветиться знак «=», свидетельствующий о наличии акустического контакта, и появиться значение измеренной толщины материала. Результаты занести в таблицу №2.

**Выключение прибора осуществляется автоматически спустя 2 мин после последней проведенной над ним манипуляции (нажатия клавиш или прикладывания ультразвукового преобразователя к объекту).** Для повторного включения прибора следует вновь нажать на клавишу ON. По окончании работы и выключения прибора тщательно снимите (используя чистую влажную, а затем сухую хлопчатобумажную салфетку) с преобразователя и с поверхности контрольного образца остатки связующего геля. Удалите грязь и смазку с оболочки кабеля, тщательно протрите его.

**Внимание. Извлекать элементы питания из контейнера допускается только после автоматического выключения прибора. Это требование следует соблюдать неукоснительно, чтобы не истощался встроенный в электронный блок литиевый элемент, обеспечивающий непрерывное питание ПЗУ процессора.**

Таблица 1.1

	<b>Скорость</b>
Алюминий	6260
Цинк	4170
Серебро	3600
Золото	3240
Олово	3230
Железо и сталь	5900
Медь	4640
Латунь	4700
Вода (20 °С)	1480
Глицерин	1920
Кремнистый	2350
Ацетат	2670
Фосфористая	3530
Сосновая смола	4430
Стекло	5440
Магний	6310
Сплав молибдена и	6020
Никель	5630
Сталь	5850
Титан	6070
Цирконий	4650
Нейлон	2620
Железо «АРМКО»	5930
Сталь 3	5930
Сталь 10	5920
Сталь 40	5925
Сталь У8	5900
Сталь 50	5920
Сталь 45Л-1	5925
Сталь 30ХГСА	5915
Сталь 30ХМА	5950
Сталь 30ХРА	5900
Сталь ЭП814	5900
Сталь ЭИ437БУ	5990
Сталь ЭИ617	5930
Сталь 826	5930
Сталь ХН70ВМТЮ	5960
Кварц плавленный	5930

Таблица 1.2

Номер образца	1	2	3	4	5	6
Толщина						

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Сформулируйте цель данной работы.
2. Какие методы контроля используют для определения толщины материала?
3. Почему акустические методы контроля нашли широкое применение в промышленности?
4. Что используют для возбуждения ультразвуковых колебаний?
5. Какие искательные головки используют для контроля конструкционных материалов?
6. Каков принцип действия толщиномера?
7. Какие узлы включает в себя электронный блок толщиномера?
8. В чем заключается подготовка толщиномера к работе?
9. Каков порядок выполнения лабораторной работы?

### Список рекомендуемой литературы

- 1 Чепегин, И.В. Надежность технических систем и техногенный риск : учебное пособие / И.В. Чепегин ; Министерство образования и науки РФ, Казанский национальный исследовательский технологический университет. – Казань : Казанский научно-исследовательский технологический университет (КНИТУ), 2017. – 156 с. : схем., табл., ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=500621> (дата обращения: 08.04.2020). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-7882-2290-5. – Текст : электронный.
- 2 Анферов, В.Н. Надежность технических систем : учебное пособие / В.Н. Анферов, С.И. Васильев, С.М. Кузнецов ; отв. ред. Б.Н. Смоляницкий. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2018. – 108 с. : ил., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=493640> (дата обращения: 08.04.2020). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-4475-9701-6. – DOI 10.23681/493640. – Текст : электронный.
- 3 Мордасов, Д.М. Струйно-акустические эффекты в методах неразрушающего контроля вещества : монография / Д.М. Мордасов, М.М. Мордасов. – Москва : Физматлит, 2009. – 112 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=76596> (дата обращения: 08.04.2020). – ISBN 978-5-9221-1185-0. – Текст : электронный.

## **БЕСКОНТАКТНОЕ ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ УЗЛОВ ОБОРУДОВАНИЯ**

Цель работы - изучения принципа действия лазерного пирометра и диагностирование материала и узлов оборудования путем замера температуры их бесконтактным способом по известным характеристикам электромагнитного излучения.

**Оборудование и материалы:** прометр лазерный, печь муфельная, образцы

Формируемые компетенции:

ОПК-5 способностью выбирать оптимальные решения при создании продукции с учетом требований качества, надежности и стоимости, а также сроков исполнения, безопасности жизнедеятельности и экологической чистоты производства

ПК-16 способностью изучать и анализировать необходимую информацию, технические данные, показатели и результаты работы, систематизировать их и обобщать

### **Указания по технике безопасности**

- 1) Соблюдать особую осторожность при включении лазерного луча.
- 2) Не наводить луч в глаза человека или животного.
- 3) Не допускать попадание луча на отражающую поверхность во избежание повреждения глаз.
- 4) Не пользоваться лазерным лучом во взрывоопасной среде.

### **Теоретическая часть**

В процессе эксплуатации технологического оборудования конструкционный материал, отдельные детали, изоляция оборудования подвергаются температурным нагрузкам, которые приводят к нежелательным последствиям (прогары стенок, уменьшение толщины изоляции). Развитие таких дефектов можно диагностировать опосредственно, замеряя температуру стенок, изоляции и т.д.

Для определения температуры отдельных узлов оборудования используют контактные и бесконтактные методы контроля. При контактных методах контроля используют расширение тел при повышении температуры. Этот эффект используется в жидкостных термометрах, датчиках с

биметаллическими пластинами и термоакустических преобразователях. При бесконтактных методах контроля температуры используют электромагнитное излучение.

Приборы бесконтактного измерения температуры применяются главным образом там, где другие приборы, например, контактные термометры, не могут быть использованы. Бесконтактные приборы применяются при измерениях температуры на деталях под электрическим напряжением, вращающихся устройств или при измерении температуры продуктов в упаковке, которую можно повредить зондом при контактном измерении. При этом на результаты измерения влияют следующие параметры:

- характеристика объекта контроля;
- температура объекта;
- коэффициент излучения объекта;
- характеристика измерительного прибора.

Любое тело, находящееся при температуре выше абсолютного нуля, является источником электромагнитного излучения. Это излучение называется тепловым, т.к. возникает в результате теплового возбуждения частиц вещества нагретого тела (атомов, молекул, ионов).

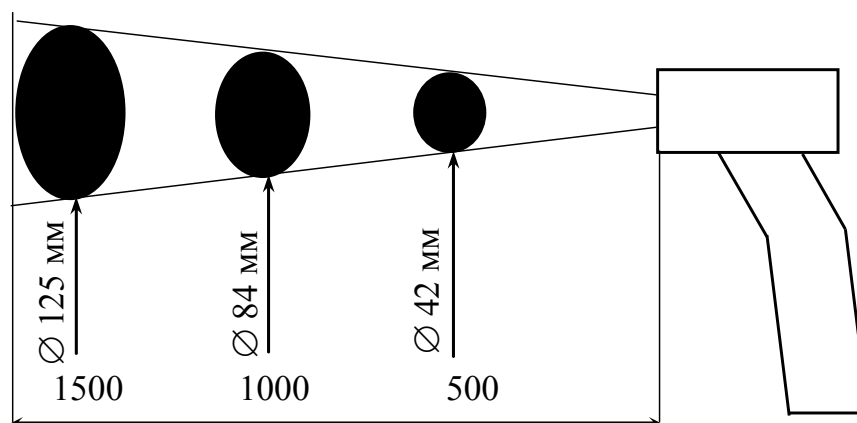
В процессе теплового излучения энергия перемещается, что позволяет измерять температуру тела на расстоянии. Тепловая энергия и характеристики длины волны ее излучения напрямую зависят от температуры тела, излучающего данную энергию.

Это излучение зависит от самого материала и его поверхности, поэтому, например, температура многих органических продуктов измеряется без применения специальных действий, а металлы, особенно с отражающими поверхностями требуют специальной подготовки измерения. Металлы белого цвета имеют очень маленький коэффициент излучения ( $\epsilon$ ) в диапазоне длины волны ( $\lambda$ ) от 8 до 14  $\mu\text{m}$  и поэтому их температуру трудно измерять. Для корректного измерения температуры выше приведенных объектов требуется применение покрытий, увеличивающих излучательную способность объекта (краска, масляная пленка или самоклеющаяся пленка).

Такие материалы, как белая бумага, керамика, гипс, древесина, резина, темная древесина, камень, темные краски, обладают коэффициентом излучения приблизительно 0,95 при длине волны выше 8  $\mu\text{m}$ . Большинство органических материалов (пищевые продукты) обладают коэффициентом излучения приблизительно 0,95. Светлые и темные неметаллические материалы не очень отличаются друг от друга по их излучательным способностям. Следовательно, для корректного измерения температуры необходимо выставить на электронном табло пирометра коэффициент излучения в соответствии с коэффициентом излучения объекта  $\epsilon$ . Коэффициенты излучения наиболее часто используемых материалов в промышленности материалов приведены в таблице 2.1

Наряду, с излучательной способностью объекта немаловажную роль играет при бесконтактном измерении и расстояние от прибора до

измеряемого объекта. При выборе расстояния между измерительным прибором и объектом диагностирования следует помнить, что при увеличении расстояния до объекта, увеличивается площадь области (пятна) измерения температуры, т.е мы замеряем температуру не в конкретной точке, а усредненную температуру на соответствующей площади. Соотношение расстояния от прибора до объекта диагностирования и диаметр пятна измерения равно 12:1 (рис.2.1).



Расстояние до объекта измерения (мм)

Рис. 2.1 Зависимость диаметра пятна замера от расстояния

Таблица 2.1

Металлы			
Материал	Качество	Температура (°C)	$\epsilon$
Алюминий	Неокисленный	25	0,02
	Неокисленный	100	0,03
	Неокисленный	500	0,06
	Окисленный	200	0,11
	Окисленный	600	0,19
	Сильно окисленный	93	0,20
	Сильно окисленный	500	0,31
	Сильно полированный	100	0,09
	Слабо полированный	100	0,18
Свинец	Полированный	38-260	0,06-0,08
	Неровный	40	0,43
	Окисленный	40	0,43
	Серый окисленный	40	0,28
Хром	Хром	40	0,08
	Хром	540	0,26
	Хром, полированный	150	0,06
	Окисленное	100	0,74

	Окисленное	500	0,84
	Неокисленное	100	0,05
	Ржавая пленка	25	0,70
	Ржавое	25	0,65
Золото	Лакированное	100	0,37
	Полированное	38-260	0,02
Чугун	Окисленный	200	0,64
	Окисленный	600	0,78
	Неокисленный	100	0,21
	Сильно окисленный	40-250	0,95
<b>Неметаллы</b>			
<b>Материал</b>	<b>Качество</b>	<b>Температура (°C)</b>	<b>ε</b>
Керамика	Фарфор	20	0,92
	Фаянс, глазированный	20	0,90
	Фаянс, матовый	20	0,93
Гравий	Гравий	40	0,28
Уголь	Сажа в пламени	25	0,95
	Неокисленный	25	0,81
	Неокисленный	100	0,81
	Неокисленный	500	0,79
	Сажа от свечи	120	0,95
	Древесные волокна	260	0,95
	Графитизированный	100	0,76
	Графитизированный	300	0,75
	Графитизированный	500	0,71
Краска	Голубая на алюминиевой пленке	40	0,78
	Желтый, 2 покрытия на алюм, пленке	40	0,79
	Чистая, 2 покрытия на алюм, пленке	90	0,09
	Чистая, на яркой меди	90	0,65
	Чистая, на тусклой меди	90	0,64
	Красная, 2 покрытия на алюм, пленке	40	0,74
	Черная, SiO <sub>2</sub>	90	0,96
	Белая	90	0,95
	Белая, 2 покрытия на алюм, пленке	40	0,88
Глина	Глина	20	0,39
	Обжиг	70	0,91
	Сланец	20	0,69
Мрамор	Белый	40	0,95



	Гладкий, белый	40	0,56
	Полированный, серый	40	0,75
Каменная кладка	Каменная кладка	40	0,93
Масло, на никеле	Толщина покрытия 0,02 мм	22	0,27
	Толщина покрытия 0,05 мм	22	0,46
	Толщина покрытия 0,10 мм	22	0,72
	Все краски	90	0,92-0,96
Масляные краски	Красная	90	0,95
	Черная, CuO	90	0,92
	Черная, с отливом	20	0,90
	Камуфляж, зеленый	50	0,85
	Белый	90	0,94
Кварцевое стекло	1,98 мм	280	0,90
	6,88 мм	280	0,93
	Непрозрачное стекло	300	0,92
Сажа	Азетилен	25	0,97
	Камфора	25	0,94
	Сажа от свечи	120	0,95
	Уголь	20	0,95
Песок	Песок	20	0,76
Песчаник	Песчаник	40	0,67
Опилки	Опилки	20	0,75
Сланец	Сланец	20	0,69

### УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ИНФРАКРАСНОГО ПИРОМЕТРА

Принцип действия бесконтактного пирометра основан на восприятии инфракрасным сенсором электромагнитного излучения различными телами (твердыми, жидкими или газообразными).

Схематичное устройство пирометра показано на (рис. 2.2.)

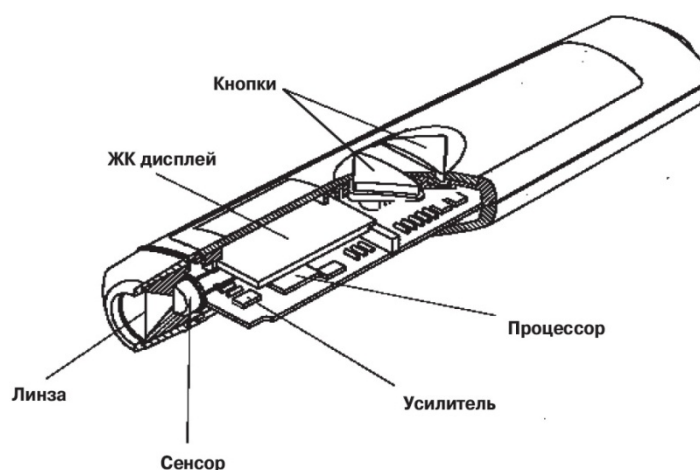


Рис. 2.2 Схема пирометра.

Пирометр состоит из линзы, которая фокусирует инфракрасное излучение объекта на сенсоре, усилителя сигнала, математического процессора, многофункциональной клавиатуры управления (рис. 2.3) в состав которой входят следующие клавиши: 1 – меню данных (кнопка *log*), где хранятся значения последних измерений; 2 – установка сигнализации о выходе за пределы интервала заданных температур и переключатель между °C и F° (кнопка *set*); 3, 4, 5 – задания интервала допустимых значений температур, кнопки установки  $\epsilon$ , включение лазера и подсветки.

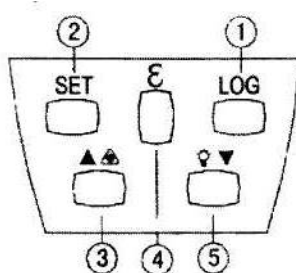


Рис. 2.3 Вид клавиатуры управления

На жидкокристаллическом дисплее (рис. 2.4) отображается следующее: 1 – индикатор лазера (показывает включен или выключен лазерный указатель); 2 – индикатор коэффициента излучения и его значение; 3 – индикатор измерения *scan* (высвечивается при измерении температуры объекта) и удержания значения температуры на дисплее *hold* (высвечивается по окончании измерения температуры); 4 – значение температуры в реальном времени; 5 – индикатор состояния батареи; 6 – максимальное, минимальное заданный интервал измерений; 7 – индикатор сигнализации (показывает, что значение измеряемой температуры вышло за допустимый заданный предел, в это же время на ЖК-дисплее будет высвечиваться индикация *max alarm* или *min alarm*); 8 – индикатор подсветки; 9 – индикатор единиц измерения температуры.

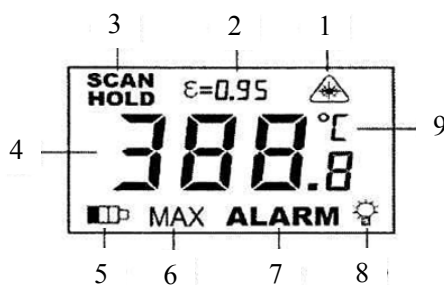


Рис. 2.4 Вид жидкокристаллического дисплея

Принцип работы пирометра представлен логической схемой (рис. 2.5.). Тепловое излучение концентрируется благодаря линзе и передается на сенсор, сенсор трансформирует тепловое излучение в электрическое напряжение, которое повышается усилителем и передается на микропроцессор. Процессор сравнивает измеренную температуру с температурой окружающей среды и выводит показания, измеренной величины температуры.

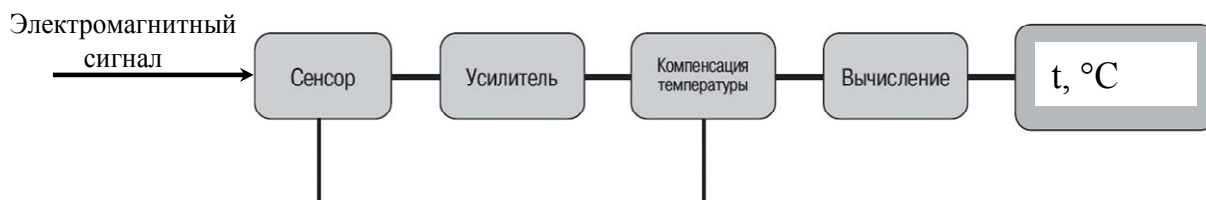


Рис. 2.5 Логическая схема работы прибора.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Вставьте элементы питания в прибор с соблюдением полярности (пружина «-»). Определите расстояние до измеряемого объекта и размер пятна замера, используя диаграмму замера (рис.2.1).

2. Ознакомьтесь с материалом из которого изготовлен объект диагностирования и установите коэффициент излучения объекта  $\epsilon$  путем нажатия кнопки 4 ( $\epsilon$ ) на клавиатуре прибора (рис. 2.3). Для этого необходимо удерживать на клавиатуре прибора кнопку 4 ( $\epsilon$ ) в течение двух секунд и прибор перейдет в режим установки регулируемого значения коэффициента излучения. Нажатием на клавиатуре кнопок 3 вверх или вниз 5, установите требуемый коэффициент излучения  $\epsilon$  тестируемого объекта (таблица 2.1).

2. Направьте последовательно лазерный луч пирометра на диагностируемые точки объекта и нажмите курок для измерения температуры. При этом значения температуры объекта в измеряемой точке появится на ЖК-дисплее. Для завершения измерения температуры следует отпустить курок прибора.

3. Запишите полученные значения температуры в протокол измерений.

4. Постройте график распределения температуры по длине диагностируемого объекта.

**Примечание.**

Следует помнить, что показания ЖК–дисплея высвечиваются 7 секунд, затем прибор автоматически выключается.

Сигнализация о выходе за пределы заданного интервала выглядит следующим образом: текущее выбранное значение мигает и сопровождается звуковым сигналом.

Извлекать элементы питания из прибора допускается только после автоматического выключения прибора.

**Запрещается.**

Направлять лазерный луч в лицо окружающих. Таблица 2.2

Номер точки замера	1	2	3	4	5	6
Температура, °С						

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Сформулируйте цель данной работы?
2. Какие методы контроля используют для определения температуры материалов?
3. В каком случае применяется бесконтактный способ измерения температуры?
4. Принцип действия пирометра?
5. Какие узлы включает в себя пирометр?
7. Каков порядок выполнения лабораторной работы?

### Список рекомендуемой литературы

- 1 Чепегин, И.В. Надежность технических систем и техногенный риск : учебное пособие / И.В. Чепегин ; Министерство образования и науки РФ, Казанский национальный исследовательский технологический университет. – Казань : Казанский научно-исследовательский технологический университет (КНИТУ), 2017. – 156 с. : схем., табл., ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=500621> (дата обращения: 08.04.2020). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-7882-2290-5. – Текст : электронный.
- 2 Анферов, В.Н. Надежность технических систем : учебное пособие / В.Н. Анферов, С.И. Васильев, С.М. Кузнецов ; отв. ред. Б.Н. Смоляницкий. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2018. – 108 с. : ил., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=493640> (дата обращения: 08.04.2020). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-4475-9701-6. – DOI 10.23681/493640. – Текст : электронный.

## **КАПИЛЛЯРНЫЕ МЕТОДЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ**

Цель работы - практическое изучение и определение дефектов оборудования капиллярным методом.

**Оборудование и материалы:** комплект приспособлений и материалов для капиллярного метода, образцы, стереомикроскоп Olympus

Формируемые компетенции:

ОПК-5 способностью выбирать оптимальные решения при создании продукции с учетом требований качества, надежности и стоимости, а также сроков исполнения, безопасности жизнедеятельности и экологической чистоты производства

ПК-16 способностью изучать и анализировать необходимую информацию, технические данные, показатели и результаты работы, систематизировать их и обобщать

### Указания по технике безопасности

Первостепенное внимание на всех операциях контроля следует уделять защите органов дыхания от вредного воздействия паров легколетучих растворителей – ацетона, бензина и других. Помещение участка капиллярной дефектоскопии должно быть оборудовано приточно-вытяжной вентиляцией. Каждое рабочее место должно быть оборудовано воздухоприемниками вытяжной вентиляцией не менее чем с трехкратным обменом воздуха. Работающий должен находиться в потоке чистого воздуха, поступающего к месту работы со скоростью 1–1,7 м/с. Надо постоянно следить за предельно допустимыми концентрациями дефектоскопических материалов в воздухе, предусмотренными санитарно-гигиеническими требованиями к воздуху рабочей зоны.

Обработку поверхностей крупногабаритных изделий дефектоскопическими материалами следует выполнять у панелей равномерного всасывания воздуха, обеспечивающих вытяжку воздуха и паров жидкостей вниз или в горизонтальном направлении. Для местной вытяжки применяют камеры, зонты, бортовые отсосы, вентиляционные щели и другие устройства, располагаемые непосредственно в местах выделения вредных веществ, в зонах наибольшего загрязнения воздуха. Проявители необходимо наносить в распылительных камерах. (Изделия, покрытые проявляющим лаком и проходящие сушку, должны находиться на участке с интенсивной вытяжной вентиляцией). Категорически запрещается проводить работы при выключенной вентиляции. Вентиляция вместе со средствами индивидуальной защиты обезопасит дыхательные органы дефектоскописта от вредного воздействия паров дефектоскопических материалов. Запрещается систематическое использование аэрозольных препаратов в небольших помещениях без вытяжной вентиляции.

## Теоретическая часть

Данные методы контроля используют для выявления таких дефектов как микротрещины, и трещины, выходящие на поверхность объекта, поверхностные поры и непровары сварных швов. Перечисленные дефекты по своим физическим свойствам являются капиллярами, поэтому эти методы контроля называются капиллярными.

Капиллярная дефектоскопия основана на изменении контрастностей изображения дефектов и фона, на котором они выявляются с помощью специальных свето-и цветоконтрастных индикаторных жидкостей (пенетрантов) . Пенетранты наносят на предварительно очищенную поверхность объекта контроля. Затем некоторое время выдерживают, чтобы пенетрант проник в полости дефекта. После этого избыток пенетранта удаляют и наносят проявляющий состав (проявитель). Пенетрант, оставшийся в дефектах, образует на фоне проявителя рисунок, по которому судят о наличии дефектов и их поверхностных размерах.

Эффективность капиллярного метода контроля зависит от проникающей способности пенетранта и извлечения его из дефекта проявителем. Проникающая способность пенетранта зависит от адгезионных сил взаимодействия его молекул с молекулами поверхности дефектов и их размеров .

Процесс извлечения пенетранта связан с диффузией его из дефекта и сорбцией проявителем. Проявитель может применяться в виде порошка или суспензии, частицы которых также образуют систему мелких капилляров. Проявитель подбирается так, чтобы адгезионные силы взаимодействия его молекул с молекулами пенетранта были больше удерживающих сил пенетранта в капиллярах дефекта. В зависимости от свойств пенетранта и проявителя различают три метода капиллярного контроля: люминесцентный, цветной и люминесцентно-цветной.

Для люминесцентного характерно то, что в состав пенетрантов вводят вещества, которые при естественном освещении или облучении ультрафиолетовыми лучами становятся источниками излучения яркого свечения. Такие вещества называются люминофорами.

Цветной метод основан на использовании пенетрантов, в состав которых входят специальные красители. В промышленности широко применяют так называемую «пробу керосином». При использовании этого метода в качестве пенетранта применяют керосин, а в качестве проявителя-раствор мела в воде с добавлением клея.

Люминесцентно-цветной метод является сочетанием двух, рассмотренных выше методов и отличается лишь тем, что пенетрант не только люминесцирует в ультрафиолетовых лучах, но и при обычном освещении. Этот метод отличается высокой чувствительностью, но для его

применения контролируемые поверхности должны иметь чистоту обработки не ниже 5 класса.

Следует отметить, что для любого из перечисленных методов, с целью интенсификации процесса заполнения полости дефекта, используют вакуумирование, ультразвук и т.д.

### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить методические указания по выполнению лабораторной работы.
2. Произвести внешний осмотр объекта контроля.
3. Зачистить контролируемую зону образца.
4. Нанести на образец тонкий слой керосина.
5. После 3-х минут выдержки поверхность образца тщательно протереть.
6. Нанести меловую краску на поверхность образца.
7. Замерить длину дефекта и отметить место его расположения.
8. В отчете по лабораторной работе выполнить эскиз образца с дефектом.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Сформулируйте цель данной работы.
2. В каких случаях используют капиллярные методы контроля?
3. Что такое «пенетрант»?
4. На чем основана капиллярная дефектоскопия?
5. Какие вещества применяют в качестве проявителей?
6. Какие методы капиллярной дефектоскопии Вы знаете?

### Список рекомендуемой литературы

- 1 Чепегин, И.В. Надежность технических систем и техногенный риск : учебное пособие / И.В. Чепегин ; Министерство образования и науки РФ, Казанский национальный исследовательский технологический университет. – Казань : Казанский научно-исследовательский технологический университет (КНИТУ), 2017. – 156 с. : схем., табл., ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=500621> (дата обращения: 08.04.2020). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-7882-2290-5. – Текст : электронный.
- 2 Анферов, В.Н. Надежность технических систем : учебное пособие / В.Н. Анферов, С.И. Васильев, С.М. Кузнецов ; отв. ред. Б.Н. Смоляницкий. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2018. – 108 с. : ил., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=493640> (дата обращения: 08.04.2020). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-4475-9701-6. – DOI 10.23681/493640. – Текст : электронный.

## *Лабораторная работа № 4*

### **ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ ИСПЫТАНИЕ ТЕПЛООБМЕННИКА**

Цель работы - практическое изучение и проведение гидравлического испытания кожухотрубчатого теплообменника.

**Оборудование и материалы:** демонстрационное оборудование для проведения гидравлических испытаний, манометр, теплообменник, редуктор для регулировки давления жидкости.

Формируемые компетенции:

ОПК-5 способностью выбирать оптимальные решения при создании продукции с учетом требований качества, надежности и стоимости, а также сроков исполнения, безопасности жизнедеятельности и экологической чистоты производства

ПК-16 способностью изучать и анализировать необходимую информацию, технические данные, показатели и результаты работы, систематизировать их и обобщать

#### Указания по технике безопасности

1. При испытании теплообменника давление в системе **не поднимать** выше расчетного.
2. При наличии воздуха в теплообменнике проводить испытание **запрещается**.
3. О наличии воздуха в системе свидетельствуют резкие колебания стрелки манометра при работе насоса, создающего давление в системе,



## Теоретическая часть

Теплообменные аппараты предназначены для передачи тепла от греющей среды с более высокой температурой к нагреваемой среде с более низкой температурой, имеют широкое применение на предприятиях химической промышленности,

Эксплуатация теплообменных аппаратов осуществляется согласно инструкций завода-изготовителя по монтажу, испытанию и регламента действующего производства, а также правил по устройству и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением. Периодические испытания теплообменных аппаратов должны проводиться как с профилактическими целями, так и для выявления дефектов.

Наиболее ответственной операцией при выявлении работоспособности теплообменника является испытание его на прочность и плотность. Ниже приводятся схема (рис. 3.1) и методика проведения гидравлического испытания межтрубного пространства теплообменника.

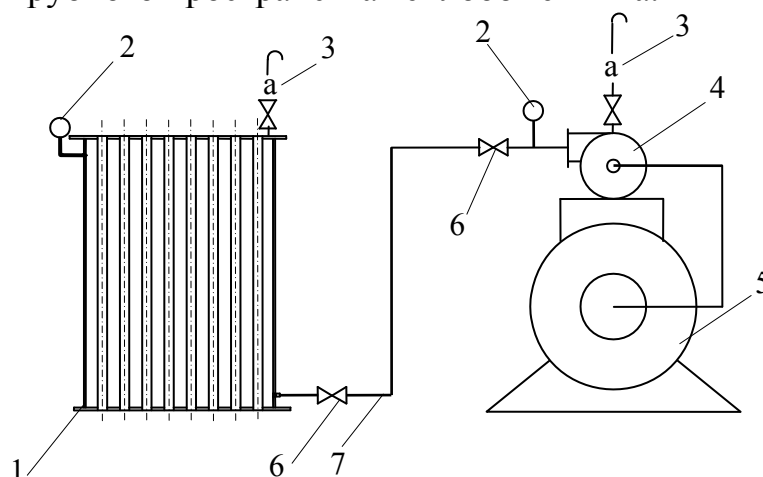


Рис.3.1. Установка для гидравлического испытания теплообменника, 1-теплообменник; 2-манометр; 3-воздушник; 4-насос; 5-ресивер; 6-кран; 7-шланг

Выполнение работы предшествуют подготовительные операции: изучение технической документации и инструкции по технике безопасности.

Затем осматривается корпус теплообменника, места сварки трубок к трубной решетке. На корпусе теплообменника не должно быть выпучин, вмятин, трещин, прогаров. Места сварки трубок к трубным решеткам должны быть без каких-либо деформаций и повреждений сварных швов.

После наружного осмотра, теплообменники подвергаются гидравлическому испытанию. Сначала проверяется плотность сварного (вальцовочного) соединения труб с трубными решетками и исправность самих трубок. Для этого снимают крышки аппарата, открывают воздушник (3), а через подводящий трубопровод (7) и кран (6) с помощью насоса (5) в межтрубное пространство (1) подают жидкость до появления её в воздушнике. Затем воздушник закрывают и поднимают давление жидкости с помощью насоса до давления испытания (контроль ведется по манометру 2). При этом если рабочее давление менее 0,5 МПа, то давление испытания равно 1,5 от рабочего. Если рабочее давление более 5 МПа, то давление испытания равно 1,25 от рабочего.

**Если стрелка манометра при работе насоса колеблется, (что свидетельствует о наличии воздуха в системе,) испытание прекратить! Затем открыть воздушник и выпустить воздух из системы!**

После пятиминутной выдержки давление снижают до рабочего, сварные швы и решетки подвергают тщательному осмотру. Появление жидкости при испытании в какой-либо из трубок означает, что именно эта трубка имеет трещину и в нее из корпуса поступает жидкость. Если количество таких дефектных трубок не превышает 10 % от общего числа, то их заглушают, коническими металлическими пробками и заваривают с обеих концов.

В последствии при первой возможности эти трубки заменяются. В тех случаях, когда число дефектных трубок превышает 10 % от их общего числа, эти трубки обязательно заменяют.

По окончании испытания давление сбрасывают до атмосферного, жидкость сливают (воздушник при этом открыт).

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

1. Сформулируйте цели выполнения данной работы.
2. С какой целью изучается техническая документация на испытуемое оборудование?
3. От каких факторов зависят режимы испытания теплообменника?
4. Какие устройства, инструменты и приборы используются при гидравлическом испытании кожухотрубчатого теплообменника?
5. С какой целью производится гидравлическое испытание аппаратов?
6. Что включает в себя гидравлическое испытание кожухотрубчатого теплообменника?

### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- Изучить методические указания по выполнению лабораторной работы и инструкцию по технике безопасности.
- Произвести внешний осмотр установки.
- Рассчитать давление испытания.

- Проверить исправность манометра (пломбу манометра).
- Заполнить теплообменник жидкостью для испытания.
- Насосом создать соответствующее давление испытания и выдержать пять минут.
- Сбросить давление до рабочего и определить наличие или отсутствие дефектных труб.
- Сбросить давление до атмосферного.
- Слить жидкость из теплообменника при открытом воздушнике.
- Записать в протокол результаты испытания и необходимые рекомендации по ремонту теплообменника.

### ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕПЛООБМЕННИКА

1. Поверхность теплообмена составляет 1,5 м<sup>2</sup>.
2. Число труб-26.
3. Трубы в трубной доске крепятся сваркой.
4. Рабочее давление 0,2 МПа.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Сформулируйте цель данной работы.
2. Каким способом крепятся трубы в трубной доске?
3. Как рассчитать давление при гидравлическом испытании?
4. Что свидетельствует о наличии воздуха в системе при гидравлическом испытании?
5. Можно ли проводить гидравлические испытания, если присутствует воздух в системе?

### Список литературы

1. Павлов, А.И. Надежность, диагностика и защита гидроприводов транспортно-технологических машин : монография / А.И. Павлов, А.А. Тарбеев, С.Л. Вдовин ; под общ. ред. А.И. Павлова ; Поволжский государственный технологический университет. – Йошкар-Ола : Поволжский государственный технологический университет, 2017. – 376 с.: ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=477394> (дата обращения: 08.04.2020). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-8158-1853-8. – Текст : электронный.
2. Кантюков, Р.Р. Основы диагностического обследования газоперекачивающих агрегатов компрессорных станций : учебное пособие / Р.Р. Кантюков, И.Р. Сагбиев, Р.Х. Саяхов ; Министерство образования и науки России, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет». – Казань : Казанский научно-исследовательский технологический университет (КНИТУ), 2018. – 88 с. : ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=501185> (дата обращения: 08.04.2020). – Библиогр.: с. 86. – ISBN 978-5-7882-2377-3. – Текст : электронный.

## Лабораторная работа №5 ДЕФЕКТАЦИЯ ДЕТАЛЕЙ

Цель работы - приобретение навыков проведения дефектации.

**Оборудование и материалы:** лабораторное оборудование: комплект учебно-лабораторного оборудования «Метрология Технические измерения линейных величин», гладкий микрометр МК 25, гладкий микрометр МК 50, штангенциркуль со встроенным глубиномером ШЦ-1-250, штангенциркуль с цифровым индикатором ШЦЦ-1-150, набор образцов для дектовки.

Формируемые компетенции:

ОПК-5 способностью выбирать оптимальные решения при создании продукции с учетом требований качества, надежности и стоимости, а также сроков исполнения, безопасности жизнедеятельности и экологической чистоты производства

ПК-16 способностью изучать и анализировать необходимую информацию, технические данные, показатели и результаты работы, систематизировать их и обобщать

### Указания по технике безопасности

1. Перед началом работы студент должен осмотреть свою одежду: манжеты рукавов должны быть застегнуты или завязаны, концы завязок аккуратно убраны, волосы спрятаны под головной убор.
2. Прежде чем приступить к выполнению той или иной работы, студент должен изучить оборудование. Следует внимательно следить за показаниями приборов и не допускать работу оборудования при показаниях приборов, превышающих нормальные значения.
3. К работе на лабораторном оборудовании приступать только с разрешения преподавателя или лаборанта. Запрещается работа на неисправном оборудовании.
4. При работе на станках и стендах нельзя наклонять голову близко к вращающимся частям. Не рекомендуется стоять против вращающихся частей. Нельзя останавливать вращающиеся части руками.
5. Работы, сопровождающиеся выделением вредных веществ, необходимо выполнять при включенной вытяжной вентиляции.
6. При выполнении отдельных работ необходимо пользоваться соответствующей спецодеждой: халатами, фартуками, перчатками, очками и др.
7. Во всех случаях получения травм, ожогов, отравлений пострадавшему необходимо оказать первую помощь и немедленно направить его в медицинское учреждение.

### Теоретическая часть

Дефектация – это операция, которая выявляет состояние деталей и обеспечивает в дальнейшем качественное проведение ремонтов. Дефектацию условно можно отнести к визуальным методам контроля. Проводится трехступенчатая дефектация с составлением в итоге ведомости дефектов схем и эскизов дефектной детали. Предварительная дефектация (1 ступень) осуществляется до остановки оборудования на ремонт. Поузловая (2 ступень) и поддетальная (3 ступень) дефектации осуществляется после разборки оборудования на ремонт.

При дефектации деталей проводится измерение размеров детали и определение отклонений от первоначальной геометрической формы. При подетальной дефектации определяется возможность повторного использования деталей и характер требуемого ремонта. Проводится сортировка деталей на группы:

- 2 Детали, имеющие износ в пределах допуска.
- 3 Детали, имеющие износ выше допуска, но пригодные для ремонта.
- 4 Детали, имеющие износ выше допуска и непригодные к ремонту.

Подетальная дефектация осуществляется следующими методами: внешний осмотр, магнитная и ультразвуковая дефектоскопия, рентгеноскопия и др.

Внешний осмотр позволяет выявить видимые пороки деталей и завершается обмером с помощью измерительного инструмента. Мелкие трещины выявляются методом цветной или люминесцентной дефектоскопии. Методы цветной и люминесцентной дефектоскопии позволяют выявить поверхностные дефекты шириной 0,01 мм и глубиной  $0,02 \div 0,03$  мм.

Магнитная, ультразвуковая дефектоскопия и рентгеновские способы контроля используются, когда возникают подозрения о наличии дефектов, не обнаруживаемых визуальными методами, или если они предусмотрены правилами ремонта.

После проведения подетальной дефектации составляется ведомость дефектов (рис.4.1), в которой отмечается характер повреждения, или износа деталей, объем необходимого ремонта с указанием вновь изготавливаемых деталей.

Предприятие \_\_\_\_\_  
Цех \_\_\_\_\_

Утверждаю  
Главный инженер

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_

**ВЕДОМОСТЬ ДЕФЕКТОВ**  
на капитальный (текущий ремонт) \_\_\_\_\_

(наименование машины, аппарата), Инв. № \_\_\_\_\_

№ п.п	Наименование узлов деталей	Номер чертежа	Количество, шт	Характеристика дефекта	Размеры, мм				Рекомендуемый способ восстановления	Необходимые материалы		Исполнитель, разряд работы	Примечания
					Номинальные	Допустимые	Предельно допустимый размер	Ремонтный		Наименование	Количество		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

Начальник цеха \_\_\_\_\_  
Механик цеха \_\_\_\_\_

Начальник (ст. инж.)  
бюро ППР \_\_\_\_\_

Рис. 4.1 Ведомость дефектов

Рекомендуемый способ восстановления детали должен быть наиболее простым, экономичным, апробированным на практике и отвечать возможностям ремонтных служб. Восстановление деталей применяется при отсутствии запасных частей. Экономичность восстановления заключается в том, что оно может быть дешевле, чем изготовление новой детали. Стоимость восстановления обычно составляет 5÷25 % стоимости изготовления новой детали.

Выбор способа восстановления определяется величиной и характером износа, необходимой термообработкой, конструктивными особенностями, размерами и характером нагрузок, действующих на деталь.

Возможны следующие способы восстановления деталей. Повреждения целостности деталей исправляется с помощью сварки и накладок. Геометрическая форма и размеры деталей восстанавливаются с помощью наплавки, металлизации, электролитического наращивания металла, а также методом пластических деформаций и правкой, обработкой детали на ремонтные размеры, восстановление пластмассами.

### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 1.Получить от лаборанта или преподавателя деталь и необходимые инструменты для проведения дефектации.
- 2.Сделать эскиз детали.
- 3.Произвести необходимые замеры с целью выяснения дефектов.
- 4.Заполнить ведомость дефектов.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1.Цели и сущность операции дефектации?
- 2.Этапы дефектации и их содержание?
- 3.На какие группы подразделяют детали по результатам дефектации?
- 4.Какие сведения содержит дефектная ведомость?

### Список литературы

1. Павлов, А.И. Надежность, диагностика и защита гидроприводов транспортно-технологических машин : монография / А.И. Павлов, А.А. Тарбеев, С.Л. Вдовин ; под общ. ред. А.И. Павлова ; Поволжский государственный технологический университет. – Йошкар-Ола : Поволжский государственный технологический университет, 2017. – 376 с.: ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=477394> (дата обращения: 08.04.2020). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-8158-1853-8. – Текст : электронный.
2. Кантюков, Р.Р. Основы диагностического обследования газоперекачивающих агрегатов компрессорных станций : учебное пособие / Р.Р. Кантюков, И.Р. Сагбиев, Р.Х. Салыхов ; Министерство образования и науки России, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет». – Казань : Казанский научно-исследовательский технологический университет (КНИТУ), 2018. – 88 с. : ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=501185> (дата обращения: 08.04.2020). – Библиогр.: с. 86. – ISBN 978-5-7882-2377-3. – Текст : электронный.

## ДИАГНОСТИКА ВРАЩАЮЩИХСЯ ДЕТАЛЕЙ

Цель работы - закрепление теоретических знаний и приобретение практических навыков статической балансировки.

**Оборудование и материалы:** приспособление для статической балансировки, набор образцов для балансировки, комплект корректирующих грузов.

Формируемые компетенции:

ОПК-5 способностью выбирать оптимальные решения при создании продукции с учетом требований качества, надежности и стоимости, а также сроков исполнения, безопасности жизнедеятельности и экологической чистоты производства

ПК-16 способностью изучать и анализировать необходимую информацию, технические данные, показатели и результаты работы, систематизировать их и обобщать

### Указания по технике безопасности

1. Перед началом работы студент должен осмотреть свою одежду: манжеты рукавов должны быть застегнуты или завязаны, концы завязок аккуратно убраны, волосы спрятаны под головной убор.
2. Прежде чем приступить к выполнению той или иной работы, студент должен изучить оборудование. Следует внимательно следить за показаниями приборов и не допускать работу оборудования при показаниях приборов, превышающих нормальные значения.
3. К работе на лабораторном оборудовании приступать только с разрешения преподавателя или лаборанта. Запрещается работа на неисправном оборудовании.
4. При работе на станках и стендах нельзя наклонять голову близко к вращающимся частям. Не рекомендуется стоять против вращающихся частей. Нельзя останавливать вращающиеся части руками.
5. Работы, сопровождающиеся выделением вредных веществ, необходимо выполнять при включенной вытяжной вентиляции.
6. При выполнении отдельных работ необходимо пользоваться соответствующей спецодеждой: халатами, фартуками, перчатками, очками и др.
7. Во всех случаях получения травм, ожогов, отравлений пострадавшему необходимо оказать первую помощь и немедленно направить его в медицинское учреждение.

## Теоретическая часть

Балансировка-обеспечение нормальной работоспособности оборудования ремонтом вращающихся деталей. При этом восстанавливается статическая или динамическая уравновешенность деталей, утраченная в результате износа или после ремонтных операций предшествующих балансировке. Вращение неуравновешенной массы детали приводит к появлению центробежных сил, которые вызывают вибрацию машины и нежелательные последствия.

Появление неуравновешенных сил инерции во время работы машины вызывает добавочные давления на опоры вращающегося ротора, что в свою очередь, может привести к выдавливанию смазки в подшипниках и явиться причиной ускоренного износа валов и самих подшипников. Кроме того, неуравновешенные силы и момент сил инерции в связи с их знакопеременностью вызывают колебания машины и фундамента, раскрашивание отдельных соединений, появление остаточных деформаций и даже поломку узлов машин.

Для предотвращения этих явлений с целью повышения долговечности и надежности машин необходимо производить проверочную балансировку как отдельных деталей после их обработки, так и окончательно собранных вращающихся узлов и роторов.

Необходимо учитывать, что неуравновешенность роторов вызывается следующими причинами: 1) дефектами изготовления отдельных деталей, из которых собран ротор; 2) неравномерным распределением материала в объеме детали (газовые раковины, шлаковые включения и т.п.); 3) неточной посадкой вращающихся частей ротора на вал или их смещение вследствие



деформации и т.д. Возможна неуравновешенность двух типов: *статическая*, проявляющаяся в смещении центра тяжести детали по её диаметру  $D$  и появлении центробежной силы, что характерно для «тонких дисков» и *динамическая*, для деталей (узлов), имеющих значительную длину  $L$  в осевом направлении, в которых неуравновешенные силы возникают в различных сечениях.

Первым фактором, отделяющим границы использования статической или динамической балансировки, является относительная длина детали  $L/D$ , вторым – частота вращения  $n$ . На рис. 5.1 представлен график, служащий для определения границ динамической и статической балансировок.

Промежуточная область II может быть зоной как статической, так и динамической балансировки. Для неответственных деталей в промежуточной области применяется статическая балансировка, а для ответственных – динамическая.

*Задачей балансировки* является подбор необходимых по массе противовесов с целью ликвидации или уменьшения до допускаемой величины динамических давлений на опоры ротора. При этом в случае статической балансировки добиваются выполнения условий, чтобы сумма сил, включая силу инерции противовеса, была равна нулю.

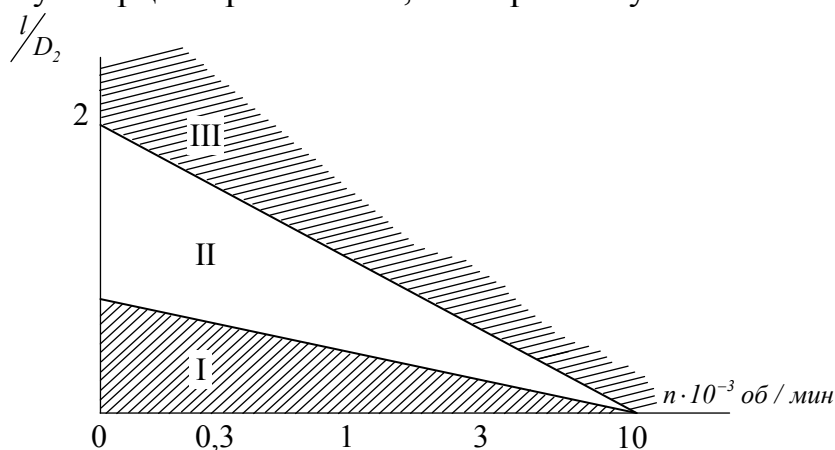


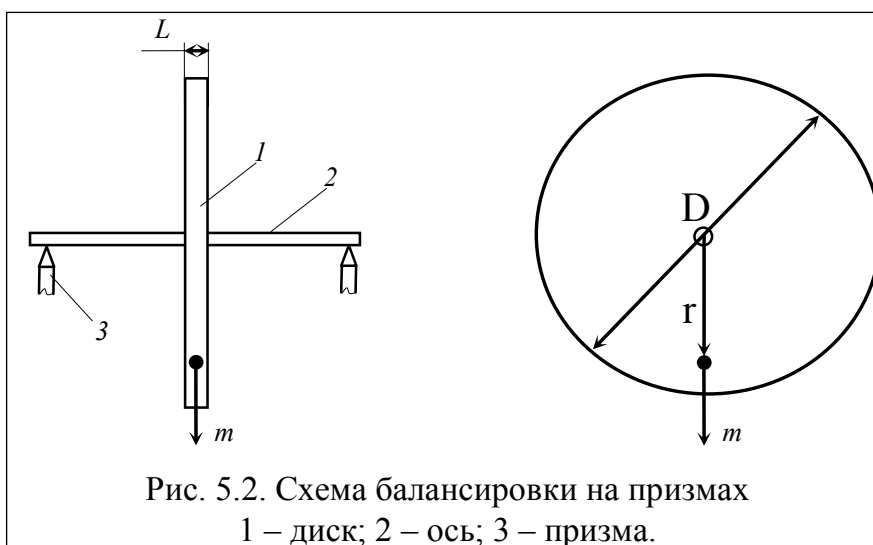
Рис. 5.1 Области статической и динамической балансировки:  
 I – область статической балансировки; II – промежуточная область;  
 III – область динамической балансировки.

Динамическую балансировку проводят на специальных станках.

Целью данной работы является практическое изучение статической балансировки. Статическую балансировку следует выполнять на горизонтальных параллелях (призмах) или на балансировочных установках, снабженных дисками (роликами).

При балансировке на горизонтальных параллелях (призмах) диск требуется плотно насадить на ось, концы которой следует установить свободно на две параллельные и горизонтально расположенные призмы (рис.5.2).

Призмы 3 имеют достаточную длину, позволяющую перекатывать по



ним балансируемую деталь на  $2\div 3$  полных оборота.

Погрешность установки призм в продольном и горизонтальном направлениях не должна превышать 0,02 мм на длине 1000 мм. Ширина шлифовальной рабочей поверхности призм (ножей): равна

0,3 мм для деталей массой до 3 кг ; 3 мм для деталей массой до 30 кг и 10 мм для деталей массой до 3000 кг.

Установленному на призме ротору требуется придать небольшое вращение. Под действием момента от сил тяжести, неуравновешенный ротор стремится в такое положение, когда его центр окажется снизу геометрической оси. При балансировке с противоположной стороны, то есть сверху оси ротора, необходимо добавить груз, который крепят клеящим материалом (воском, пластилином) на соответствующем расстоянии от оси. Изменяя расстояние вдоль радиуса детали или величину грузика, следует добиться безразличного равновесия ротора, характеризующего произвольной остановкой его на горизонтальных параллелях.

Подобрав радиус при постоянной массе грузика или грузик при постоянном радиусе, заканчивают балансировку фиксацией грузика путем пайки, сварки или какого-либо разъёмного соединения.

Часто по конструктивным соображениям не целесообразно устанавливать противовес, а выгоднее осуществлять балансировку за счет снятия части материала (обычно путем сверления) с утяжеленной части ротора, т.е. на радиусе, проходящем через центр масс неуравновешенного ротора. Количество снимаемого материала при сквозном сверлении диска ротора, определяется диаметром сверла.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 1.Подготовить установку к работе, проверив по уровню горизонтальность призм.
- 2.Подобрать массу корректирующего грузика ( $m$ ) и место расположения его на балансируемой детали ( $r$ ).
- 3.Оформить протокол испытаний.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В каких случаях возникает необходимость балансировки вращающихся деталей?
2. Когда применяется тот или иной вид балансировки?
3. Какой вид балансировки предпочтительнее делать в промежуточной области?
4. Какими способами устраняется дебаланс детали?
5. Перечислите известные Вам способы балансировки?

### Список литературы

1. Павлов, А.И. Надежность, диагностика и защита гидроприводов транспортно-технологических машин : монография / А.И. Павлов, А.А. Тарбеев, С.Л. Вдовин ; под общ. ред. А.И. Павлова ; Поволжский государственный технологический университет. – Йошкар-Ола : Поволжский государственный технологический университет, 2017. – 376 с.: ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=477394> (дата обращения: 08.04.2020). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-8158-1853-8. – Текст : электронный.
2. Кантюков, Р.Р. Основы диагностического обследования газоперекачивающих агрегатов компрессорных станций : учебное пособие / Р.Р. Кантюков, И.Р. Сагбиев, Р.Х. Саяхов ; Министерство образования и науки России, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет». – Казань : Казанский научно-исследовательский технологический университет (КНИТУ), 2018. – 88 с. : ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=501185> (дата обращения: 08.04.2020). – Библиогр.: с. 86. – ISBN 978-5-7882-2377-3. – Текст : электронный.