

**ФГБОУ ВПО ТАМБОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

Кормильцин Г.С., Воробьев А.М., Промтов М.А

**ДИАГНОСТИКА И ТЕХНИЧЕСКОЕ
ОБСЛУЖИВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
ОБОРУДОВАНИЯ**

Электронное учебное пособие

Издательство ТГТУ

Тамбов 2013

УДК 66.02/08.002.72

ББК Л11-5-08я73

К66

Рекомендовано методическим советом университета

Рецензенты

д.т.н., профессор, зав.кафедрой компьютерного и математического моделирования ТГУ им.Г.Р. Державина Арзамасцев А.А.

к.т.н., доцент кафедры «Техника и технология нанопродуктов» ТГТУ Михалева З.А.

Кормильцин Г.С., Воробьев А.М., Промтов М.А.

К66

Кормильцин Г.С. Диагностика технологического оборудования: учебное пособие/ Кормильцин Г.С., Воробьев А.М., Промтов М.А. -Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2012___-100 экз.- ISBN 978-5-8265-0668-4.

Учебное пособие составлено для закрепления теоретических знаний и приобретения практических навыков при диагностике и обслуживании технологического оборудования в соответствии с учебными программами по специальностям 280102 «Безопасность технологических процессов и производств» и включает теоретический материал, методические указания по лабораторным работам и практическим занятиям.

Предназначено для магистрантов, студентов дневной и заочной форм обучения.

ISBN 978-5-8265-0668-4. © ФГБОУ ВПО Тамбовский государственный технический университет (ТГТУ), 2012

СОДЕРЖАНИЕ

1. ОСНОВЫ ДИАГНОСТИКИ ОБОРУДОВАНИЯ.....	3
1.1 ВИЗУАЛЬНО-ОПТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ. Основные понятия.....	4
1.1.1 Основные приборы визуально-оптического контроля.....	7
1.1.2 Организация визуально-оптического контроля.....	12
1.2 РАДИАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ...	18.
1.2.1 Физические основы радиационных методов контроля.....	19
1.2.2 Основные характеристики ионизирующих излучений.....	20
1.2.3 Оборудование для радиационных методов контроля.....	22
1.2.4 Детектирование при радиационном контроле.....	25
1.2.5 Радиационная безопасность.....	27
1.3 АКУСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ.....	29
1.3.1 Излучение и прием ультразвука.....	31
1.3.2 Методы ультразвуковой дефектоскопии.....	35
1.3.3 Аппаратура и порядок проведения ультразвукового контроля.....	37
1.4 МАГНИТНЫЕ МЕТОДЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ.....	40
1.4.1 Магнитопорошковый метод.....	41
1.4.2 Магнитографический метод.....	42
1.5 КАПИЛЛЯРНЫЕ МЕТОДЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ.....	43
1.6 ВЫБОР МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ ОБОРУДОВАНИЯ.....	44
2.РЕМОНТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ.....	46
2.1ОРГАНИЗАЦИЯ РЕМОНТНОЙ СЛУЖБЫ ПРЕДПРИЯТИЯ.....	46
2.2СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА.....	47
2.2.1Виды обслуживания и ремонтов.....	49
2.2.2 Заготовка запасных частей.....	51
2.3 ИЗНОС ДЕТАЛЕЙ И БОРЬБА С НИМ.....	51
2.3.1 Способы восстановления деталей.....	52
2.4 ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ.....	53
2.5 ПОДГОТОВКА ОБОРУДОВАНИЯ К РЕМОНТУ.....	53
2.6 РЕМОНТ ОБОРУДОВАНИЯ ЕМКОСТНОГО ТИПА	55
2.6.1 Ремонт корпуса аппарата	55
2.6.2 Ремонт змеевиков.....	56
2.6.3 Ремонт мешалок.....	57
2.7 РЕМОНТ КОЖУХОТРУБЧАТЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ.....	57
2.7.1 Ремонт крепления труб.....	57
2.7.2 Повреждения и ремонт трубной доски.....	58
2.8 РЕМОНТ РЕКТИФИКАЦИОННЫХ КОЛОНН.....	58
2.9 РЕМОНТ КОМПРЕССОРОВ.....	59
2.10 РЕМОНТ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ.....	60
Методические указания по выполнению лабораторных работ.....	63
Методические указания по выполнению практических занятий.....	89

1. ОСНОВЫ ДИАГНОСТИКИ ОБОРУДОВАНИЯ

История развития техники и общества показывает, что оценка результатов создания промышленных объектов менялась [1]. В начале от создателей технических устройств требовалось обеспечение абсолютной эффективности от объекта, затем относительной, удельной и, наконец, экономической. Такие принципы приводили к негативным последствиям: тяжелые условия труда, аварии, напряженность в обществе, необратимые изменения в окружающей среде. Поэтому при создании технического объекта и его эксплуатации необходимо ориентироваться на гуманитарную эффективность. Это особенно важно при разработке и эксплуатации опасных промышленных объектов.

Предприятия независимо от их организационно-правовых норм и форм собственности, эксплуатирующие опасные производственные объекты, в своей деятельности должны руководствоваться Федеральными законами и нормативными положениями, которые и направлены на предупреждение аварий и локализацию их последствий при создании и эксплуатации опасных производственных объектов. В связи с этим, в первую очередь, необходимо отметить Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» № 116-ФЗ от 21.07.1997 года и «Общие правила промышленной безопасности для организаций, осуществляющих деятельность в области промышленной безопасности опасных производственных объектов» ПБ 03-517-02. Эти правила должны соблюдаться при проектировании, строительстве, эксплуатации, расширении, реконструкции, техническом перевооружении, консервации и ликвидации опасных производственных объектов, а также при изготовлении, монтаже, наладке, обслуживании, экспертизе и ремонте технических устройств, применяемых на опасных производственных объектах.

Опасными производственными объектами являются предприятия или их цехи, участки и площадки, признаки которых указаны в приложении к Федеральному закону № 116-ФЗ. В соответствии с этим приложением большинство отраслей промышленности и технологического оборудования относятся к опасным производственным объектам. В частности к опасным производственным объектам относятся и химические производства.

Безопасная эксплуатация производственных объектов обеспечивается всесторонней технической экспертизой, диагностированием состояния оборудования этих объектов. На основе полученных данных при диагностировании технических объектов и принимаются решения о необходимости проведения ремонта оборудования и способах восстановления его работоспособности. Эти мероприятия могут быть реализованы высококвалифицированными инженерными кадрами.

В последние десятилетия техногенные катастрофы и аварии в нашей стране и за рубежом, повлекшие большие человеческие жертвы, заставили резко изменить отношение к проблеме безопасности населения и окружающей среды.

Как отмечается в работе [2] «Основные причины роста числа аварий и катастроф: критический уровень износа оборудования, нарушение производственной и технологической дисциплины, ослабление государственных органов контроля и управления, а также недостаточный уровень правовой и экологической культуры». В цитируемой работе отмечается далее, что для повышения уровня безопасности производственных объектов требуется дополнительное увеличение расходов и необходимо решать оптимально задачу этого повышения, при котором производство остается рентабельным.

Обеспечение безопасности производств реализуется через контроль технического состояния (диагностику) технологического оборудования и отдельных узлов его. Естественно, что при поиске дефектов в оборудовании предпочтение отдается неразрушающим методам контроля и диагностики. Использование различных методов диагностирования оборудования должно предусматриваться на стадии проектирования, изготовления и эксплуатации его. Если на стадии проектирования разработчик нового оборудования не знает основ методов неразрушающего контроля и диагностики, то оборудование может оказаться контроленепригодным, с избыточным весом и неопределенными показателями надежности. Это приводит к сокращению срока службы оборудования и трудностям при эксплуатации и ремонте его.

Для оценки технического состояния оборудования используются все виды проникающих физических полей, излучений и веществ (магнитных, радиационных, рентгеновских, акустических и других) для реализации неразрушающих методов контроля и диагностики.

В данном учебном пособии рассматриваются методы неразрушающего контроля и диагностики, наиболее широко применяемые в химической промышленности.

На основе полученных данных при диагностировании технических объектов и принимаются решения о необходимости проведения ремонта оборудования и способах восстановления его работоспособности. Эти мероприятия могут быть реализованы высококвалифицированными инженерными кадрами.

Настоящее учебное пособие поможет студентам технических вузов изучить основы диагностики и ремонта технологического оборудования опасных производственных объектов. Для интенсификации процесса изучения этих основ к пособию прилагается мультимедийный комплекс на компакт-диске.

1.1 ВИЗУАЛЬНО-ОПТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ.

Основные понятия.

Неразрушающие методы контроля подразделяются на девять [2]: оптические, магнитные, электрические, вихретоковые, радиоволновые, тепловые, радиационные, акустические и проникающих веществ.

Для получения достоверной информации о состоянии диагностируемого объекта используют несколько методов неразрушающего контроля. В программе, по которой проводят диагностирование аппарата или машины, визуально-оптический контроль стоит обычно первым пунктом. Этот контроль основан на анализе взаимодействия оптического излучения с объектом контроля и главным

контролируемым прибором. Если дефекты оборудования определяются только с помощью глаз человека, то имеет место визуальный контроль, при котором можно определять остаточную деформацию, поверхностную пористость, крупные трещины, риски, эрозионные и коррозионные поражения и т.п. Если человеческий глаз «вооружен» контрольными оптическими приборами, которые значительно расширяют пределы естественных возможностей зрения, то в данном случае имеет место визуально-оптический контроль оборудования.

Возможности человеческого глаза ограничены. Так разрешающая способность зрения, т.е. способность различать мелкие детали изображения зависит от яркости, контраста, цветности и времени наблюдения объекта контроля. Яркость-величина, характеризующая силу свечения объекта, измеряемую в канделах с помощью яркомеров. Контраст- свойство объекта выделяться на окружающем фоне из-за различия их оптических свойств. Эта величина максимальна в белом или желто-зеленом свете при яркости $0 \dots 100 \text{кд/м}^2$, высоком контрасте объекта ($k > 0.5$) и времени наблюдения $5 \dots 20$ с. Контрастность определяется по формуле:

$$k = (V_o - V_f) / (V_o + V_f),$$

где V_o и V_f - яркости объекта в областях дефекта и фона [2].

Относительно человеческого глаза важным для него является контрастная чувствительность, т.е. минимальная обнаруживаемая разность яркостей объекта и фона [3]:

$$k' = (V_o - V_f) / V_o$$

Обычно минимальное значение $k = 0.01$ при $V_o = 10 \dots 100 \text{кд/м}^2$. При $k > 0.5$ чувствительность считается большой, при $k > 0.5$ – большой, при $0.2 < k < 0.5$ – средней. Естественно, что восприятие контролируемого объекта наиболее отчетливо при максимальном контрасте фона и объекта.

Ограничена также и угловая разрешающая способность человеческого глаза, т.е. минимальный угол между деталями изображения, которые глаз различает. Этот угол равен $1'$ при расстоянии до объекта в 250 мм. Кроме того, возможности глаза ограничены при осмотре удаленных объектов, находящихся в условиях малой освещенности, а также быстроперемещающихся объектов. Даже при осмотре предметов, находящихся в покое на расстоянии наилучшего зрения (250мм) при нормальной освещенности, человек испытывает трудности из-за ограниченной разрешающей способности и контрастной чувствительности глаза.

Под цветовым контрастом понимают меру различия цветов по их цветовому тону, насыщенности и яркости. Человеческий глаз способен различать большое число цветовых оттенков. Эта способность широко используется в колориметрических системах оптического неразрушающего контроля. Метод количественной оценки цветов имеет в своей основе гипотезу о наличии в глазе трех типов рецепторов, имеющих различную спектральную чувствительность. Для проверки дефектоскопистов на остроту цветового зрения выпускают

специальные атласы цветов, состоящие их набора пластинок разного цвета с известными координатами цвета [2].

На практике различают последовательный и одновременный контраст. Контраст последовательный характеризует изменение визуальной оценки объекта в зависимости от того, какой свет ранее действовал на тот же участок сетчатки глаза. Фактор последовательного контраста должен учитываться при выборе цвета окраски помещений и поверхности столов, на которых проводится визуально-оптический контроль узлов и деталей оборудования.

Контраст одновременный характеризует различные излучения нескольких видимых объектов, которые кажутся контролеру находящимися в соприкосновении. Эта способность глаза различать объекты наблюдения называется контрастной чувствительностью зрения. Контрасты разделяются на яркостные и цветовые. Мерой яркостного контраста принимают отношение приведенное выше для k' .

Важной характеристикой яркостного контраста является его пороговое значение, т.е. предельно малая величина контраста, которую контролер ещё способен различать. Среднее значение порога контрастной чувствительности для большинства людей составляет 0.01...0.02 при контроле в дневных условиях. При обнаружении мелких на поверхности деталей оборудования пороговый контраст составляет 0.05 и более, что объясняется малой яркостью дефектов и небольшими угловыми размерами их.

Следует помнить и ещё об одном свойстве глаза - поле зрения. Для обоих глаз оно 180 градусов по горизонту, но зона четкого зрения составляет около 2 градусов.

Разрешающая способность и острота зрения характеризуют возможности глаза видеть мелкие объекты и отдельно воспринимать близко расположенные друг к другу линии и точки. Острота зрения определяется величиной минимального углового размера объекта, воспринимаемого глазом при максимальном контрасте. Острота зрения зависит от освещенности объекта, состояния хрусталика глаза, продолжительности осмотра и т.д. Хрусталик глаза представляет собой двояковыпуклую линзу, которая и проецирует изображение на сетчатку глаза. Аккомодация глаза изменяет кривизну хрусталика и оптическую силу его, т.е. «наводит на резкость», обеспечивая оптимальную остроту зрения.

Следует отметить, что самая высокая острота зрения наблюдается при диаметре зрачка 3...4 мм, что соответствует общей освещенности 100...1000 лк. Если диаметр зрачка более 4 мм, то острота зрения снижается из-за погрешности оптики глаза. При диаметре зрачка менее 3 мм, что соответствует общей освещенности 2000...2500 лк, острота зрения падает из-за дифракции света. Поэтому при визуальном контроле объекта нет необходимости общую освещенность иметь более 2000 лк.

На остроту зрения также влияет иррадиация, т.е. кажущееся увеличение размеров светлых предметов на темном фоне. При нормальной освещенности это явление повышает остроту зрения, но снижает разрешающую способность глаза. Это приводит, например, к тому, что тонкая трещина при цветном контроле легко обнаруживается, но две параллельные трещины будут восприниматься как одна.

Острота зрения зависит также и от соотношения цветов контролируемого объекта и фона. Поэтому при цветной и люминесцентной дефектоскопии применяют соотношения : а) желтый – зеленый на темном фоне; б) красный - на белом.

Эффективность визуально- оптической дефектоскопии определяется совокупностью следующих факторов: оптическими характеристиками объекта контроля и внешней среды, качеством применяемых оптических приборов и опытом дефектоскопистов (операторов). Перечисленные факторы находятся в сложном взаимодействии и вместе составляют «диалектическое единство условий, влияющих на производительность контроля, его надежность и точность»[2].

Визуально – оптический контроль используется на различных стадиях изготовления оборудования, в процессе его эксплуатации и ремонта. Малая трудоемкость и простота контроля – основные преимущества этого метода. Но визуально – оптический контроль недостаточно высокой достоверностью и чувствительностью из-за субъективности операторов. Кроме того, с ростом кратности (увеличения) оптических приборов сокращается поле зрения и глубина резкости, а, следовательно, снижается производительность и надежность контроля. Поэтому для визуально – оптического контроля в основном применяют Оптические приборы увеличением не более $20...30^{\times}$ [3].

Эти факторы и определили области применения визуально – оптического метода:

- поиск поверхностных дефектов (эрозионных и коррозионных повреждений, трещин, открытых раковин, пор и др.);
- обнаружение мест разрушений элементов конструкций, остаточных деформаций, удаленных элементов объекта, загрязнений;
- определение типа и характера дефектов, обнаруженных другими методами дефектоскопии (ультразвуковым, цветным и др.).

1.1.1 Основные приборы визуально-оптического контроля

Требования, предъявляемые к приборам визуально – оптического контроля, определяются условиями их эксплуатации. Так приборы цехового назначения эксплуатируются обычно в диапазоне температур $+15...+20^{\circ}\text{C}$, практически при постоянной влажности и постоянных механических нагрузках. При диагностике оборудования, размещенного вне зданий диапазон температур широк $+55...-60^{\circ}\text{C}$. Приборы при этом часто подвергаются тряске в процессе транспортировки, вибрации, ударам.

При всех условиях эксплуатации оптические приборы должны обеспечивать работоспособность и заданный предел точности измерений. Кроме того, оптические приборы должны иметь:

- удобное расположение окуляров;
- малую массу и возможность быстрого перевода в рабочее состояние и обратно.

В общем случае функционирование приборов визуально – оптического контроля базируется на следующей структурной схеме: осветитель-приемник излучения - сканатор объекта – блок обработки сигнала и управления (микропроцессор, ПЭВМ и т.д.).

Эта схема может значительно упрощаться, например, в случае визуального и измерительного контроля: естественное освещение – простейший оптический прибор (лупа) – контролер.

В качестве искусственных источников света используют: газоразрядные, тепловые, люминесцентные и лазерные.

В газоразрядных источниках используется эффект свечения газов при электрическом разряде, яркость их составляет $10^6 \dots 10^8$ кд/м².

Наиболее употребимы при оптическом контроле тепловые источники света – лампы накаливания, яркость их составляет $10^5 \dots 10^7$ кд/м².

В люминесцентных источниках используется эффект электро - или катодолюминесценции. В качестве таких источников используют светодиоды и электронно – лучевые трубки. Яркость люминесцентных источников невелика и составляет $1 \dots 10^3$ кд/м².

В лазерном источнике используется эффект усиления света с помощью индуцированного излучения [4]. Это наиболее перспективный источник искусственного света. Мощность излучения лазеров колеблется от 0.1 мВт до 10 Вт. Лазерные источники позволяют создавать принципиально новые методы оптического неразрушающего контроля, например, голографические, акустооптические и др.

В качестве приемников излучения чаще всего используются квантовые фотоэлектрические приемники (фотодиоды, фоторезисторы). Для усиления яркости изображения используют электронно-оптические преобразователи с микроканальными пластинами.

В качестве сканаторов (дефлекторов излучения) объекта в настоящее время начинают применять электронно - оптические и голографические дефлекторы. Для обработки сигналов и управления всем визуально- оптическим комплексом используют ЭВМ.

Оптические приборы по виду приемника излучения условно делят на три группы [3]: визуальные, детекторные, и комбинированные. Если основным приемником лучистой энергии является глаз – это визуальные приборы. Если приемником лучистой энергии являются химические реагенты (фотоэмульсии), люминесцирующие вещества, электронные устройства, то это детекторные приборы. Если обзор объектов контроля осуществляют и визуально и с помощью детектора, то это комбинированные приборы [3].

К визуальной группе приборов относятся лупы, микроскопы, эндоскопы; а также измерительные приборы: штангенциркули, щупы, индикаторные толщиномеры, радиусные шаблоны, линейки, угломеры, уровни и т.д. Эти приборы и инструменты используют при проведении визуального и измерительного контроля оборудования [5].

Самым простым и удобным оптическим средством контроля является лупа. В дефектоскопии часто используют накладные (контактные) измерительные лупы,

например, ЛИЗ-10[×]. Они состоят из плоской стеклянной линейки (длиной 15мм и с ценой деления 0.1 мм), накладываемой на объект контроля.

Для обнаружения дефектов также используются обзорные телескопические лупы типа ТЛА, которые представляют собой призмный монокуляр с увеличением до 8[×] (в комплект входят сменные объективы, имеющие различное увеличение). Также в качестве обзорных луп используют бикулярные налобные лупы типа БЛ, которые предназначены для осмотра объектов контроля двумя глазами, что позволяет рассматривать эти объекты объемно в отличие от монокулярных луп. Некоторые бикулярные лупы снабжены осветителем, что позволяет проводить контроль в условиях плохой освещенности окружающей среды.

Для контроля деталей и их дефектов используют измерительные микроскопы. Они содержат набор измерительных шкал, расположенных в плоскости микрообъектива, что позволяет определять линейные размеры дефектов с точностью 0.5...1 мкм при увеличении 10[×] ...20[×]. Эти данные приведены для микроскопа типа МОВ- 15[×]. Для микроскопов данного типа поле зрения составляет 1...20 мм. Часто используют микроскопы, которые оборудованы устройствами прецизионного перемещения объекта контроля в предметной плоскости микрообъектива с возможностью отчета координат. Такое устройство микроскопа расширяет диапазон измерений при сохранении высокой точности. Для данных микроскопов диапазон перемещения составляет 50...200 мм при погрешности отсчета в 1 мкм. Перспективными являются измерительные микроскопы, которые имеют также и устройства для замера вертикального перемещения микрообъектива. Это обеспечивает трехмерное измерение объекта контроля.

Для наблюдения прямого объемного изображения объекта в отраженном и проходящем свете служат микроскопы типа МБС, которые могут обеспечивать увеличение до 100[×] при постоянном рабочем расстоянии равном 100 мм.

Рассмотренные выше лупы и микроскопы предназначены для контроля расположенных близко объектов наблюдения. Для контроля удаленных объектов при необходимости используют оптические приборы прямого зрения: бинокли, телескопические зрительные трубы и т.д. Эти приборы предназначены для визуального контроля силовых элементов конструкций, дымовых труб, находящихся в пределах прямой видимости. Если объект контроля недоступен прямому наблюдению (скрыт близлежащими элементами), то применяют перископические дефектоскопы. Перечисленные оптические приборы для контроля удаленных объектов дают увеличение до 30[×]. Для обеспечения большого поля зрения, с целью определения относительного расположения нескольких объектов, используют оптические приборы, которые дают уменьшенное изображение от 0.5 до 0.1[×].

В процессе диагностирования технологического оборудования необходимо контролировать внутренние поверхности полых устройств, а также проводить осмотр труднодоступных мест деталей, трубопроводов и т.п. В этих случаях используют оптические приборы, которые называются эндоскопами и бороскопами.

В основе конструкции эндоскопа лежит оптическая система, которая позволяет передавать изображение участка осмотра на значительное расстояние (до нескольких метров). Эндоскопы подразделяются на линзовые, оптиковолоконные и комбинированные. Увеличение линзовых эндоскопов достигает $5\times$. Современные приборы такого типа позволяют не только размер дефекта, но и глубину его с точностью 0.02 мм.

Линзовый эндоскоп конструктивно выполнен в виде цилиндра, внутри которого находятся все элементы прибора. Схема линзового эндоскопа представлена на рисунке 1.1 и включает в себя эти элементы: источник света (1); призмную или зеркальную насадку(2), которая может изменять направление и размеры поля зрения; систему линз объектива (3); передающую систему линз (4); окуляр (5); сменную систему линз(6), которая может служить для увеличения рабочей длины эндоскопа или подключения телевизионной системы наблюдения (7). На схеме также изображен глаз наблюдателя (8) и объект контроля (9).

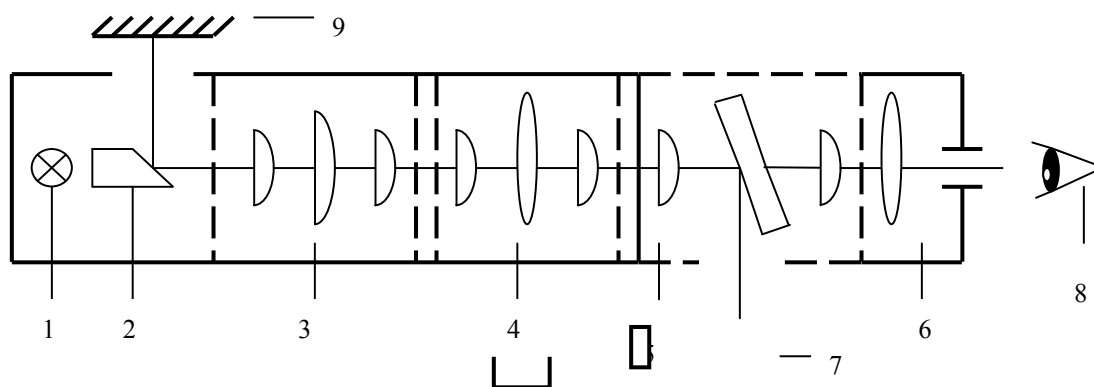


Рис.1.1 Схема линзового эндоскопа

Сменные призмные насадки (3) позволяют производить наблюдения с кольцевым полем обзора или с боковым направлением визирования. Прибор снабжен шкалой для определения места положения дефекта. Обычно эндоскопы имеют жесткую конструкцию, но есть приборы, которые имеют гибкие участки корпуса, изгибающиеся в пределах $5\dots 10^\circ$.

Линзовые эндоскопы предназначены для обнаружения трещин, царапин, выбоин и других дефектов размерами 0.03...0.08 мм в изделиях длиной до 10м и диаметром от 5 мм и более [2].

В последнее время широкое применение в технике находят эндоскопы на основе оптических волокон (рисунки 1.2 и 1.3). Элементарный световод представляет собой светопроводящую нить диаметром 10 – 20 мкм. Эта нить покрыта снаружи тонким слоем (1...2 мкм) материала, который имеет более низкий показатель преломления. Лучи света, падающие на открытый торец такого волокна, благодаря полному внутреннему отражению на границе раздела

световод – оболочка, будут проходить в итоге вдоль волокна до противоположного торца.

Число отражений при большой длине световода может достигать до 10^6 , что приводит к ослаблению сигнала. Для уменьшения этих потерь и для повышения контраста изображения некоторые типы волокон покрывают металлической оболочкой из алюминия, свинца или индия. Кроме того, ослабление светового сигнала можно уменьшить, используя волокна нового типа, в которых оболочка отсутствует, а показатель преломления плавно уменьшается от центра волокна к его периферии.

Основным элементом такого гибкого эндоскопа является жгут оптических волокон. На торцах жгута волокна склеиваются или крепятся между собой методом горячего прессования. Для подсветки объекта контроля используется жгут с беспорядочной укладкой волокон, а для передачи изображения объекта – с регулярной. Ниже приведена схема волоконно-оптического измерителя зазоров и смещений [2].

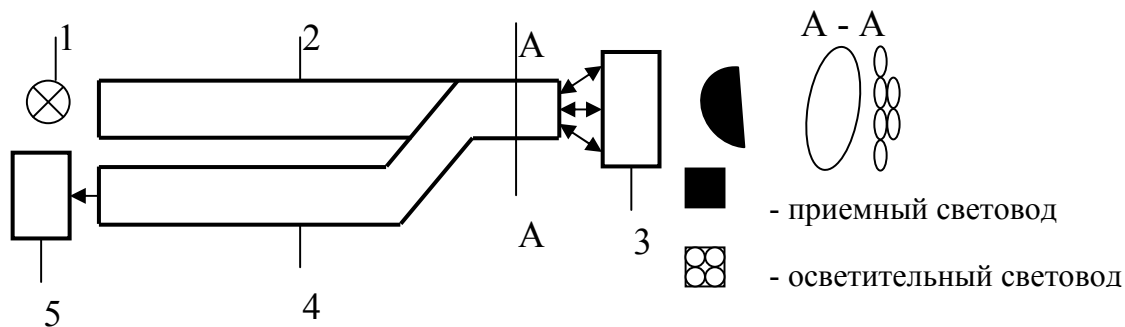


Рис.1. 2 Схема волоконно-оптического измерителя

1-источник света; 2-световод осветительный; 3- объект контроля;
4- световод приемный; 5-приемник изображения

Чтобы передать изображение контролируемого объекта используется жгут с упорядочной структурой, в которой число элементарных волокон может превышать 10^6 на 1 см^2 [2]. Следует отметить, что по качеству изображения волоконно-оптические эндоскопы уступают линзовым, но они позволяют передавать изображение без искажения при любом их изгибе. Другим преимуществом волоконно-оптических эндоскопов является то, что источник света находится вне зоны контроля объекта, а это исключает нагрев этой зоны. Схема гибкого волоконно-оптического эндоскопа показана на рисунке 1.3.

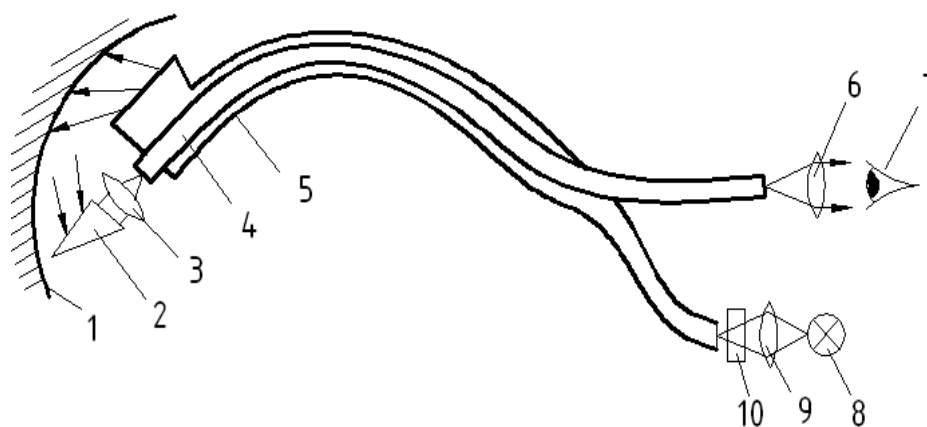


Рис.1.3 Схема гибкого эндоскопа [2].

1-объект контроля; 2-призма; 3-линза объектива; 4-световод изображения; 5-световод освещения; 6-окуляр; 7-система регистрации (глаз, фотокамера); 8- источник света; 9-линза; 10-тепловой фильтр.

Многие типы волоконно-оптических эндоскопов имеют механизмы дистанционной фокусировки объектива и изгиба передней части прибора.

1.1.2 Организация визуально-оптического контроля (на примере визуально- измерительного).

Диагностика технологического оборудования визуально-оптическим методом, как и другими методами, регламентируется нормативными инструкциями. Рассмотрим для примера основные положения и порядок проведения визуального и измерительного контроля материала и сварных швов согласно инструкции [5].

Следует отметить, что этот контроль осуществляется до выполнения до выполнения дефектации другими методами. Визуально- измерительный контроль проводится по программе, состав которой представлен также в инструкции [5].

Основной материал подвергается входному контролю с целью определения пригодности его, например, для ремонта корпуса емкостного аппарата. Затем визуальный и измерительный контроль проводят на всех последующих стадиях: изготовление элементов для ремонта корпуса, подготовка их к сборке и сварке, сварка, контроль сварных соединений, исправление дефектов в материале и сварных соединениях, оценка состояния материала и сварных соединений в процессе эксплуатации аппарата. На этой стадии могут быть обнаружены следующие дефекты: деформация поверхности, трещины, расслоения, риски, раковины и т.д.

Особенно при данном методе контроля сварных соединений проверяется зона, включающая в себя поверхность металла шва, а также примыкающие к нему участки материала в обе стороны от шва. Ширина этих участков 5...50 мм в зависимости от вида и условий сварки [5].

Выявленные дефекты должны быть устранены, но если они не препятствуют дальнейшему применению других методов контроля, то эти дефекты могут быть устранены после завершения контроля другими методами.

Выполнение визуального и измерительного контроля по возможности организуют на специальных участках, которые оборудованы для удобства выполнения работ столами, стендами, роликоопорами и т.п. Визуальный и измерительный контроль габаритного оборудования и сооружений осуществляется на месте их установки. При этом обеспечивается операторам удобный доступ к контролируемым местам: сооружают леса, подмости, люльки, передвижные вышки.

Освещенность контролируемых поверхностей должна быть не менее 500 лк. Для увеличения контрастности контролируемых объектов рекомендуют окраску стен, потолков, рабочих столов и стендов делать в светлых тонах: белых, голубых, желтых, светло-зеленых, светло-серых. Объект контроля должен рассматриваться под углом более 30° и с расстояния не далее 600 мм.

Подготовка контролируемых поверхностей заключается в следующем:

- эксплуатируемое оборудование после сброса давления в нем, прекращения работы, дренажа, охлаждения отключается от другого оборудования;
- покрытия (изоляция), которые препятствуют контролю материала и швов, снимаются в местах указанных в программе технического диагностирования;
- зона контроля подлежит зачистке от ржавчины, окалины, грязи, краски, масла, влаги и других загрязнений, препятствующих контролю.

Следует заметить, что ширина зачистки кромок деталей при сварке (дуговой, газовой и контактной) составляет не менее 20 мм с наружной стороны и не менее 10 мм с внутренней от кромок разделки деталей. При электрошлаковой сварке ширина зачисток не менее 50 мм с каждой стороны сварного соединения. Способы очистки контролируемой поверхности указаны в соответствующих нормативных документах. Чаще всего применяют при этом промывку, механическую зачистку, обдув сжатым воздухом, протирку. При зачистке толщина стенки контролируемого участка не должна уменьшаться за пределы минусовых допусков и не должны возникать при этом дефекты: риски, царапины и т.п. Зачищенные зоны должны иметь шероховатость не более Rz 80 [5].

При входном визуальном контроле элементов для сварки проводят освидетельствование: поверхностей наружных и внутренних (при возможности доступа); кромок элементов, подлежащих сварке; сварных соединений. Целью визуального контроля металла и сварных швов является выявление дефектов: коррозии, трещин, расслоений, вмятин, раковин, пор, западаний между валиками шва, шлаковых включений. Целью измерительного контроля является определение дефектов, выявленных при визуальном контроле. Сварные швы контролируются через каждый метр их длины и определяют следующие размеры:

- поверхностных дефектов (пор, трещин, включений и т. д.);
- ширины и высоты шва, а также выпуклости обратной стороны шва (в случае доступности);
- высоты углублений между валиками и чешуйчатости поверхности шва;
- длины и глубины подрезов основного металла;

- катета углового шва;
- переломов осей свариваемых цилиндрических элементов.

Эти размеры рекомендуют [5] измерять с помощью штангенциркуля и шаблона, согласно схемам, представленным на рисунке 1.4 (а...е).

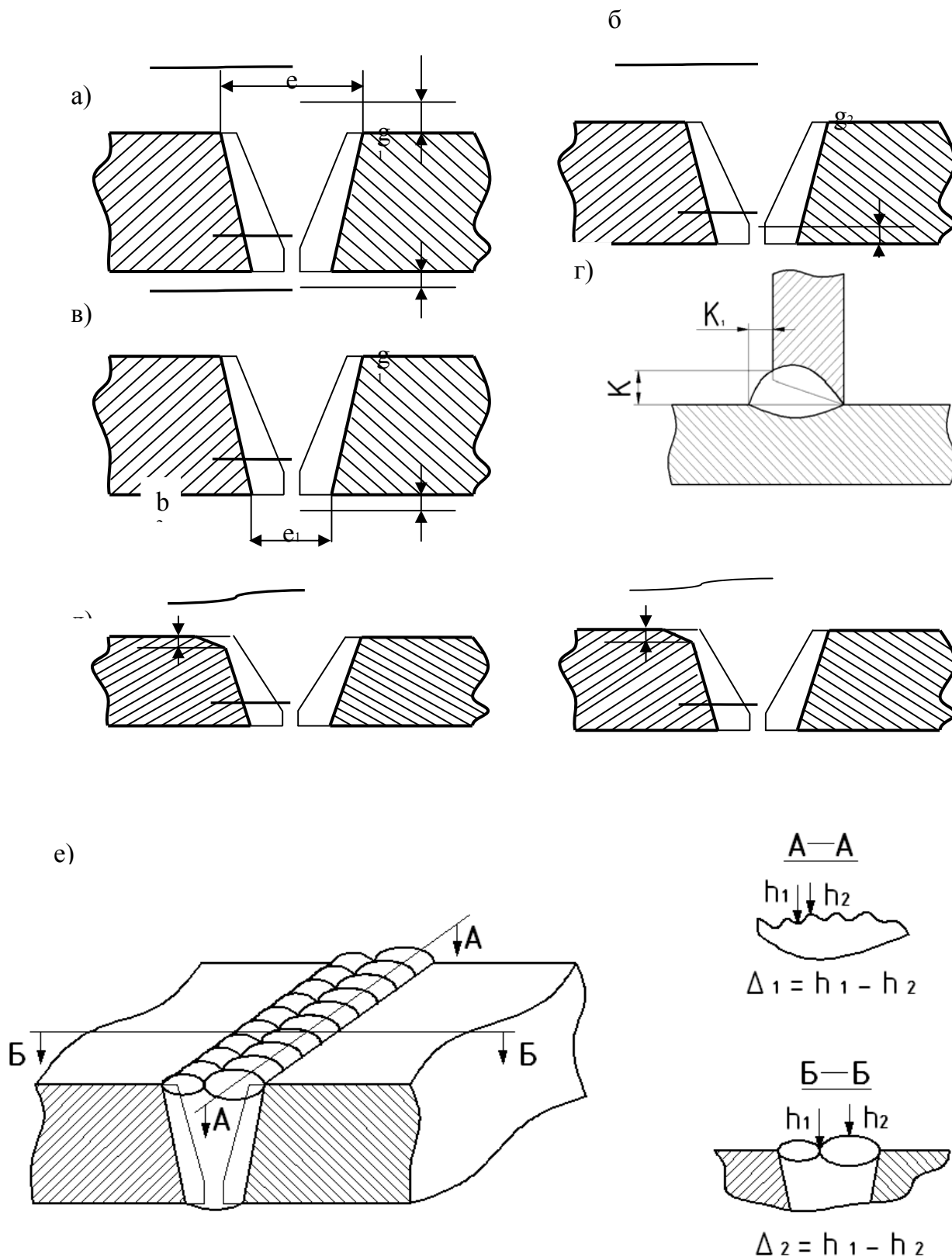


Рис.1.4 Схема замеров сварного шва и его дефектов

На этих схемах показаны следующие измеряемые величины: e - ширина шва; q -высота шва; b , b_1 – глубина подреза; K , K_1 - катеты углового шва, Δ_1 , Δ_2 - глубина западений. Эти контролируемые величины должны удовлетворять требованиям нормативных документов на свариваемое изделие [5].

Часто визуальному и измерительному контролю подвергаются сварные конструкции и особенно трубные элементы. Например, измерительный контроль тройников, фланцевых соединений, отводов, коллекторов и т. д. включает проверку:

- размеров перекосов осей цилиндрических элементов;
- отклонение привариваемой трубы от перпендикулярности относительно корпуса или другой трубы;
- отклонение осей концевых участков сварных секторных отводов;
- прогиба трубы сварных угловых соединений труб;
- прямолинейности образующей изделия;
- отклонение оси прямых блоков от проектного положения;
- отклонение габаритных размеров сварных деталей и блоков.

На рисунках 1.5 и 1.6 представлены некоторые перечисленные выше отклонения и их замеряемые параметры.

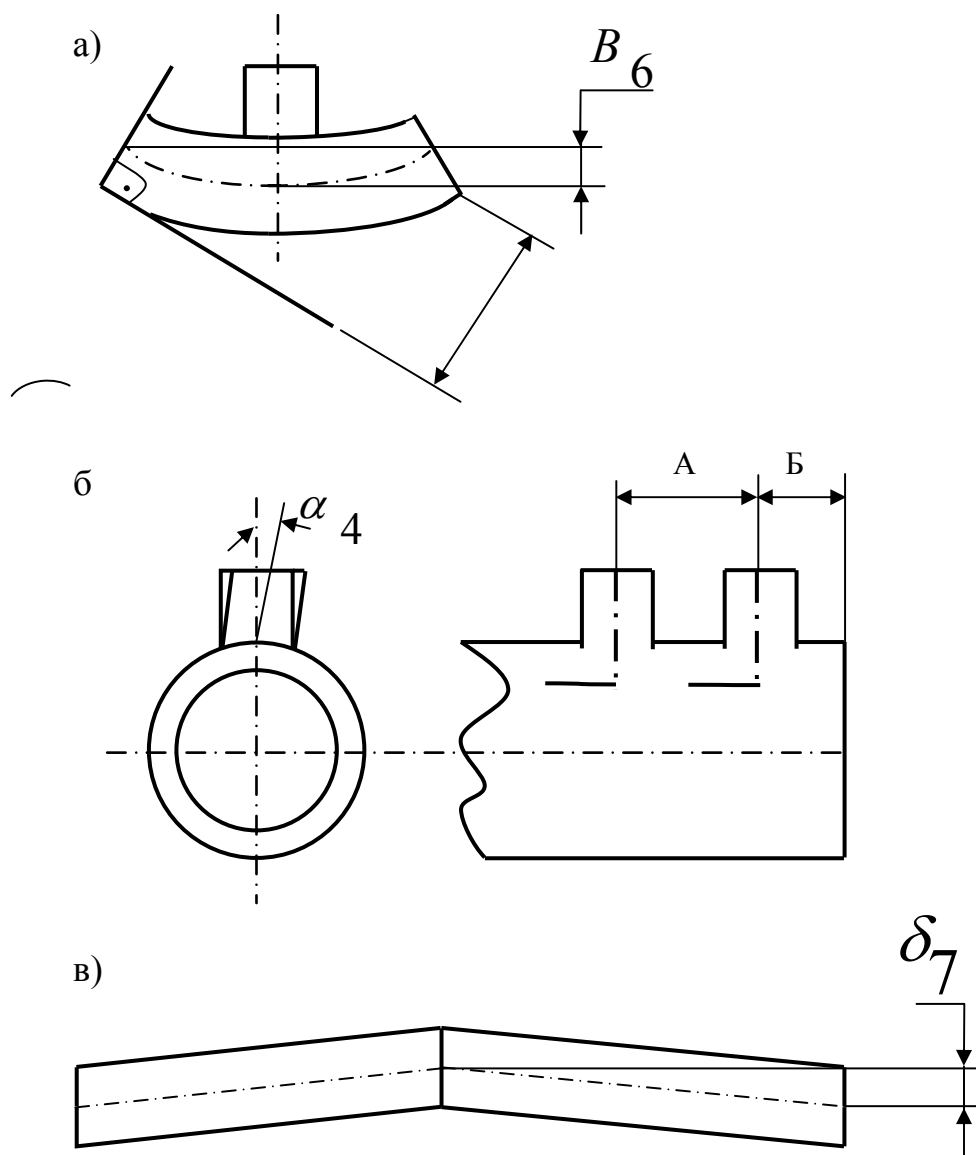


Рис.1.5 Схемы измерения отклонений трубных деталей и блоков

а) - отклонение (перелом) оси тройника сварного (B_6); б) - отклонение штуцеров от проектного положения (α_4) и размеры расположения штуцеров по длине трубы (А и Б); в- отклонение (перелом) оси блока трубопроводов (σ_1).

*Примечания. 1. Буквенные и цифровые обозначения отклонений даны в соответствии с таблицами [5].

2. Рекомендуемые размерные показатели q , b , Δ , σ , α для норм оценки качества по результатам визуального и измерительного контроля приведены в [5].

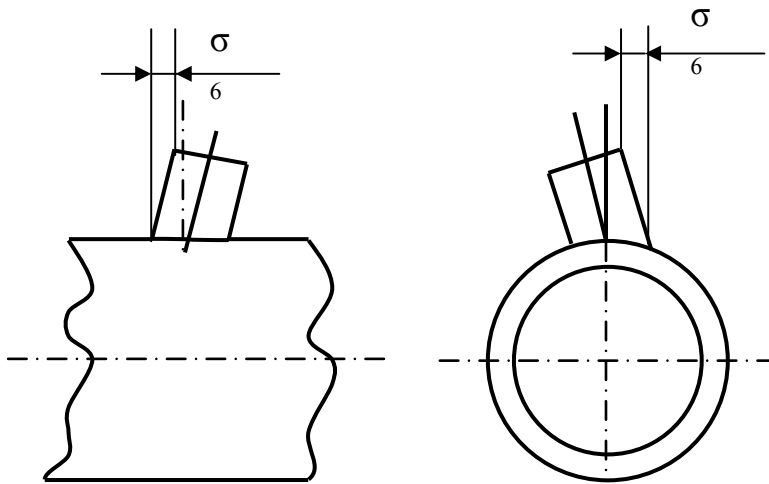


Рис.1.6 Измерение отклонения (σ_6) от перпендикулярности наружной поверхности штуцера

Кроме перечисленных отклонений измерительному контролю подвергаются гнутые участки труб и при этом проверяются [5]:

- отклонения от круглой формы (овальность);
- толщина стенки в растянутой части гнутого участка трубы;
- радиуса гнутого участка трубы;
- высоты волнистости (гофры) внутреннем гнутом участке трубы;
- предельные отклонения габаритных размеров.

Овальность гнутой трубы определяется в соответствии с нормативными документами на объекты контроля по следующим формулам [5]:

$$A = 2 (D_{\max} - D_{\min}) / D_{\max} - D_{\min}$$

или

$$A = (D_{\max} - D_{\min}) / 2$$

или

$$A = (D_{\max} - D_{\min}) / D_{\text{ном}},$$

где D_{\max} и D_{\min} - максимальное и минимальное значения наружного диаметра трубы (измерения выполняются в поперечном сечении детали), имеющем наибольшие отклонения; $D_{\text{ном}}$ - номинальное значение наружного диаметра трубы.

Если при замерах используется рулетка, то определение этих диаметров проводится по формуле:

$$D = (P / \pi) - 2 \Delta t - 0.2,$$

где P - длина окружности, измеренная рулеткой, мм; Δt - толщина ленты рулетки; $\pi = 3.1416$.

Результаты визуального и измерительного контроля оформляются актами [5].

1.2 РАДИАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Основные понятия

Неразрушающий контроль оборудования радиационными методами основан на способности ионизирующих излучений проникать (рис.1.7) через конструкционные материалы (оптически непрозрачные) с той или иной степенью ослабления и воздействовать на регистрирующее устройство (детектор).

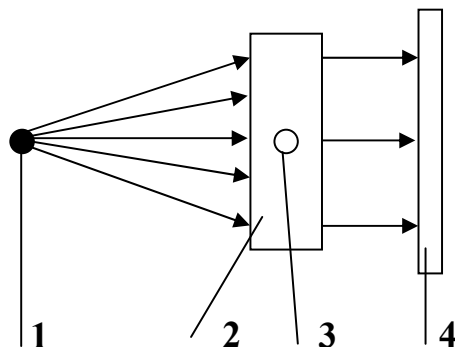


Рис. 1.7 Схема радиационного «просвечивания»

1- источник ионизирующего излучения; 2- контролируемый элемент; 3- дефект; 4- детектор.

Основные виды источников излучения условно делят на три группы [2]. На рисунке 1.8 представлена классификация источников излучения.

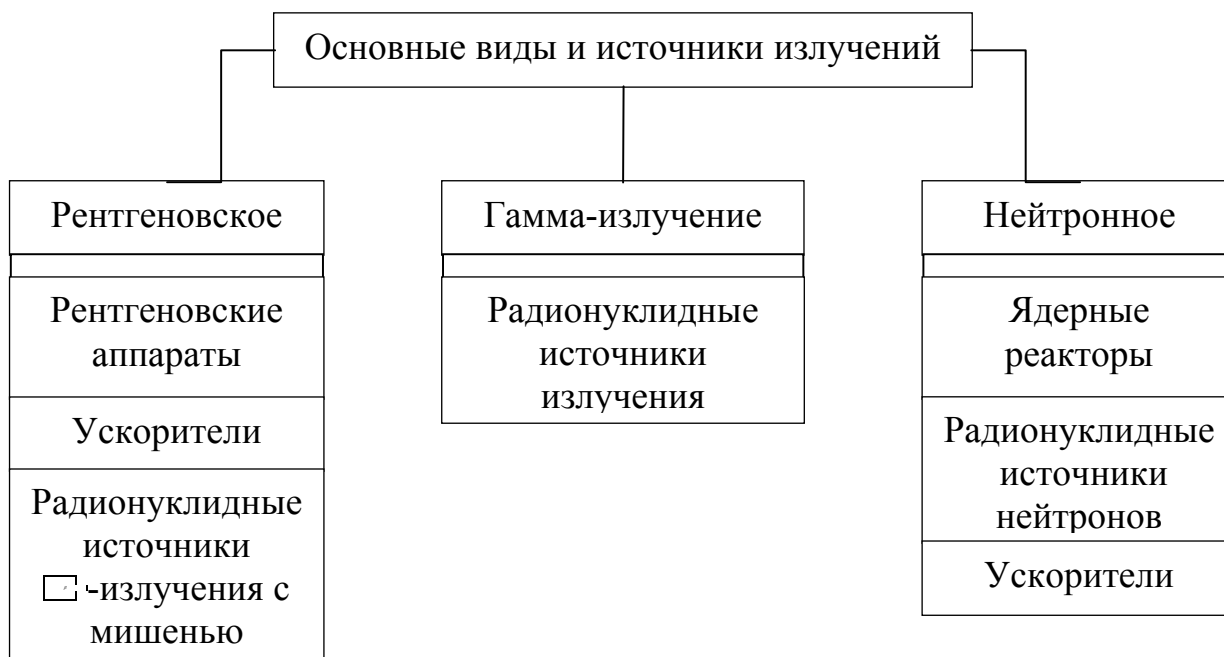


Рис.1.8 Классификация источников ионизирующих излучений.

Для диагностики технологического оборудования, сооружений и трубопроводов чаще всего используют рентгеновское и гамма-излучение.

Независимо от природы ионизирующего излучения, его энергия и интенсивность при прохождении через контролируемый материал ослабляются за счет поглощения и рассеивания (рис. 1.7). Степень этого ослабления зависит от плотности, толщины материала и природы дефектных включений в контролируемом участке. Дефектные включения, как правило, отличаются по плотности от основного материала, что и фиксируется детектором.

1.2.1 Физические основы радиационных методов контроля

В настоящее время для реализации радиационных методов радиационных методов контроля используют до десяти видов ионизирующих излучений. Широкое распространение нашли два: гамма- и рентгеновское излучение. Эти ионизирующие излучения, как радиоволны, ультрафиолетовые и инфракрасные лучи, видимый свет являются по природе своей электромагнитными колебаниями, но с малой длиной волны $0.3...5 \times 10^{-5}$ нм [6].

Ионизирующее излучение объясняется изменением энергетического состояния атома. Для гамма-излучения применяют радионуклиды (радиоактивные изотопы), которые получают бомбардировкой стабильных атомов нейтронами, α -частицами, и протонами. Например, нейтрон, который не имеет заряда и не обладает большой энергией, легко проникает в атомные ядра, вызывая их перегруппировку с образованием искусственного радионуклида того же элемента.

Как отмечается в работе [6], радиоактивные изотопы являются источниками рентгеновского, α -, β - и гамма-излучений, потока нейтронов и позитронов. Основными видами распадов естественных и искусственных радионуклидов считают α -и β -распады, электронный захват и изомерный переход.

Радионуклид при α -распаде испускает α -частицы (ядра гелия). В случае β -распада один нейтрон ядра превращается в протон. Этот процесс сопровождается испусканием электрона или позитрона и антинейтрино (β -частицы).

В случае электронного захвата ядро захватывает электрон с одной из внутренних оболочек атома (чаще всего с ближайшей к ядру К-оболочки). При этом один из протонов ядра превращается в нейтрон, заряд ядра уменьшается на единицу и на К-оболочку переходит электрон с более удаленной оболочки. Такой электрон, обладая высокой энергией, при переходе на низший энергетический уровень побуждает атом излучать избыточную электромагнитную энергию.

В случае изомерного перехода имеет место радиоактивное превращение, при котором возбужденные радиоактивные ядра, полученные при α - и β -распадах, переходят в основное стабильное состояние. При этом возбужденное ядро также дает электромагнитное излучение. Возникающее при ядерных распадах электромагнитное излучение называется гамма-излучением.

Ионизирующее рентгеновское излучение бывает двух видов-характеристическое и тормозное. Характеристическое рентгеновское излучение

является следствием перехода возбужденных атомов в основное или менее возбужденное состояние.

Тормозное рентгеновское излучение является следствием взаимодействия кулоновского поля ядер и электронов, проходящих через вещество. При этом взаимодействии электроны испытывают торможение, кинетическая энергия их уменьшается и превращается в тормозное излучение.

1.2.2 Основные характеристики ионизирующих излучений.

Рассматриваемые ниже характеристики ионизирующих излучений важны не только с точки зрения организации диагностики оборудования, но и с точки зрения обеспечения мероприятий по технике безопасности данного вида неразрушающего контроля.

Проникающая способность ионизирующих излучений зависит от плотности их энергии, т.е. от её количества, приходящегося на единицу поверхности [6]. Количество энергии, проходящее за одну секунду через один квадратный метр поверхности, расположенной перпендикулярно направлению прохождения лучей, называется интенсивностью ионизирующего излучения.

Для точечного источника излучения характерно то, что интенсивность изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния:

$$I_1 / I_2 = (R_2)^2 / (R_1)^2$$

где I_1 и I_2 – интенсивности излучения источника, соответственно на расстоянии R_1 и R_2 .

Как отмечалось выше, характеристическое излучение является следствием перехода возбужденного атома в основное или менее возбужденное состояние. При каждом акте перехода излучается порция электромагнитной энергии, называемая квантом или фотоном:

$$E = E_1 - E_2 = h \times \nu$$

где E_1 и E_2 – уровни энергий электронных оболочек, с которых и на которые переходят электроны при изменении состояния атома; ν – частота излучения; $h = 6.62 \times 10^{-27}$ эрг \times с – постоянная Планка.

Если учесть, что длина волны любого электромагнитного излучения связана с частотой следующим соотношением: $\lambda = c / \nu$, тогда можно записать $E = h \times c / \lambda$, где c – скорость фотона в вакууме ($c = 2.998 \times 10^8$ м/с).

Энергия фотонов у различных радиоактивных изотопов различна и колеблется в диапазоне $10^{-3} \dots 10^{-12}$ Дж. Внесистемной единицей энергии является электронвольт ($1 \text{ эВ} = 1.6 \times 10^{-19}$ Дж).

При взаимодействии ионизирующего излучения с веществом происходит поглощение энергии с переходом её в другие виды энергии (в энергию других видов излучения).

Энергия, которая при излучении поглощается единицей массы облучаемого вещества, называется поглощенной дозой излучения и она равна: $D = E/m$, где E – энергия, поглощаемая всем веществом; m – масса облучаемого вещества.

Кроме поглощенной дозы используют понятие экспозиционной дозы. Эта доза характеризует ионизирующую способность излучения, за единицу измерения которой принят кулон на килограмм (Кл/кг). 1 Кл/кг- это доза гамма-излучения или рентгеновского излучения, которая создает в 1 кг сухого атмосферного воздуха ионы обоих знаков, несущие заряд в 1 Кл электричества. Внесистемной единицей экспозиционной дозы является рентген ($1\text{Р} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ Кл/кг}$).

Важными характеристиками ионизирующего излучения, кроме отмеченных выше, является его мощность. По аналогии с поглощенной дозой и экспозиционной вводятся понятия: мощность поглощенной дозы и мощность экспозиционной дозы, т.е. дозы в единицу времени. Мощность поглощенной дозы измеряется в Дж/ кгс, а мощность экспозиционной в Р/с.

Характер ионизирующих излучений при взаимодействии их с материалом контролируемых объектов различен. Так α - частицы, обладают большой ионизирующей способностью и малой проникающей, поэтому они не применяются для просвечивания изделий. Проникающая способность β - частиц значительно выше, чем α - частиц. Быстрые β - частицы могут пройти слой алюминия толщиной 5 мм [3]. Ионизирующая способность их ниже, но в результате торможения β - частиц со значительной энергией в веществе с большим атомным числом возникает интенсивное тормозное рентгеновское излучение, которое необходимо учитывать при расчете защиты контролеров [3].

Проникающая способность рентгеновского и гамма-излучения значительно выше, чем альфа - и бета- излучений. Ранее отмечалось, что при прохождении через контролируемый материал интенсивность рентгеновского и гамма-излучения ослабевает за счет преобразования их энергии в кинетическую энергию электронов материала и рассеивания. Рассмотрим это фактор с точки зрения безопасности процесса дефектации оборудования.

Рассеянное излучение распространяется в различных направлениях по отношению к первоначальному направлению. Также и проникающее излучение, пройдя материал контролируемого изделия, взаимодействует с объектами, расположенными за ним. Возникающее при этом рассеянное излучение воздействует не только на детектор, но и на окружающий персонал. Эти явления особенно интенсивно проявляются, если контроль объектов проводится у бетонных или алюминиевых стен [3]. При этом должны приниматься дополнительные меры для защиты контролеров от обратного рассеянного облучения.

1.2.3 Оборудование для радиационных методов контроля.

Для радиационного контроля используют различные типы ионизирующих излучателей: рентгеновские аппараты, гамма - дефектоскопы и различного рода ускорители электронов. Рассмотрим первые два типа, как наиболее широко применяемые.

Рентгеновские аппараты.

Основными элементами этих аппаратов является рентгеновская трубка. Аппараты бывают двухэлектродные, с вынесенными и вращающимися анодами, секционированные, импульсные и двухфокусные. Чаще всего используют двухэлектродные трубки. Такие трубки представляют стеклянный баллон под вакуумом $10^{-6} \dots 10^{-8}$ мм рт. ст., в который впаяны электроды. Схема просвечивания такой трубкой представлена на рис. 1.9.

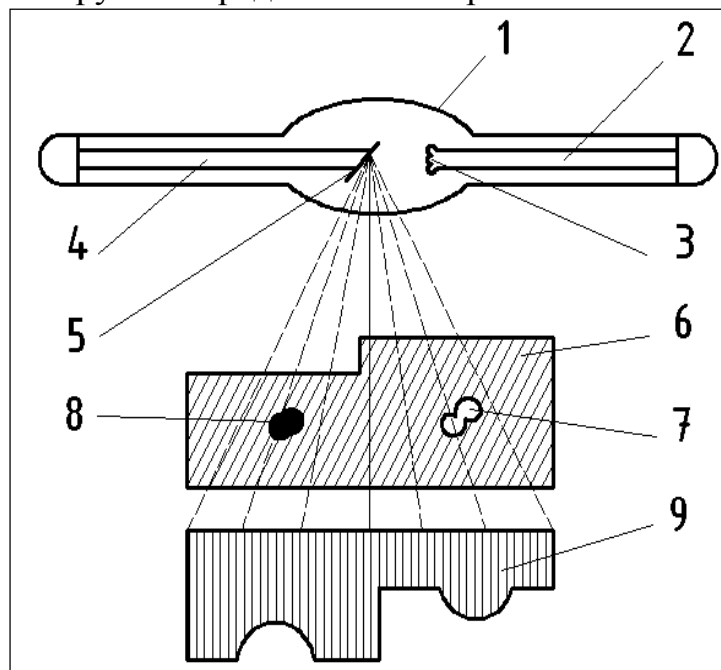


Рис. 1.9 Схема просвечивания с помощью рентгеновской трубки

1- стеклянный баллон; 2- катод; 3- вольфрамовая спираль; 4-анод (медный полый цилиндр); 5- вольфрамовая мишень; 6- объект контроля; 7- раковина в объекте контроля; 8- плотное включение; 9- эпюра интенсивности излучения за объектом.

Стеклянный баллон помещен в защищенный кожух, заполненный охлаждающей изолирующей средой. В состав рентгеновского аппарата также входят источник высокого напряжения и контрольно-измерительные приборы.

Принцип действия аппарата следующий. Питающее напряжение от электросети подается на автотрансформатор. С помощью корректоров регулировки по вольтметру устанавливается требуемое напряжение в зависимости от свойств контролируемого объекта. Затем это напряжение подается на первичную обмотку высоковольтного трансформатора. От него высокое напряжение (до нескольких сотен Кв) подводится к электродам трубки. Кроме того, отдельно к спирали катода подводится низкое напряжение 2...12 в от специального трансформатора (на схеме условно не показан).

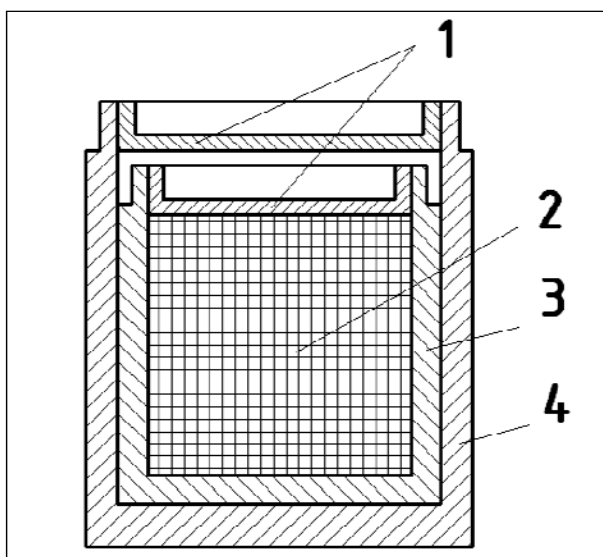
При накале нити спирали вследствие термоэлектронной эмиссии из неё вылетают электроны, которые специальным устройством (на схеме не показано) фокусируются в узкий пучок и под действием электрического поля с большой скоростью движутся к аноду. Электронный пучок, падая на мишень, тормозится ею. При этом возникает тормозное рентгеновское излучение, которое направляется на контролируемый объект [3].

Электронный пучок генерирует излучение на определенной площади мишени анода. Этот участок мишени называется действительным фокусным пятном рентгеновской трубки. Действительные фокусные пятна бывают прямоугольными и эллиптическими. В зависимости от диаметра пятна трубки бывают острофокусные (диаметр 100мкм...1мм) и микрофокусные, когда диаметр пятна менее 100 мкм. Проекция фокусного пятна в направлении выхода лучей называется эффективным фокусным пятном [3].

По конструкции рентгеновские аппараты делят на: стационарные, передвижные и переносные, а также на кабельные и моноблочные. Для кабельных характерно наличие двух блоков: генератора высокого напряжения и рентгеновской трубки, соединенных между собой высоковольтным кабелем. В моноблочных эти элементы находятся в одном блоке. Моноблочные рентгеновские аппараты легче и компактнее кабельных.

Гамма - дефектоскопы

Источниками ионизирующего излучения для гамма-дефектоскопов служат радионуклиды, которые в целях безопасности помещают в герметичные ампулы из нержавеющей стали или других материалов исключающих попадание радиоактивных веществ окружающую среду (рис. 1.10).



1-крышка

2-активная часть

3-внутренняя ампула

4-наружная ампула

Рис 1.10 Схема ампулы источника гамма-излучения (^{137}Cs).

Изотопы для гамма-дефектоскопов получают в ядерных реакторах облучением неактивных заготовок потоком нейтронов (^{60}Co , ^{192}Ir) или разделением остаточных продуктов ядерного горючего (^{137}Cs , ^{90}Sr), а также облучением неактивных заготовок (^{55}Fe , ^{54}Mn).

Изотопные источники характеризуются энергией излучения, мощностью экспозиционной дозы, активностью, периодом полураспада и величиной фокусного пятна (проекцией верхней активной части источника в направлении излучения) [3, 6].

Важной характеристикой изотопных источников является мощность экспозиционной дозы. Она определяет величину экспонирования, т.е. производительность контроля, а также требования к конструкции защитных устройств и технике безопасности. В процессе радиоактивного распада изотопа мощность экспозиционной дозы непрерывно убывает.

Гамма-дефектоскопы представляют собой устройства, которые позволяют манипулировать источниками при просвечивании объектов контроля и защищать при этом операторов от вредного воздействия излучений. Схема такого дефектоскопа представлена на рисунке 1.11.

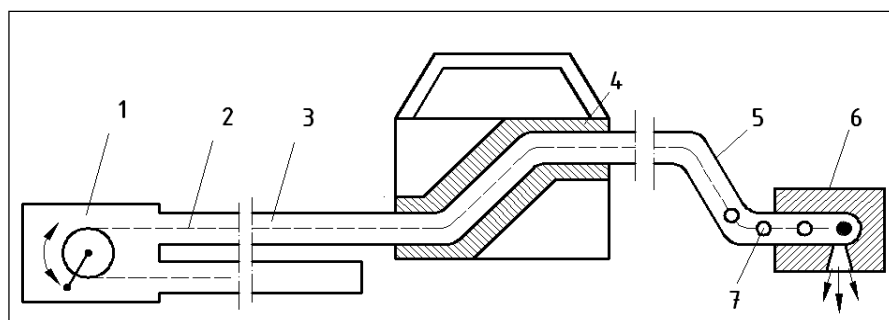


Рис. 1.11 Схема гамма-дефектоскопа шлангового типа.

1-привод; 2-подающий канал; 3-соединительный шланг; 4- радиационная головка; 5- ампулопровод; 6- коллимирующая головка; 7- держатель источника излучения.

Гамма-дефектоскопы могут обеспечивать как направленное, так и панорамное излучение. Для формирования направленного пучка служат коллиматоры. Главной частью гамма-дефектоскопа защитная радиационная головка (4), где размещается вне рабочем положении ампула с источником излучения.

Ампула в рабочее положение подается по ампулопроводу (5) из радиационной головки в коллиматор (6) дистанционно с использованием ручного или электромеханического привода (1). В комплект дефектоскопа

входит специальный магазин- контейнер, в котором находятся запасные источники различной мощности.

1.2.4 Детектирование при радиационном контроле

Как отмечалось выше, фиксирование дефектов в объекте контроля при просвечивании ионизирующими источниками производится одним из следующих трех способов детектирования (рис.1.12): радиографическим, радиоскопическим или радиометрическим [2].

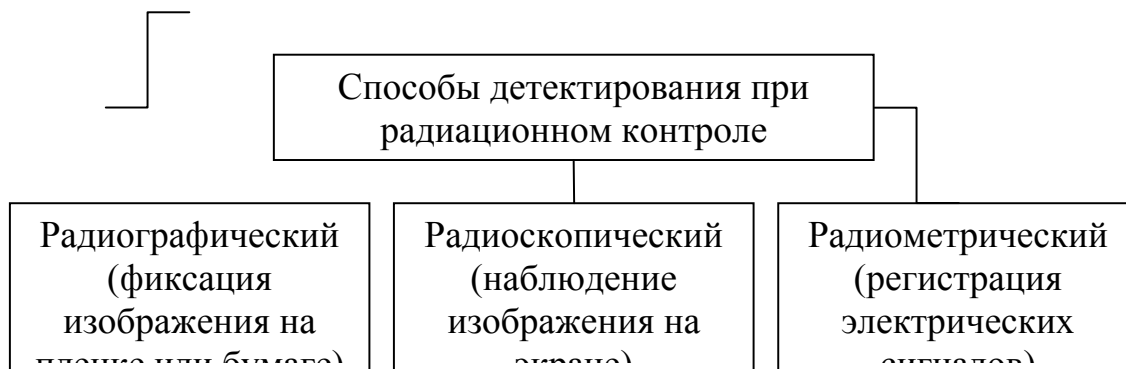
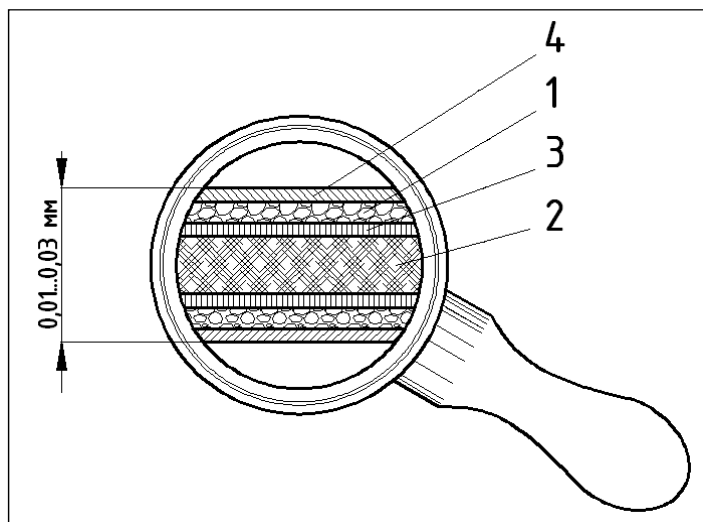


Рис. 1.12 Классификация способов детектирования

Радиографический способ

Он наиболее распространен из-за его простоты и документальности подтверждения результатов контроля. Способ основан на преобразовании радиационного изображения контролируемого объекта в радиографический снимок или запись этого изображения на запоминающее устройство с последующим преобразованием его в световое изображение [2,3].

Различают пленочную радиографию и электрорадиографию. В случае пленочной радиографии детектором и регистратором изображения служит фоточувствительная пленка. Основным детектирующим элементом такой рентгеновской пленки является фотоэмульсионный слой толщиной 0.01...0.03мм, нанесенный на подложку. На рисунке 1.13 представлен в увеличенном виде разрез пленки. При электрорадиографии используют в качестве детектора полупроводниковую пластину, а в качестве регистратора – бумагу.



- 1-эмульсионный слой;
- 2-подложка;
- 3-подслой;
- 4-защитный слой;

Рис. 1.13 Схема строения рентгеновской пленки.

Подложка (2) представляет собой гибкую прозрачную пленку из нитроцеллюлозы или ацетатцеллюлозы. Подслои (3) служат для плотного сцепления эмульсии (1) с подложкой и представляет собой специальный клей. С целью предохранения эмульсионных слоев от повреждений на них наносят слой желатина (4). Эмульсия состоит из желатина, в котором равномерно распределены кристаллы бромистого или хлористого серебра. От размеров этих кристаллов и степени однородного их распределения в эмульсионных слоях зависит зернистость пленки (мелкозернистые, среднезернистые и крупнозернистые).

При контроле объекта просвечиванием под действием излучения происходит ионизация зерен бромистого серебра с образованием атомов металлического серебра. Число этих атомов тем больше, чем больше интенсивность облучения. При проявлении экспонированной пленки эти атомы являются центрами восстановления и кристаллизации серебра [3]. Восстановленное серебро придает экспонированной пленке темную окраску. При фиксировании пленки из эмульсии удаляются неизмененные зерна бромистого серебра и в результате на пленке получают почерневшие (восстановленное серебро) и светлые (удаленное бромистое серебро) участки. Для увеличения степени поглощения излучения (для большего почернения) эмульсионный слой наносят на подложку с двух сторон. Таким образом, если в контролируемом объекте дефект имеет меньшую плотность чем основной материал, то на рентгеновском снимке этот дефект отобразится темным пятном и наоборот.

Для характеристики и анализа рентгеновского снимка вводят понятие оптической плотности почернения. Эта величина и характеризует непрозрачность негатива. Она равна десятичному логарифму от отношения интенсивностей световых потоков, падающего на негатив к интенсивности светового потока, прошедшего негатив. Оптическая плотность измеряется с помощью специального прибора- микрофотометра.

Основными характеристиками пленки являются чувствительность и контрастность. Чувствительность-это величина экспозиции необходимая для достижения определенной оптической плотности почернения. Для достижения такой плотности требуется экспозиционная доза от 0.001 до 0.01 Р. Контрастность- это разница в оптической плотности почернения наиболее темного и светлого соседних участков снимка. Также используют понятие разрешающей способности пленки, т.е. способность фиксировать отдельно различные штриховые линии одинаковой толщины на длине 1 мм.

___Качество радиографического снимка, а значит и выявление дефекта в контролируемом объекте зависит не только от оптической плотности и контрастности, но и от резкости (четкости изображения). На четкость снимка влияет размер активной части источника, т.к. каждая точка эффективного

фокусного пятна источника создает своим излучением проекцию дефектного места, что и ведет к нечеткости. Также на четкость снимка влияет фокусное расстояние (расстояние от пленки до источника излучения).

Четкость изображения тем выше, чем меньше размер активной части источника и расстояние от пленки до дефекта, а также чем больше фокусное расстояние [3, 6]. Но рост фокусного расстояния приводит к увеличению времени экспозиции. Фокусное расстояние рассчитывают в зависимости от размера и толщины контролируемого участка, например, для сварных соединений по ГОСТ 7512-82 [6]. Полностью техника радиографического контроля описана в работах [2,3,6,7]. Для промышленной радиографии используют комплект принадлежностей и материалов: усиливающие экраны, гибкие и жесткие кассеты для пленок, маркировочные знаки, эталоны чувствительности, магнитные держатели, негатоскопы для расшифровки рентгенограмм и набор материалов для фотохимической обработки пленок.

Радиографический способ используется для различных источников излучения и при его применении можно просвечивать стальные изделия от 1 до 700 мм [2].

Радиоскопический способ основан на преобразовании радиационного изображения контролируемого объекта в световое изображение на экране радиационно-оптического преобразователя. В процессе дефектации проводится анализ полученного изображения. Хотя чувствительность этого способа меньше, чем радиографического, но данный метод экспрессивен, непрерывен и позволяет рассматривать объект контроля под разными углами (стереоскопическое видение).

Радиометрический способ основан на получении информации о внутреннем состоянии контролируемого объекта в виде электрических сигналов различной величины, длительности и количества. Этот метод позволяет автоматизировать процесс контроля, он отличается непрерывностью, высокой производительностью и не уступает по чувствительности радиографии [2].

Особо важным этапом диагностики радиационными методами является расшифровка результатов контроля. Расшифровку проводят наиболее опытные операторы-расшифровщики с применением современной техники.

Следует отметить, что радиационные методы неразрушающего контроля, как и другие нормированы техническими руководящими документами и Государственными Стандартами [7].

1.2.5 Радиационная безопасность.

В процессе проведения работ по радиационной дефектоскопии для обеспечения безопасности следует руководствоваться нормативными документами СПН 1171-74, СПН 2191-80, ОСЛ 72180 [6]. Операторы, работающие с источниками излучения, проходят специальную подготовку, сдают экзамены и должны иметь соответствующее удостоверение. Состояние здоровья операторов контролируется медицинской комиссией.

На организм оператора могут оказывать вредное влияние два вида воздействия излучений: внешнее (организм подвергается облучению от источника) и внутреннее (от радиоактивных веществ, попадающих внутрь организма).

Как правило, операторы подвержены внешнему облучению ионизирующими источниками. От величины поглощенной всем телом оператора дозы зависит изменение состояния организма [6] :

- до 25 рад- видимых изменений нет;
- 25...50 рад- возможны изменения в крови;
- 50...100 рад- нарушение нормальной работоспособности;
- 100...200 рад- возможна потеря трудоспособности;
- более 200 рад- возможен смертельный исход.

Ионизирующие излучения человеком не ощущаются, но поглощенные дозы суммируются организмом и в дальнейшем проявляются в соответствии с приведенными выше данными.

Чувствительность к ионизационному излучению органов человеческого тела различна и установлены в порядке убывания чувствительности три группы критических органов [6] : 1 группа- все тело, красный костный мозг; 2 группа- мышцы, щитовидная железа; жировая ткань; печень, почки, селезенка, желудочно-кишечный тракт, легкие, хрусталик глаза и другие органы, которые не относятся к 1 и 3 группам; 3 группа- кожный покров, костная ткань, кисти предплечья, лодыжки и стопы.

Санитарными нормами для операторов рентгено-и гамма-просвечивания, исходя из предельно допустимой дозы (ПДД) в 5 бэр/год, определена следующая ПДД облучения всего тела: $2,8 \text{ мР/ч}$ и если принять, что в рабочей недели t часов, то $\text{ПДД} = 100/t \text{ мР/ч}$ [6].

Для обеспечения радиационной безопасности используют различные методы защиты от ионизирующего излучения. Распространенными способами защиты являются: защита расстоянием и ослабление излучения экраном из тяжелого металла.

Различают стационарные защитные устройства (стены, перекрытия, двери, смотровые окна) и нестационарные (экраны, передвижные защитные кабинки, ширмы, защитные кожухи гамма-аппаратов и рентгеновских трубок, контейнеры для перевозки и хранения источников излучения).

Для соблюдения правил радиационной безопасности назначается на предприятии ответственное компетентное лицо, обязанности которого входят:

- не реже двух раз в месяц производить измерение мощностей доз излучения на расстоянии 0,1 и 1 м от поверхности радиационной головки;
- не реже 2 раз в год осуществлять контроль эффективности защиты хранилища и смежных с ним помещений;
- постоянно измерять индивидуальные дозы облучения операторов;
- вести журнал доз облучения.

Лаборатория радиационной дефектоскопии должна быть укомплектована приборами дозиметрического и радиометрического контроля для индивидуального контроля полученной дозы и для контроля загрязненности поверхности помещений.

1.3 АКУСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Основные понятия

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 имеют и недостатки: необходимость высокой чистоты обработки поверхности контролируемого объекта; наличие мертвых зон, которые снижают эффективность контроля; необходимость разработки специальных методов контроля для отдельных сложных объектов [3].

Разработано большое количество методов акустического контроля изделий, авторы работы [2] их насчитывают 22. Чаще всего в промышленности акустические методы используют для следующих целей:

- определение толщины объекта;
- контроль сплошности;
- определение физико-химических свойств материала объекта,

а также для изучения кинетики разрушения изделия, что позволяет прогнозировать их надежность [2,8].

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 «f» относительно точек равновесия. Если в объекте возбудить с помощью источника колебание, то оно будет распространяться от частицы к частице в материале объекта со скоростью «с». Расстояние между частицами, которые колеблются в одинаковой фазе, называется длиной волны «λ». Частота колебаний- f, скорость-с и длина волны связаны следующей зависимостью: $\lambda = c / f$.

Для реализации акустических методов используют упругие колебания в звуковом диапазоне с частотой от 20 до 2×10^4 Гц и в ультразвуковом от 2×10^4 до 10^9 Гц [3]. Чаще всего в промышленности используют ультразвуковой диапазон, поэтому эти методы называют ультразвуковыми методами контроля (УЗК).

При ультразвуковом контроле колебания передаются от внешнего источника частицам материала объекта. Если направление колебания этих частиц совпадает с направлением распространения волны, то такая волна называется продольной. Продольная волна возбуждается источником колебаний в твердой, жидкой и газообразной среде.

В твердом теле направление колебания частиц может быть перпендикулярно направлению продольной волны, т.е. возникают поперечные волны, что объясняется способностью твердого тела (в отличие от жидкого и газообразного) упруго сопротивляться деформации сдвига. В твердом теле на его свободной поверхности можно возбудить поверхностные волны (волны Рэлея), в которых частицы колеблются по эллипсам [3]. По мере удаления от свободной поверхности амплитуда колебаний этих частиц убывает по экспоненте и поэтому такая волна существует в тонком поверхностном слое толщиной от 1 до 1,5 длины волны λ .

В тонких листах постоянной толщины и проволоке, когда поперечное сечение их во много раз меньше длины волны, можно возбудить так называемые нормальные волны (волны Лэмба), которые связаны со спецификой механизма распространения ультразвуковых волн [2,3,6].

Энергия ультразвуковых колебаний в процессе их распространения постепенно убывает, что обусловлено геометрическим расхождением лучей, а также тем, что часть её, поглощаясь средой, переходит в тепловую энергию, а часть рассеивается зернами металла в результате повторных отражений (структурная реверберация).

Оперативность и точность ультразвуковых методов контроля зависят не только от вида и скорости распространения волн, но и от свойств контролируемых объектов (удельное волновое сопротивление материала, плотность, размеры и форма тела).

Для возбуждения ультразвуковых колебаний чаще всего для контроля 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.1.14).

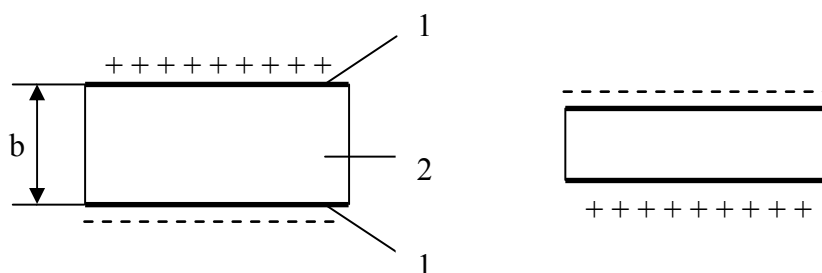


Рис.1.14 Пьезопреобразователь.
1-электроды; 2-пьезопластина;
b- начальная толщина пластины.

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).

Напряжение на электродах определяет амплитуду колебаний пластины. Кроме того, если частота возбуждающего переменного напряжения совпадает с собственной частотой колебаний пластины (резонанс), то амплитуда колебаний будет максимальной. Следует отметить, что собственная частота колебаний пластины зависит от её толщины и скорости упругих волн $f_0 = c/v$. Эта частота зависит от свойств пьезоматериала и может быть рассчитана по следующей зависимости:

$$f_0 = k_0 / v,$$

где k_0 –коэффициент, равный для титаната бария 2,5 МГц×мм и 1,88 для цирконат-титаната свинца.

1.3.1 Излучение и прием ультразвука

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

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 $1: 3 \times 10^3 : 10^5$.

Ультразвуковые волны распространяются по законам геометрической оптики, т.е. им присущи отражение, преломление, интерференция, дифракция, затухание. Например, если продольная 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. И если, например, между защитным доньшком из оргстекла защитной головки и металлической поверхностью контролируемого объекта будет воздушный зазор, то от него отразится в доньшко 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 приемом воздушный зазор.

Если продольная ультразвуковая волна падает на границу раздела двух твердых сред под некоторым углом (рис.1.15), то прошедшая и отраженная волны преломляются и трансформируются на две продольные L^1 , L^{11} и две поперечные S^1 и S^{11} , которые распространяются в первой и во второй средах под различными углами.

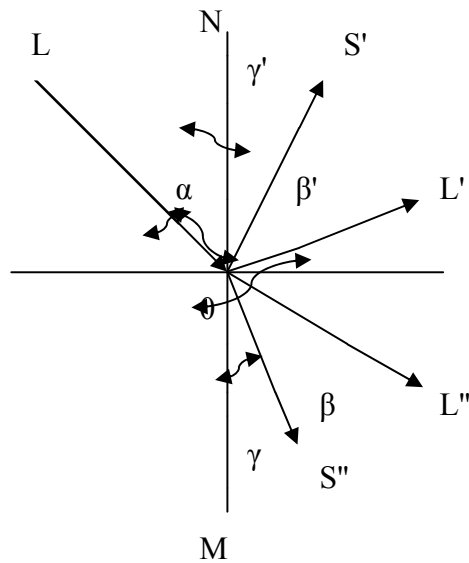
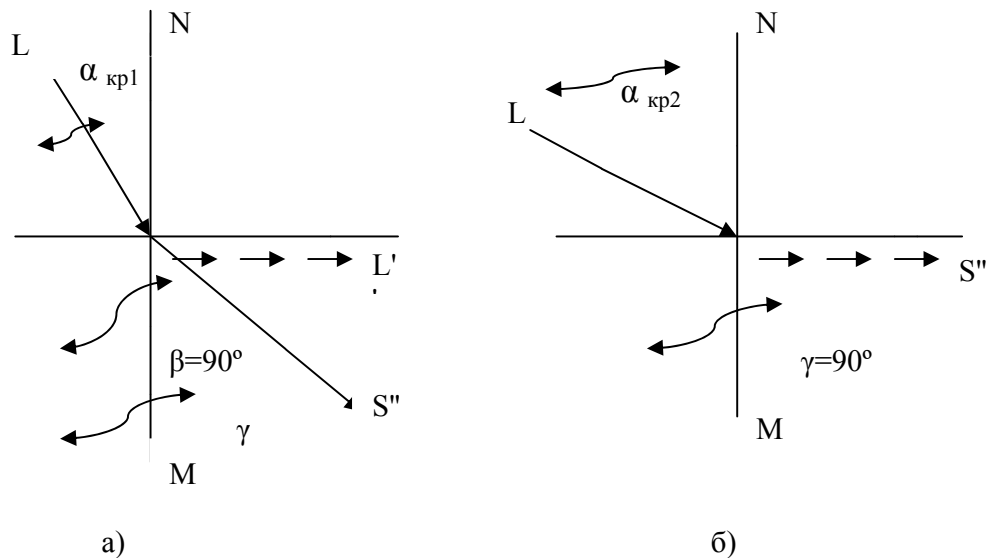


Рис.1.15 Схема отражения и прохождения упругих волн при наклонном падении луча

Угол α между падающим лучом LD и перпендикуляром MN к поверхности раздела в точке O называется углом падения; углы β^1 и γ^1 – углами отражения, а углы β и γ – углами преломления или углами ввода продольной и поперечной волн. При некотором значении падающего угла α преломленные продольные волны распространяются по поверхности, не проникая во вторую среду (рис.1.16а).

Этот угол называется первым критическим углом падения $\alpha_{кр1}$. Если увеличивать далее угол падения α , то по поверхности будут распространяться преломленные поперечные волны. Такой угол падения называется вторым критическим углом $\alpha_{кр2}$ (рис.1.16б). Если угол падения лежит между первым и вторым критическими углами, то во второй среде будут распространяться только поперечные волны.

Обычно для контроля стальных изделий угол падения выбирают в пределах



30...55°.

Рис.1.16 Схема распространения при критических углах продольных (а) и сдвиговых (б) преломленных волн.

Указанные соотношения отражения и преломления волн справедливы только для плоских и гладких поверхностей соприкосновения сред и если поверхность раздела имеет неровности, высота которых 0,05...0,1 длины волны, то наблюдается диффузионное отражение и преломление, что приводит к искажению волнового поля.

Следует отметить, что для упругих волн в полной мере относится закон обратимости: падающая волна из второй среды под углом β или γ на границу с первой после преломления войдет в первую под углом α .

Рассмотренные выше свойства упругих волн используются для расчета и конструирования искательных головок [2,3,6] для излучения и приема волн. На рисунке 1.17 представлены некоторые виды искательных головок.

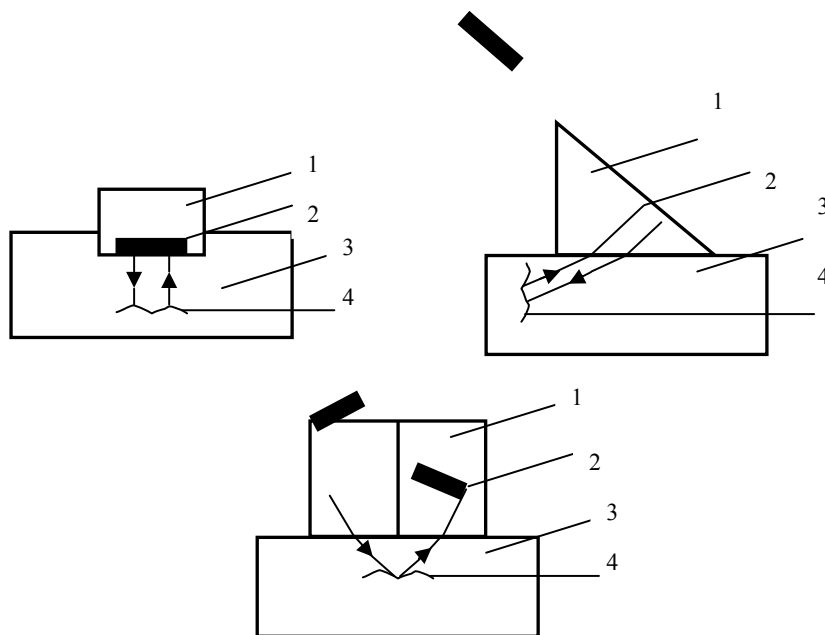


Рис.1.17 Основные типы искателей.

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

Для прямых и наклонных (призматических) искателей характерно то, что функции излучения и приёма ультразвука выполняет один и тот же пьезоэлектрический преобразователь. 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 и раздельно-совмещенных - под углом к поверхности объекта в точке ввода. Широкое применение в ультразвуковой диагностике нашли призматические искатели, расчет которых описан в работах [2,3,6].

Следует отметить, что на чувствительность искателя влияет диаметр пьезопластины, который можно определить по следующей зависимости [6]: $d \times f = 12 \dots 15$, где d -диаметр пластины, мм; f -частота, МГц. Также в этой работе приведены рекомендации по выбору оптимальной рабочей частоты (f , МГц) в зависимости от толщины (h , мм) контролируемого объекта (h/ f) : $4 \dots 15/5 \dots 2,5$; $15 \dots 40/2,5$; $40 \dots 100/1,8$.

Угол падения ультразвуковых волн обеспечивается углом у основания призмы. Этот угол выбирается таким, чтобы в объекте контроля распространялась только поперечная волна и, чтобы, так называемая мертвая зона была наименьшей. Она примыкает к контактной зоне (поверхность, где располагается искатель). Мертвая зона-это область контролируемого участка объекта, в которой при данной настройке УЗК-аппаратуры дефекты не выявляются, т.к. эхо-сигнал от дефекта не отделяется от зондирующего[3]. Область мертвой уменьшается с увеличением угла ввода волны и с увеличением частоты ультразвука.

1.3.2 Методы ультразвуковой дефектоскопии

Для ультразвуковой диагностики оборудования используют чаще всего три метода обнаружения дефектов: эхо-импульсный, теневой и зеркально-теневой.

Эхо-импульсный метод реализуется путем ввода в объект контроля импульса ультразвука и приема отраженного от дефекта эхо-сигнала, который и свидетельствует о наличии несплошности. Фиксирование отраженного ультразвука (амплитуды сигнала) от границ объекта контроля и от дефекта осуществляется с помощью электронно-лучевой трубки (ЭЛТ). По времени между вводом импульса и приемом отраженного эхо-сигнала от дефекта судят о глубине его залегания (рис.1.18).

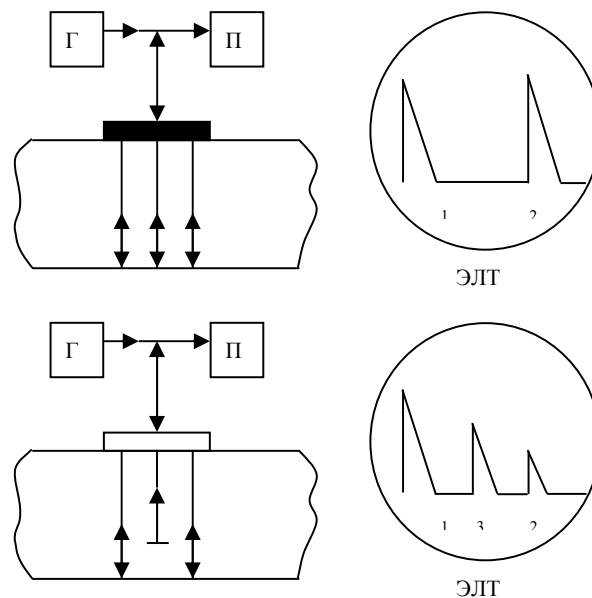


Рис.1.18 Схема ультразвукового контроля эхо-импульсным методом
а- без дефекта; б-с дефектом; Г-генератор ультразвуковых колебаний;
П- приёмник; ЭЛТ- электронно-лучевая трубка; 1-зондирующий импульс;
2-донный импульс; 3-импульс от дефекта;

Теневой метод характеризуется тем, что искатели (один излучатель, другой приёмник) располагаются на противоположных поверхностях объекта контроля. Ультразвук проходит через контролируемое сечение и о наличии дефекта судят по уменьшению амплитуды (интенсивности) сигнала (рис.1.19). Для этого метода можно использовать как импульсный, так и непрерывный режим излучения ультразвука.

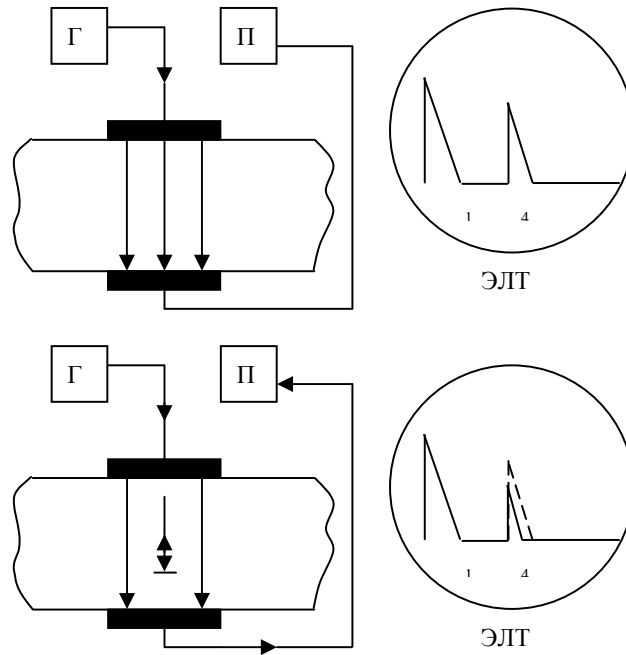


Рис.1.19 Схема ультразвукового контроля теньевым методом
 а- без дефекта; б- с дефектом; Г-генератор ультразвуковых колебаний;
 П- приёмник; ЭЛТ- электронно-лучевая трубка; 1-зондирующий импульс;
 2-донный импульс; 3-импульс от дефекта; 4- импульс, прошедший объект
 контроля

Зеркально-теневогой метод отличается от рассмотренных выше методов тем, что наличие дефекта определяется по уменьшению амплитуды эхо-сигнала, отраженного от противоположной (донной) поверхности объекта и ослабленного этим дефектом (рис.1.20).

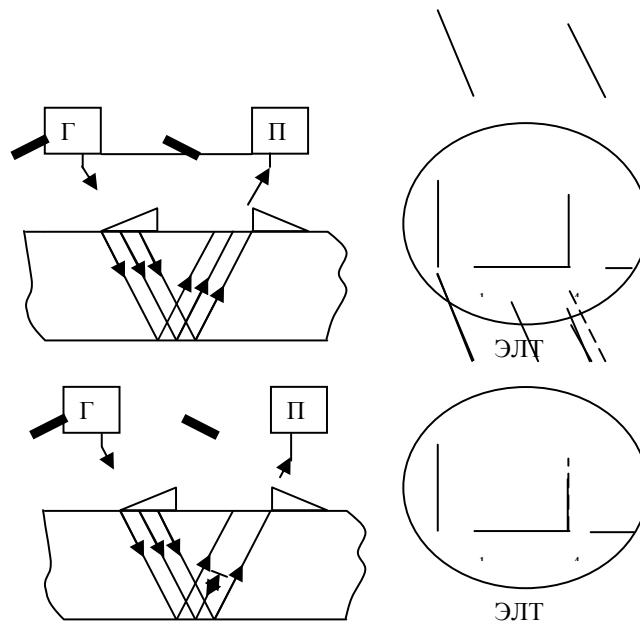


Рис.1.20 Схема ультразвукового контроля зеркально-теневогой методом
 а- без дефекта; б- с дефектом; Г-генератор ультразвуковых колебаний;

П- приёмник; ЭЛТ- электронно-лучевая трубка; 1-зондирующий импульс; 2-донный импульс; 3-импульс от дефекта; 4- импульс, прошедший объект контроля.

Каждый из рассмотренных методов имеет определенную область применения, в которой он эффективен. Например, для контроля сварных соединений широко применяется эхо-импульсный метод, т.к. он обладает более высокой чувствительностью, чем теневой и зеркально-теневой, а также позволяет совместить в одном искателе функции излучателя и приёмника [6].

Для теневого метода необходимо иметь возможность доступа к контролируемой зоне объекта с двух сторон, но при этом на эффективность влияет соблюдение определенного взаимного расположения искателей. Преимущества этого метода в том, что он позволяет уменьшить мертвую зону и он эффективен при контроле малых толщин: 1...4мм [6].

1.3.3 Аппаратура и порядок проведения ультразвукового контроля

Аппаратура для ультразвуковой диагностики состоит из дефектоскопа, набора искательных головок, тест-образцов для настройки и других вспомогательных приспособлений. В свою очередь дефектоскоп представляет собой совокупность функциональных блоков, которая представлена на схеме (рис.1.21).

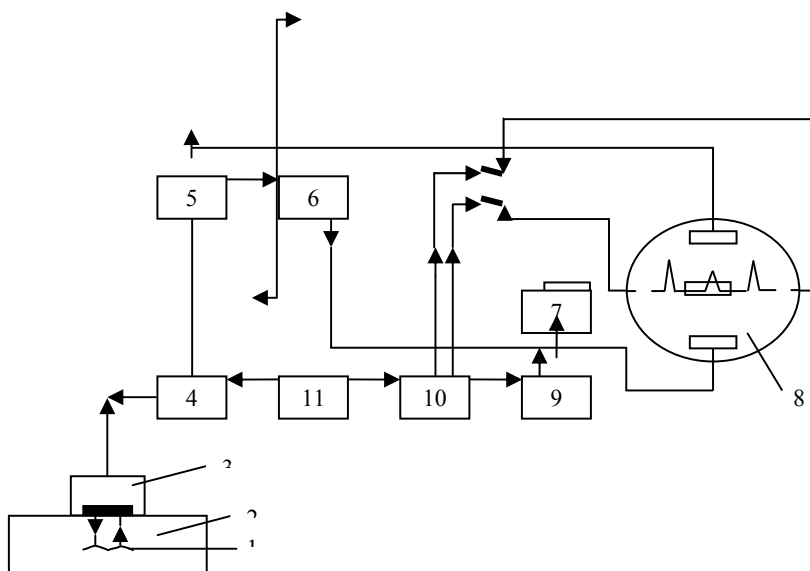


Рис. 1.21 Схема дефектоскопа

- 1-объект контроля; 2-дефект; 3-искатель; 4-генератор зондирующих импульсов; 5-усилитель высокой частоты; 6-селектор автоматического сигнализатора; 7-электронная лупа; 8-электронно-лучевая трубка; 9-электронный глубиномер; 10-генератор развертки; 11-генератор синхронизирующих импульсов

Согласно схеме, генератор синхронизирующих импульсов (11) вырабатывает импульсы для пуска генератора зондирующих импульсов (4) и генератора развертки (10). Импульсы высокочастотных колебаний от генератора (4) подаются на пьезоэлемент искателя (3), который преобразует их в механические ультразвуковые колебания. Эти колебания вводятся через слой контактной жидкости в объект контроля (1).

Часть ультразвуковой энергии отражается от границы объекта или дефекта, возвращается к пьезоэлементу и преобразуется после усилителя в электрическую энергию высокой частоты (5). Затем она передается на ЭЛТ (8) дефектоскопа и на блок (6) автоматической сигнализации дефекта (АСД). Синхронно с зондирующими импульсами на горизонтально-отклоняющие пластины ЭЛТ подается напряжение от генератора развертки (10). На экране ЭЛТ появляется горизонтальная линия развертки с первым импульсом, называемым зондирующим. Второй импульс на линии развертки является эхо-сигналом, который отражается от противоположной поверхности объекта (донный импульс). В случае если объект имеет дефект, то часть энергии, отразившись от дефекта, дает также импульс на линии развертки (см. рис.1.21), который располагается между зондирующим и донным. Электронная лупа (7) служит для увеличения масштаба изображения участка контроля. Определив с помощью глубиномера (9) временной интервал между зондирующим импульсом и импульсом от дефекта можно определить глубину залегания дефекта по выражению: $l = 0,5 \times c \times i$, где c -скорость звуковых колебаний в объекте, м/с; i - время прохождения импульса до дефекта и обратно, с.

Важным элементом рассматриваемой схемы является искатель (3). Он состоит из корпуса, пьезоэлемента, (или двух в РС-искателях), электродов, демпфера () и разъема. Иногда искатели снабжаются устройствами для изменения угла наклона пьезопластины, подачи контактирующей жидкости и стабилизации давления на головку.

В качестве контактной жидкости применяют автол, компрессорное, трансформаторное или другие аналогичные масла или жидкости специального состава [6]. Важным элементом ультразвуковой аппаратуры является набор стандартных испытательных образцов для настройки дефектоскопа перед контролем объекта.

При контроле ультразвуковыми методами особое внимание уделяют двум этапам: 1-подготовка объекта и аппаратуры; 2- выявление дефектов. На первом этапе изучают соответствующую нормативно-техническую документацию, например, [9, 10] и техническую документацию на объект контроля. Делают внешний осмотр и необходимые замеры в соответствии с первым разделом настоящего пособия, определяют ширину зоны зачистки поверхности объекта, устанавливают параметры контроля.

Рассмотрим наиболее важные элементы этапов контроля на примере ультразвуковой диагностики сварных соединений [6].

Размеры ширины зоны зачистки зависят от принятой схемы контроля и толщины свариваемых деталей. Например, для стыковых соединений часто применяют схемы контроля прямым и однократно отраженным лучом (рис.1.22).

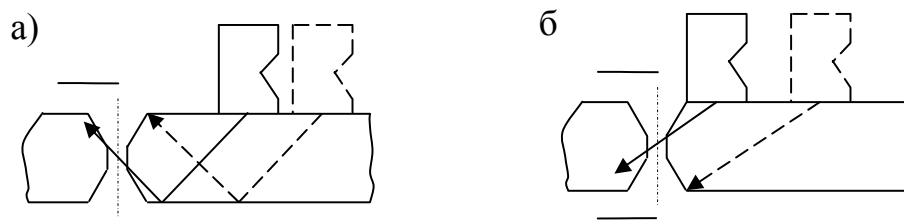


Рис.1.22 Схемы контроля стыковых сварных соединений

а) прямым лучом; б) однократно отраженным лучом
1-свариваемые элементы; 2-шов; 3-искатель

Ширина зоны зачистки для приведенных выше схем составляет 80...250 мм при толщине свариваемых элементов до 60 мм. В работах [3,6] приведены рекомендации и расчетные зависимости по выбору схемы контроля сварных соединений, угла ввода луча, частоты ультразвука и размера ширины зоны зачистки.

Подготовка аппаратуры для ультразвуковой диагностики имеет своей целью обеспечение надежности и объективности результатов контроля. Чтобы исключить субъективные факторы при проведении диагностики, необходимо создать стандартные условия. Одним из важных условий является настройка дефектоскопа по стандартным контрольным образцам, что может обеспечить соответствующую чувствительность ультразвукового метода. Под чувствительностью понимают минимальную площадь отражения в контрольном образце на определенном расстоянии от точки ввода волн в плоскости, перпендикулярной к направлению прозвучивания [3].

Разрабатывая стандартные образцы для настройки приборов, необходимо стремиться к тому, чтобы они наиболее полно имитировали предполагаемые дефекты. Необходимо также помнить, что искусственный отражатель в образце и естественный дефект в объекте, имеющие одинаковые площади и находящиеся на одинаковой глубине в одном и том же материале имеют разные амплитуды эхосигналов. Амплитуда сигнала от естественного дефекта будет меньше, что объясняется кривизной его поверхности, а значит диффузионным отражением ультразвукового сигнала. В работах [2,3,6] приводится описание стандартных контрольных образцов и методики настройки аппаратуры для ультразвуковой диагностики.

Выявление дефектов производят путем перемещения искательной головки по зачищенной зоне поверхности объекта контроля. Эту операцию (сканирование) проводят по заранее выбранной схеме в соответствии с техническими условиями и учетом опыта диагностирования аналогичных объектов. В работах [2,3,6] приведены методики ультразвуковой диагностики конкретных объектов и расчетные зависимости для реализации этого метода неразрушающего контроля.

1.4 МАГНИТНЫЕ МЕТОДЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Основные понятия

Магнитные методы используют для диагностики объектов из ферромагнитных материалов, которые под действием внешнего магнитного поля значительно изменяют свои магнитные характеристики [2]. Данные методы позволяют обнаруживать усталостные, шлифовочные, закалочные трещины и другие дефекты на поверхности объекта контроля, а в сварных швах - непровары, шлаковые включения, поры и т.д. Магнитные методы контроля основаны на регистрации и анализе магнитных полей рассеяния, возникающих в местах расположения дефектов. Эти методы классифицируют по способам регистрации магнитных полей, их насчитывают более шести, но на практике наибольшее применение нашли два: магнитопорошковый и магнитографический.

Использование данных магнитных методов контроля ферромагнитных материалов основано на их особых свойствах реагировать на внешнее магнитное поле. Такой материал без влияния на него магнитного поля состоит из самопроизвольно намагниченных областей-доменов, поля которых компенсируют друг друга и суммарное магнитное поле равно нулю. Под действием внешнего магнитного поля домены ориентируются в направлении действия этого поля и изделие из такого материала намагничивается. Намагничивающее поле характеризуется напряженностью и индукцией. Если объект контроля поместить в магнитное поле и усиливать его напряженность, то индукция самого материала объекта будет расти сначала быстро, затем медленнее и, наконец, прекращается- наступает насыщение. Если снять напряженность намагничивающего поля, то в материале объекта будет иметь место остаточная индукция (остаточная намагниченность материала).

Если намагничиваемый материал сплошной, то магнитный поток в нем распространяется по сечению равномерно. Если же материал объекта имеет несплошности (трещины, посторонние включения и т.п.), то такие дефекты оказывают магнитному потоку большее сопротивление, чем сам материал. Магнитный поток в этом случае как бы обтекает дефект, поле сгущается и частично выходит за границы объекта, распространяясь по воздуху, и затем входит в материал за пределами дефекта (рис. 1.23). Над дефектом магнитное поле называется полем рассеяния.

Поле рассеяния проявляется максимально, если дефект расположен перпендикулярно направлению магнитного потока.

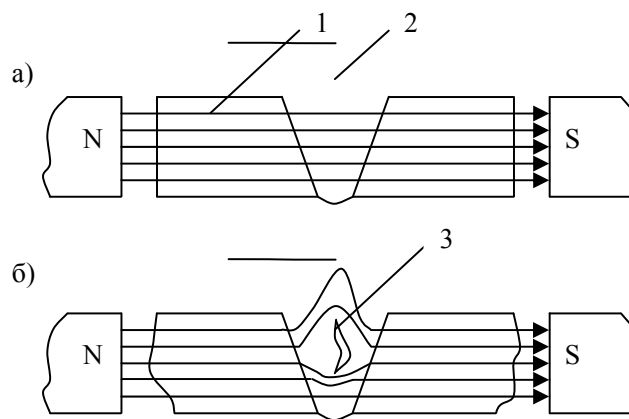


Рис.1.23 Распределение магнитного потока в свариваемых деталях
 а) без дефекта; б) с дефектом
 1-свариваемый материал; сварной шов; 3-дефект

Чтобы обнаружить дефект необходимо использовать способы визуализации и фиксации поля рассеяния. Такими способами являются магнитопорошковый и магнитографический, которые чаще всего применяются при магнитных методах неразрушающего контроля.

1.4.1 Магнитопорошковый метод

Поля рассеяния, образующиеся над местами расположения дефектов, можно обнаружить с помощью порошков. Такие порошки состоят из ферромагнитных частиц, которые, попадая в неоднородное магнитное поле, сосредотачиваются в тех местах, где его силовые линии сгущаются, т.е. по краям дефектов или над дефектами. Намагниченные частицы порошка притягиваются друг к другу, образуя цепочки по магнитным силовым линиям поля рассеяния.

Размеры частиц порошков находятся в пределах 0,1...60 мкм [6]. Порошки получают термическим разложением пентакарбонила железа, размельчением окалина железа, окислением магнетита [6]. В зависимости от цвета контролируемого объекта для лучшей визуализации дефекта используют порошки черного, кирпично-красного цвета и магнитолюминесцентные. В зависимости от способа нанесения порошка различают сухой и мокрый методы магнитопорошковой дефектоскопии. Сухой способ реализуется напылением порошка с помощью специального пульверизатора или сита. Мокрый способ основан на применении суспензий или паст: порошок-жидкость. В качестве жидкости используют воду, керосин, масло.

Для намагничивания объекта контроля используют постоянные магниты, электромагниты, а также пропускание через объект электрического тока (постоянного или переменного). При этом контроль проводят в приложенном поле или остаточного намагничивания.

Для реализации магнитопорошкового метода применяют стационарные, передвижные и переносные дефектоскопы, характеристики которых

приведены в работах [2,6]. Магнитопорошковым методом можно обнаружить дефекты с раскрытием на поверхности до 1мкм и глубиной более 10 мкм [6]. При магнитопорошковом методе осмотр объекта производят невооруженным глазом. Если используют магнитно-люминесцентные порошки, то для освещения объекта применяют ртутно-кварцевые лампы. Освещенность мест контроля должна быть не ниже 1000 лк [6].

По окончании магнитопорошкового контроля производят размагничивание объекта, т.к. намагниченность может вызвать нежелательные последствия: ускорение износа деталей из-за притягивания ферромагнитных частиц, снижение чистоты обработки из-за налипания стружки к резцу и т.п. [3].

1.4.2 Магнитографический метод

Суть магнитографического метода заключается в том, магнитные поля рассеяния от дефектов регистрируются с помощью магнитной ленты. Затем эта запись на ленте преобразуется в сигналы, которые считываются и становятся видны на экране электронно-лучевой трубки. Порядок проведения контроля магнитографическим методом следующий: очистка поверхности объекта, укладка предварительно размагниченной ленты на подготовленную поверхность, намагничивание контролируемого участка, считывание информации с ленты дефектоскопом на рисунке 4.2 в качестве примера приведена схема контроля сварного шва.

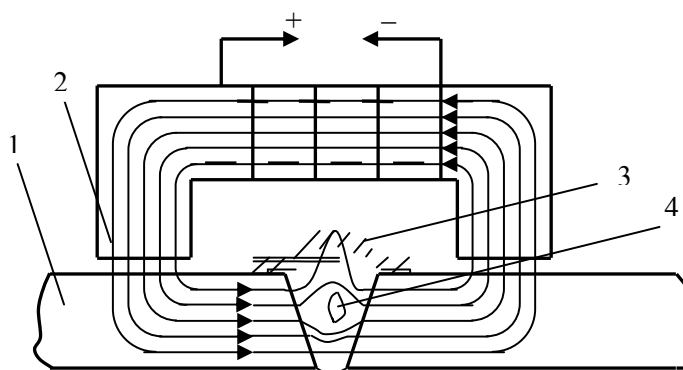


Рис.1.24 Схема проведения магнитографического контроля сварного шва.
1- свариваемое изделие, 2-электромагнит, 3-магнитная лента, 4- дефект.

Для данного вида контроля используют обычную серийно выпускаемую ленту, а также специальную двухслойную. В последнем случае при записи слабые поля рассеяния фиксируются в верхнем слое, а сильные - в нижнем, что объясняется различными свойствами порошков в слоях ленты [6]. Электромагнит питается от источника постоянного тока напряжением 50...60В при силе тока 40...50А. В качестве считывающего устройства в дефектоскопе используют вращающиеся магнитные головки. Сигнал, считанный головками с ленты, усиливается, преобразуется и передается на электронно-лучевую трубку для анализа [2, 3, 6].

1.5 КАПИЛЛЯРНЫЕ МЕТОДЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

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) [6]. 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 [11].

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.

Метод красок основан на использовании пенетрантов, в состав которых входят специальные красители. В качестве примера можно привести следующий состав: 800мл осветленного керосина, 200мл скипидара марки А, 15г темно-красного красителя «Судан-4», 750мл дистиллированной воды, 250мл этилового спирта марки А, 25г химически чистого азотно-кислого натрия, 20г эмульгатора ЭП-10 и 20г красителя «Радомин-С». В качестве проявителя используют следующий состав: 600мл гидролизного спирта, 400мл воды и 300г каолина.

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. [6].

1.6 ВЫБОР МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ ОБОРУДОВАНИЯ

Кроме рассмотренных выше методов неразрушающего контроля существуют и другие: вихретоковые, радиоволновые, электрические, оптические, тепловые, течеискания, и вибрационные. Теоретические основы и средства реализации их наиболее полно представлены в работе [2]. Кроме того, используют для диагностики и разрушающие методы, например, сверление стенки емкостного аппарата с последующим замером её толщины и заваркой места засверловки. Для химического оборудования чаще всего используют методы, которые были рассмотрены выше.

Выбор метода контроля зависит от многих факторов: чувствительности и разрешающей способности его, характеристики диагностируемого оборудования, типа дефектов и многих других факторов. Например, дефекты сварных швов эффективно выявляются в сочетании радиографического метода с ультразвуковым. Часто завершающими методами контроля емкостного оборудования и трубопроводов на прочность и плотность являются гидравлические и пневматические испытания.

Часто трудно дать однозначную рекомендацию по выбору метода, т.к. необходимо учитывать не только особенности объекта контроля, но и наличие диагностических средств у данного предприятия, условия проведения контроля и т.д. Как правило, используют совокупность нескольких методов контроля, и эта совокупность является составной частью экспертизы, которой периодически должно подвергаться химическое оборудование в целях безопасной эксплуатации его [12, 13].

Экспертиза оборудования проводится в соответствии с требованиями нормативных документов Ростехнадзора [14, 15], для проведения её составляется программа, тип которой описан в [16]. В соответствии с этой программой проводятся следующие мероприятия:

1. Анализ технической документации на оборудование.
2. Функциональная диагностика:
 - визуально-измерительный контроль;
 - ультразвуковая толщинометрия и другие методы неразрушающего контроля;
 - испытания на прочность и плотность;
3. Расчет на прочность.

4. Анализ результатов диагностирования.

5. Определение остаточного ресурса

6. Выводы и рекомендации.

Определение остаточного ресурса производится по соответствующим нормативным документам Ростехнадзора, например, для аппаратов, подвергающихся коррозии и эрозии, по следующей зависимости:

$$T=(S_{\phi}-S_p) / a,$$

где S_{ϕ} – фактическая минимальная толщина стенки, мм; S_p – расчетная толщина стенки, мм; a - скорость равномерной коррозии (эрозии), мм/год.

Эта формула используется, если число замеров толщины стенки не превышает 3. Величина «а» определяется по следующей зависимости, если имеется одно измерение контролируемого параметра $S_{\phi}(t_1)$:

$$a= (S_{и}+C_0- S_{\phi}) / t_1,$$

где $S_{и}$ - исполнительная толщина стенки, мм; C_0 - плюсовой допуск на толщину стенки, мм; t_1 - время от момента начала эксплуатации до момента обследования, лет.

По результатам диагностики и в соответствии с рекомендациями принимаются решения по ремонту оборудования.

2 РЕМОНТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Ремонт – процесс восстановления работоспособности машин и аппаратов, в результате которого основные рабочие параметры оборудования приводятся в пределы установленные его технической документацией.

Проблемы ремонта оборудования решает теротехнология это наука об обслуживании техники. Она обобщает и систематизирует принципы и элементы технического обслуживания и ремонта с учетом морального износа. Теротехнология – технология обеспечения эффективного функционирования оборудования в течение всего срока службы. Она увязывает это обеспечение с качеством проектирования, монтажа и эксплуатации оборудования.

В процессе эксплуатации оборудования, детали постоянно изнашиваются и изменяются под влиянием внешних нагрузок, внутренних технологических напряжений и коррозионного воздействия. Этот износ характеризуется отклонениями размеров и формы деталей, изменением механических и химических свойств поверхностных и внутренних слоев деталей. Совокупность таких изменений при достижении определенных границ называется эксплуатационным повреждением детали. Оно устраняется ремонтом или заменой данного узла. Для удлинения срока работы деталей необходимы:

- а) переход от приближенных расчетов на статическую прочность к расчетам учитывающим усталость при повторно переменных нагрузках;
- б) учет явлений концентрации напряжений;
- в) применение износостойчивых материалов;
- г) поверхностное упрочнение деталей и т.п.

Ремонт оборудования включает в себя комплекс мероприятий, осуществляемых с целью восстановления нормальной работоспособности деталей, узлов, агрегатов. Технологические ремонты состоят из следующих этапов:

- разборка машины и ее дефектация,
- ремонтная обработка детали,
- сборка узлов и машин с проверочными операциями,
- испытание машин и аппаратов.

2.1 ОРГАНИЗАЦИЯ РЕМОНТНОЙ СЛУЖБЫ ПРЕДПРИЯТИЯ

Ремонтом и эксплуатацией технологического оборудования, сооружений и коммуникаций руководит служба главного механика предприятия. Главный механик подчиняется главному инженеру и директору. Структура ремонтно–механического хозяйства завода представлена на рис. 2.1.

Служба главного механика выполняет следующие работы:

- надзор за состоянием оборудования и строительных конструкций;
- составление плана на ремонт оборудования;

- организация мероприятий по ремонту;
- внедрение новых процессов по ремонту оборудования;
- контроль стоимости ремонтных работ;
- составление отчетов по ремонту;
- разработка чертежей по ремонту оборудования приспособлений, механизмов;
- собственно ремонт.

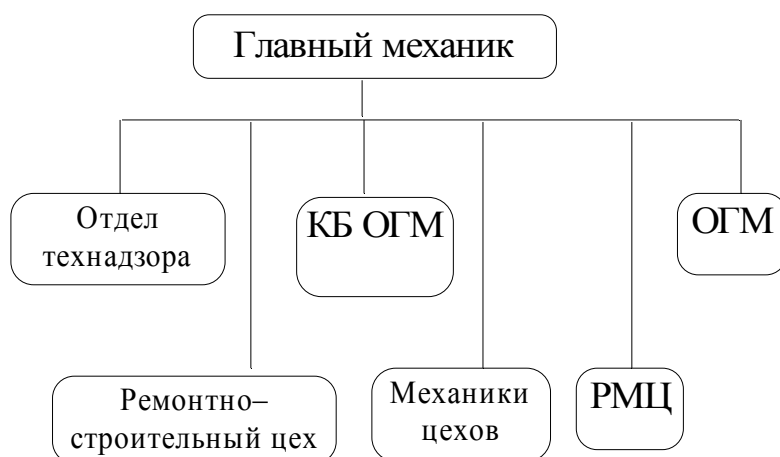


Рис. 2.1 Структура ремонтно–механического хозяйства завода

Сама ремонтная служба может быть централизованной, децентрализованной и смешанной. *Централизованная* служба предполагает что ремонт всего оборудования выполняется силами РМЦ. Для *децентрализованной* службы характерно то, что все виды ремонтных работ выполняются на ремонтных участках технологических цехов. При *смешанной* службе ремонт проводится как силами РМЦ, так и силами ремонтных отделений технологических цехов.

2.2 СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА

Для поддержания в рабочем состоянии технологического оборудования необходим комплекс организационных и технических мероприятий по обслуживанию и ремонту машин и аппаратов, трубопроводов и арматуры. Наиболее распространенным таким комплексом является система планового предупредительного ремонта (ППР). При этом мероприятия по обслуживанию и ремонту оборудования проводятся по заранее составленному плану для обеспечения безотказной работы оборудования.

Цели, которые достигаются при реализации системы ППР следующие:

- предупреждение аварий оборудования;
- возможность выполнения ремонтных работ по плану, согласованному с планом производства;
- своевременная подготовка запчастей материалов и минимальный простой оборудования в ремонте.

Для каждого конкретного производства система ППР реализуется в виде графика, составляемого на 1 год службой главного механика. В графике на каждую единицу основного оборудования указываются виды ремонта (Т – текущий, К – капитальный) и сроки проведения их по месяцам. Также предусматриваются нормативы времени на производство ремонтных работ по каждому виду ремонта (Т₁ – первый текущий ремонт; Т₂ – второй текущий ремонт) и указывается исполнитель (ремонтная бригада).

График плановых ремонтов оборудования на 200...год

Наименование оборудования	инв №	марка модель	Кат. Сложн.	Последний ремонт		Количество ремонтов							Трудоемкость			Исп									
				вид	дата	Всего	В том числе							Т ₁	Т ₂		К								
							Т ₁	Т ₂	К	Я	Ф	М	А					М	И	И	А	С	О	Н	Д

Гл. механик _____

На основании годового графика составляется месячный график плановых ремонтов с уточнением дат ремонта. В этом графике указывается трудоемкость по каждому виду ремонта и исполнители.

График плановых ремонтов оборудования на месяц 200...года.

Наименование оборудования	Инв №	Вид ремонта	Дата выполнения ремонтов (начало, окончание)			Трудоемк., чел-час	Исп	При м
			1	...	31			

Гл. механик _____

В процессе реализации ППР содержание и объем каждого ремонта устанавливается с учетом выявленного состояния агрегатов. При составлении плана учитывается межремонтный цикл – это время работы оборудования между двумя капитальными ремонтами. В ремонтный цикл входят кроме Т₁, Т₂ и К также и техническое обслуживание ТО.

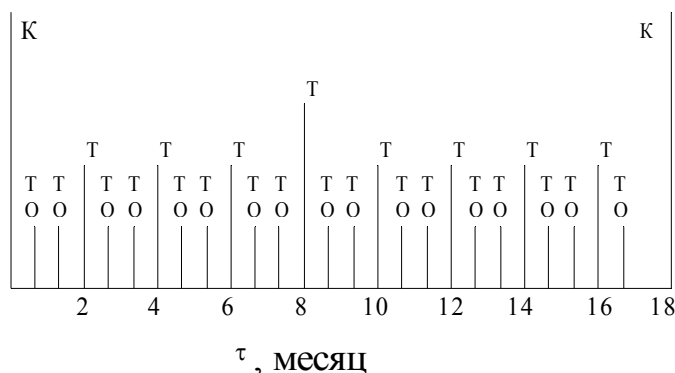


Рис. 2.2 Схема межремонтного цикла

Ремонтный цикл связывает виды ремонтов и сроки проведения их по месяцам. Его можно изобразить следующим образом.

Составление графиков ППР и учет их выполнения сложная техническая задача, для решения которой используют быстродействующие ЭВМ и создают автоматизированные системы управления. Для создания и внедрения АСУ необходимо иметь пять видов обеспечения: организационное, информационное, математическое, программное и техническое.

Организационное обеспечение – взаимодействие персонала с техническими средствами и между собой.

Информационное обеспечение – система документооборота, оптимизированная путем возможного сокращения действующих документов строгим ограничением потоков информации при обеспечении полноты и достоверности.

Математическое обеспечение – совокупность математических методов и моделей для обработки информации и решении задач.

Программное обеспечение – использование типовых программ при решении вышеизложенных задач.

Техническое обеспечение – комплекс технических средств, состоящий из ЭВМ с дополнительными устройствами и системой связи.

2.2.1 Виды обслуживания и ремонтов

Система ППР предусматривает следующие виды обслуживания и ремонтов: а) техническое обслуживание; б) текущий ремонт; в) капитальный ремонт.

Техническое обслуживание – это эксплуатационный уход и мелкий ремонт оборудования. Данное мероприятие включает наружный осмотр, смазку, проверку заземления, подтяжку креплений, замену предохранителей и т.п. Техническое обслуживание осуществляется эксплуатационным персоналом: аппаратчик, слесарь, электрик. Все неисправности фиксируются в сменном журнале. Изложенное выше показывает, что техобслуживание иногда требует остановки оборудования. Следует отметить, что эти остановки невозможно предусмотреть.

Текущий ремонт – выполняется с разборкой отдельных сборочных единиц; включает следующие операции: промывку оборудования,

регулировку узлов, ремонт и замену деталей, ремонт антикоррозионных покрытий.

В зависимости от характера и объема работ текущий ремонт часто подразделяют на два вида T_1 и T_2 . Текущий ремонт T_1 включает в себя очистку оборудования и осмотр его, регулировку зазоров в узлах машин, подтяжку или замену уплотнений, мелкий ремонт систем охлаждения и смазки. Текущий ремонт T_2 кроме работ, предусмотренных ремонтом T_1 , включает в себя центровку и балансировку вращающихся деталей, замену и ремонт подшипников и зубчатых колес, а также испытание оборудования.

Текущий ремонт можно производить в нерабочие смены, а при непрерывном процессе в дни специально предусмотренные планом. Выявленные дефекты и результаты текущего ремонта регистрируются в ремонтной карте.

Капитальный ремонт – характеризуется одновременной заменой большого количества деталей, сборочных единиц и комплексов. При капитальном ремонте оборудование полностью восстанавливается. В этот ремонт входят: промывка и полная разборка оборудования, ремонт и замена деталей и сборочных единиц, проверка фундаментов и станин, сборка машины с испытанием на холостом ходу и под нагрузкой. Также в капитальный ремонт могут быть включены работы по модернизации и автоматизации оборудования.

После капитального ремонта оборудование сдается по акту комиссии в составе главного механика, инженера, отдела технадзора, инженера по ТБ и начальника производства. Следует отметить, что при планировании ремонтов с длительной остановкой оборудования, особенно капитального ремонта, предусматривают проводить эти мероприятия в теплое время года, т.к. часть оборудования находится на открытых площадках.

Перед остановочным ремонтом должны быть проведены подготовительные работы: сооружения лесов, изготовление фланцев, получение сложных узлов с машиностроительных заводов. Для остановочного ремонта разрабатывается проект проведения ремонта, который включает следующие этапы:

- подготовка техдокументации (чертежи оборудования, ремонтные чертежи);
- описание технологии ремонта;
- описание и подготовка ремонтной оснастки;
- составление дефектной ведомости.

В дефектной ведомости перечисляются дефекты по каждому узлу с указанием заменяемой или ремонтируемой детали. Она является основным документом для определения стоимости ремонтных работ. В ней указываются все детали и узлы, подлежащие ремонту, стоимость всех работ. Также определяются трудоемкость ремонтных работ, количество ремонтных рабочих. Она имеет следующий вид.

Ведомость дефектов
 на _____ ремонт. Заказ № _____
 Наименование оборудования _____
 инв. № _____ марка _____ модель _____

Наимено- в. детали, сборочн ой единицы	№ черте жа	Кол-во детале й, сбороч ных единиц	Опи сани е дефе кта	Наимено в. ремонтн ых работ	Наимено в. материа- лов и покупны х изделий	Масс а	Стоимость	Объем работ, чел-час	Потр. кол-во рабочих
---	------------------	---	---------------------------------	--------------------------------------	---	-----------	-----------	----------------------------	----------------------------

Дата составления ведомости: _____

Место ремонта: _____

Представитель службы главного механика: _____

Бригадир ремонтников: _____

2.2.2 Заготовка запасных частей

Перед ремонтом необходимо получить сложные узлы (трубные пучки, роторы компрессоров и т.п.) с машиностроительных заводов. Необходимо также иметь определенный запас деталей для ремонта. Различают две группы запасных деталей: а) систематически заменяемые детали; б) резервные детали, заменяемые при капитальном ремонте, аварии и внеплановом ремонте.

Норма запаса деталей определяется по выражению:

$$H = \frac{A D P K_a K_d}{T},$$

где: A – количество действующих однотипных машин; D – количество однотипных деталей в одной машине; P – срок, на который следует делать запас (он равен сроку на заказ, изготовления, поставку детали); K_a и K_d – поправочные коэффициенты, зависящие от A и D ; T – срок службы данной детали.

Следует отметить, что K_a и K_d можно определить по следующей таблице.

A	K_a	D	K_d
1...5	1	1	1
6...10	0,9	2	0,8
11...15	0,8	3...4	0,7
16...20	0,7	5...6	0,6
21...25	0,6	7...8	0,5
26...30	0,5	9...10; 11...12	0,4; 0,3

2.3 ИЗНОС ДЕТАЛЕЙ И БОРЬБА С НИМ

В процессе эксплуатации оборудования могут изнашиваться как отдельные детали его валы, втулки, шестерни, и т. п. так и повреждаться аппараты в целом (загрязнение, разгерметизация, эрозионный и коррозионный износ поверхностей). Износ деталей может происходить под механическим, тепловым и химическим воздействием.

Механический износ деталей – неизбежный естественный процесс. Борьба с ним заключается в обеспечении условий, уменьшающих скорость износа. Так, механический износ вследствие трения уменьшают за счет своевременной смазки. Механический износ проявляется и в пластической деформации деталей. Например, валы подвергаются кручению и изгибу. Шпонки под нагрузкой пластически деформируются. Механический износ может происходить за счет эрозионного воздействия сыпучего материала или жидкости при транспортировке.

Коррозионный износ происходит при химическом взаимодействии материала детали с окружающей средой. Следствия этого: уменьшение размера детали, коррозионное растрескивание сварных соединений. Для уменьшения коррозии используют методы нанесения защитных покрытий, внесение в перерабатываемую среду ингибиторов коррозии.

Температурное разрушение деталей и их деформация является следствием ползучести металлов. Так, для углеродистых сталей ползучесть проявляется при температуре выше 375 °С, для легированных выше 420 °С. Чтобы избежать ползучести, наиболее ответственные детали оборудования охлаждают.

2.3.1 Способы восстановления деталей

Изношенные детали восстанавливают следующими способами:

а) сварка дуговая ручная и автоматическая под флюсом и в углекислом газе; сваркой восстанавливают станины и корпусные детали;

б) наплавка – процесс увеличения размеров изношенных деталей электродуговым способом с последующей обработкой детали на заданные размеры; наплавку используют для восстановления валов, червячных роторов, втулок и т.п.;

в) металлизация – процесс нанесения расплавленного металла с помощью сжатого воздуха; такое напыление осуществляется послойно до 10 мм;

г) электрохимическое покрытие – это процессы хромирования, никелирования, цинкования до 3 мм;

д) пластические деформации – правка, раздача, обжатие и т.п.

Правка применяется для устранения изгиба, коробления и т.п. Обжатие и раздача применяются для изменения размеров деталей (втулок, пальцев).

2.4 ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ

Работоспособность технологического оборудования во время эксплуатации постепенно падает вследствие ряда изменений. К этим изменениям относятся:

а) загрязнение рабочих поверхностей, что ведет к уменьшению полезной емкости, снижению теплопроводности;

б) потеря герметичности соединений отдельных частей аппаратов, которая ведет к снижению производительности или исключает дальнейшую эксплуатацию;

в) поверхностный износ снижает толщину стенки аппарата и выводит его из строя;

г) местные изменения формы аппарата ведут к снижению надежности

д) местные нарушения целостности стенок аппарата в виде трещин и течей также исключают дальнейшую эксплуатацию его.

Загрязнения рабочих поверхностей происходит из-за механических примесей в исходном сырье, отложения накипи или кристаллов и т.п. Устраняется это чисткой.

Потеря герметичности возникает вследствие агрессивного воздействия среды, снижения упругих свойств прокладки и болтов, а также повреждения целостности неразъемных соединений: сварки, клепки, пайки. Устраняются эти неполадки подтяжкой болтов, сменой прокладок, переваркой швов. На все аппараты, работающие под давлением, должны составляться браковочные нормы и правила эксплуатации. Для сохранения запаса прочности вводится добавка на коррозию. Для того, чтобы избежать повреждения, изменения формы аппарата необходимо предусматривать распорки, ребра жесткости.

Трещины и свищи чаще всего появляются в местах концентрации напряжений (сварные швы, изгибы и т.п.). Поэтому аппараты в соответствии с ППР должны подвергаться переосвидетельствованию и текущему ремонту.

2.5 ПОДГОТОВКА ОБОРУДОВАНИЯ К РЕМОНТУ

Первичная подготовка (проведение мероприятий по технике безопасности):

а) аппарат отключают от действующих агрегатов, ставят заглушки на трубопроводы;

б) предварительно продувают паром или инертным газом и выпускают отработанную смесь из аппарата через "свечу";

в) среду в аппарате проверяют на вспышку и токсичность (берут пробу).

Предварительная очистка аппарата:

а) кислотную аппаратуру промывают слабым раствором щелочи, а потом водой;

б) щелочную – горячей водой или паром;

в) аппараты с горючим газом или воспламеняющимися жидкостями – горячей водой, паром или инертным газом.

Окончательная очистка аппарата производится а) химическим; б) термическим; в) механическим способами.

Легированные стали чистят химическим путем чаще всего. При этом используют пасту состоящую из соляной кислоты – 30 %, глины – 60 %, воды – 9,9 % и ингибитора – 0,1 %. Паста наносится на поверхность слоем в 8...10 мм и снимается через 8...20 часов в зависимости от слоя окислов. Затем поверхность промывают 10...15 % раствором Na_2CO_3 или 2...3 % раствором NaOH . В качестве примера рассмотрим химический способ очистки трубчатki (рис. 2.3). Для этой очистки применяют 8...10 % раствор HCl с ингибитором при температуре 60 °С. Раствор циркулирует по прямому и обратному ходу.

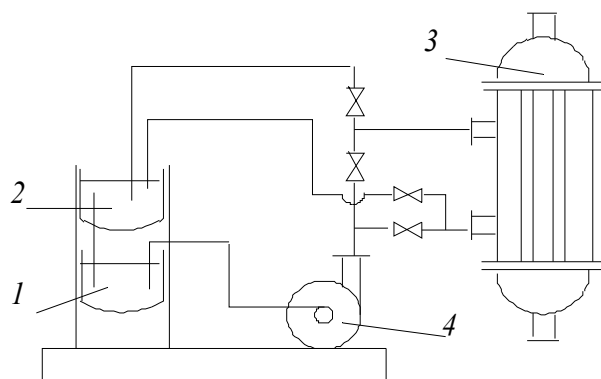


Рис. 2.3 Схема химического способа очистки: 1 – бак; 2 – отстойник; 3 – теплообменник; 4 – насос.

Термическая очистка поверхности – основана на использовании различия коэффициентов линейного теплового расширения металла и загрязняющей его накипи. При изменении температуры поверхности загрязнения отслаиваются и уносятся струей воздуха или воды. На практике эту очистку осуществляют прогревом поверхности специальными кислородными горелками или резкими изменениями температуры теплоносителя.

Механический способ очистки – широко распространен, т.к. исключает коррозию металла и обеспечивает наиболее полное удаление всех загрязнений, в том числе химически нерастворимых кокса, пеков, силикатных отложений и т.п. Недостатки этого способа – малая производительность и трудоемкость. Он может проводиться с помощью гидромонитора (рис. 2.4).

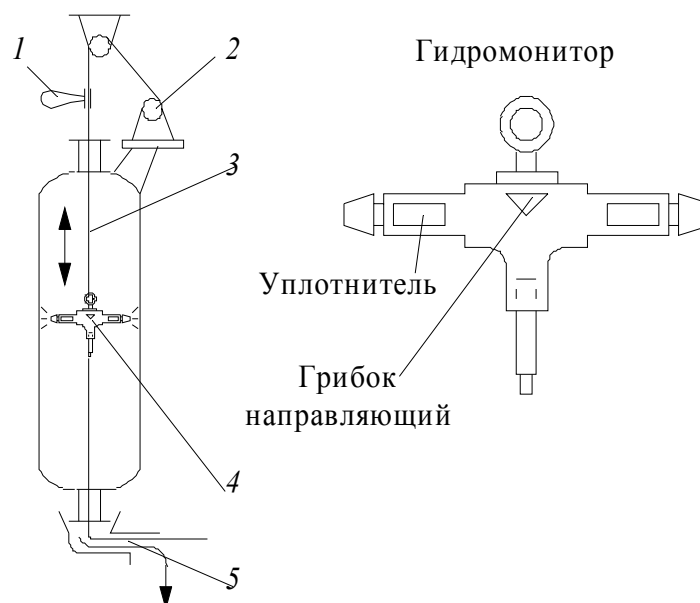


Рис. 2.4 Схема гидромонитора для механической очистки оборудования:
 1 – ключ для поворота гидромонитора; 2 – лебедка; 3 – цепь;
 4 – гидромонитор; 5 – шланг.

Ручная очистка поверхности производится щетками, копьями, ершами. Для механизации этого процесса используют гидростолет для проталкивания ершей, а также специальные устройства, работающие на принципе вращательного бурения.

2.6 РЕМОНТ ОБОРУДОВАНИЯ ЕМКОСТНОГО ТИПА

Обычно оборудование емкостного типа – это аппараты периодического действия с рубашками, змеевиками и перемешивающими устройствами. По конструкции они весьма разнообразны. Их можно классифицировать:

по материалу: а) литье из чугуна, стали; б) сварные стальные; в) из цветных металлов;

по конструкции: а) с рубашками и змеевиками; б) с мешалками без теплопередающих устройств; в) с мешалками и теплопередающими устройствами.

Ремонт таких аппаратов сводится к ремонту корпуса (трещины, вмятины), а также к ремонту змеевиков, рубашек, мешалок.

2.6.1 Ремонт корпуса аппарата

Описанные выше схемы дефектоскопии часто применяют для емкостного оборудования. При этом различают 3 типа обнаруженных трещин:

- несквозные, неглубокие (глубина не более 1/4 толщины сечения);
- сквозные узкие трещины;
- сквозные широкие трещины с расхождением кромок более чем на 15 мм.

Все трещины, поры и свищи устраняют сваркой или пайкой в зависимости от металла.

Сварка трещин первого типа.

Трещины подготавливают под заварку односторонней вырубкой на максимальную глубину со снятием кромок под углом 50...60°. Длинные трещины заваривают для снижения термичного эффекта участками.

Сварка трещин второго типа.

Трещины разделяют с одной или с двух сторон на всю толщину вырубкой зубилом, либо прорезкой газом. Соответственно, сварные швы имеют вид, представленный на рис. 2.6.

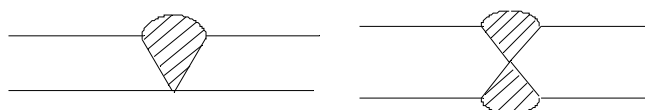


Рис. 2.6 Сварка трещин второго типа

Устранение трещин третьего типа.

Участок поверхности с трещиной вырезают газом, затем вваривают заплату. Длина вырезаемого участка на 50...100мм больше длины трещины. Заплата заваривается “заподлицо” с основным участком и она должна иметь ту же форму, что и ремонтируемая поверхность. Площадь одной заплаты не должна превышать 1/3 поверхности листа аппарата в месте ремонта.

Ремонт вмятин и выпучин.

Вмятины на поверхности аппарата появляются под воздействием внешнего давления, выпучины – от внутреннего. Прежде всего эти дефекты проверяют на отсутствие трещин, а затем правят в горячем состоянии с местным прогревом до 850...900 °С. Правка прекращается при температуре 60 °С во избежание синеломкости. Правка производится с помощью домкрата, струбцин и болтов.

2.6.2 Ремонт змеевиков

Змеевики, если они находятся внутри аппарата, подвержены коррозионному, тепловому и абразивному воздействию продукта и теплоносителя, а также вибрации и гидравлическим ударам. Наиболее часто бывают прогары и разрывы труб. Они ремонтируются следующим образом.

Текущий ремонт: дефектные участки вырезаются и на их место ввариваются новые элементы. *Капитальный ремонт:* змеевики, как правило, заменяются полностью.

Качество и долговечность змеевиков зависит от совершенства операции гибки и сварки змеевиков, т.к. при этом могут быть утончение стенок, овализация и складкообразование.

2.6.3 Ремонт мешалок

В промышленности применяют различные типы мешалок: якорные, рамные, пропеллерные, турбинные и др. Часто мешалки работают в коррозионной среде, поэтому их делают съемными и крепят к валу с помощью безболтовых соединений. Износ мешалок допускается в больших пределах, поэтому замена их производится лишь при капитальном ремонте. Исключение – якорные мешалки, у которых зазор между якорем и корпусом должен быть в пределах 5...20 мм, поэтому приходится делать наплавку якоря.

2.7 РЕМОНТ КОЖУХОТРУБЧАТЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ

Текущий ремонт теплообменника производится в следующей последовательности: а) разборка аппарата; б) чистка трубных поверхностей; в) испытание на герметичность; г) отключение дефектных труб пробками; д) смена уплотнений разборных соединений; е) сборка и испытание аппарата.

Капитальный ремонт включает в себя смену большинства труб, а также ремонт корпуса и трубных решеток.

Забивка дефектных труб пробками или заварка их применяется в том случае, когда число дефектных труб не более 10 %. Если же их больше 10 %, то проводят смену труб, чтобы не уменьшать поверхность теплообмена. Дефектную трубу на сварке удаляют вырубкой кольцевого шва вручную или срезанием торца трубы и валикового шва специальной фрезой с приводом от гибкого вала или переносной дрели.

Если трубы развальцованы, то для их смены места развальцовки вырезают специальным труборезом. Затем концы труб отжимают от трубной доски и легко вынимаются. После удаления труб отверстия в решетках зачищают.

Если трубчатый аппарат работает под давлением, то для использования сварных труб необходимо выполнить два условия:

- число стыков должно быть не более одного на каждые два погонных метра трубы;
- расстояние шва до внутреннего торца решетки должно быть более 50 мм.

2.7.1 Ремонт крепления труб

Трубы в трубных решетках крепят следующими способами: а) развальцовкой; б) сваркой; в) пайкой (медные трубы); г) манжетное и сальниковое крепление (чугунные трубы).

Развальцовка – процесс пластической деформации стенок трубы, приводящий к увеличению диаметра трубы и отверстия в трубной решетке. Т.к. зазор между отверстием (очком) и трубой равен 0,02...0,08 от наружного диаметра трубы, то относительная деформация металла лежит в границах

площадки текучести, поэтому развальцовку можно проводить без нагрева, но не при минусовых температурах. Перед развальцовкой концы труб отжигают при температуре 700...800 °С, зачищают до блеска и зашлифовывают с торца для снятия заусенцев.

Принцип действия самой вальцовки основан на раскатке конца трубы веретеном конической формы с роликами. Веретено продвигается постепенно вглубь трубы, раздвигая ролики, которые при этом расширяют трубу. Одновременно с продольной подачей веретена ему сообщается вращательное движение. Развальцовка каждой трубы должна заканчиваться при достижении так называемой степени развальцовки Δ .

$$\Delta = \frac{d' - d - 1,25S}{D} 100\% = 1..2\%$$

где: d' – внутренний диаметр трубы после развальцовки; d – внутренний диаметр трубы до развальцовки; S – исходный зазор, равный 2 % наружного диаметра трубы, т.е. $S = 0,02d_{\text{НАР}}$; D – диаметр отверстия.

Недовальцовка считается, если $\Delta < 1\%$, *перевальцовка* – $\Delta > 2\%$. После развальцовки выступающие края труб срезают до размера 10 мм.

2.7.2 Повреждения и ремонт трубной доски

Повреждения трубной доски – это чаще всего трещины от термических напряжений или от остаточных напряжений технологического происхождения. Обычно трещины бывают между смежными очками. Заварка их производится также, как и емкостных аппаратов, однако учитывают следующее:

— расстояние от завариваемой трещины до центра ближайшего отверстия должно удовлетворять значению:

$$l > (0,75t - 0,5D),$$

где t – шаг отверстий; D – диаметр отверстий;

— если трещина доходит до края очка или $l < (0,75 \cdot t - 0,5 \cdot D)$, применяется вварка усиливающей втулки в предварительно расточенное очко. Высота этой втулки равна 3σ , где σ – толщина трубной решетки.

2.8 РЕМОНТ РЕКТИФИКАЦИОННЫХ КОЛОНН

В процессе работы колонна загрязняется, корродирует, теряет герметичность.

Текущий ремонт колонны заключается в проведении следующих мероприятий: очистка, ремонт уплотнений разъемных соединений.

Капитальный ремонт включает замену прокорродированных царг, тарелок. Капитальный ремонт тарельчатых колонн состоит из следующих операций: а) пропарка и продувка; б) отсоединение коммуникаций; в) демонтаж царг вместе с тарелками; г) дефектация царг, тарелок и колпачков; д) ремонт тарелок; е) сборка тарелок и царг; ж) монтаж колонны; з) испытание колонны.

Применительно к насадочным колоннам операции г), д), е), где речь идет о тарелках, заменяются разгрузкой насадки ее промывкой, пополнением и загрузкой насадки в колонну.

При ремонте тарелок основными требованиями являются проверка и подгонка установочных размеров. Необходимо, чтобы верхние торцы паровых патрубков находились в одной плоскости, а колпачки на одном расстоянии от плоскости тарелки. Собранные и проверенные царги собирают на месте установки колонны, часто монтаж царг осуществляется по принципу сверху вниз.

Метод монтажа сверху вниз полезен при установке колонн внутри здания и небольшого веса. Вначале поднимают на высоту одной царги верхнюю царгу, подводят под нее следующую, соединяют их, и поднимают вместе на ту же высоту и т.д. Вертикальность колонны проверяют по отвесу. Замерив фактические диаметры D фланцев царг промеряют линейками расстояния от фланцев до отвеса b .

Колонна установлена вертикально, если:

$$\frac{D_1}{2} + b_1 = \frac{D_2}{2} + b_2 + \dots + \frac{D_i}{2} + b_i$$

После установки колонну испытывают в целом.

2.9 РЕМОНТ КОМПРЕССОРОВ

В процессе работы поршневых компрессоров систематически изнашивается ряд основных деталей. По сроку службы эти детали могут быть разбиты на следующие три основные группы:

а) быстроизнашивающиеся детали: клапанные пружины, поршневые кольца;

б) детали, изнашивающиеся в течении более продолжительного срока: шатунные болты, вкладыши шатунов и коренных подшипников;

в) детали с длительным сроком службы: коленчатые валы, шатуны, цилиндры и поршни.

Виды ремонта компрессоров

Текущий ремонт производится через 700...1500 часов непрерывной работы в зависимости от отношения давлений, свойств сжимаемого газа, его агрессивности, загрязненности и т.д. Для этой категории ремонта специфична замена деталей 1 группы и небольшой объем обработки с регулировкой деталей 2-ой группы. Капитальный ремонт производится через 18000...30000 часов работы и заключается в полной разборке машины с заменой и восстановлением деталей всех трех групп с обеспечением номинальных зазоров. Простой на ремонт при этом составляет 8...15 суток, а трудовые затраты 300...600 чел. – часов.

Основные методы ремонта важнейших деталей компрессорных машин

Коленчатый вал. Износ шеек и искажения их формы определяются микрометром в двух перпендикулярных положениях и трех сечениях по длине шеек вала. Абсолютная величина искажения формы, при которой вал должен быть подвергнут ремонту, составляет 0,06...0,07 мм при $D = 80...120$ мм. Уменьшение диаметра вала на 3 % от нормального значения требует ремонта.

Повреждения *коренных подшипников.* Это износ нагруженной поверхности вкладыша: трещины, отслаивание заливки и т.д.. При ремонте вкладыши заливают баббитом марок Б10, Б16, Б83. Если глубина износа менее 1/2 толщины заливки, то зазор уменьшают, убирая подкладку в разьеме вкладыша. При большой глубине износа производят перезаливку и расточку вкладышей.

Поршни. У них износ больше всего происходит по торцевым поверхностям пазов для колец и по наружной цилиндрической поверхности. При износе пазов их растачивают и ставят более толстые кольца. Браковка поршня производится по величине зазора цилиндр–поршень. Номинальный зазор равен $^{0,001}_{-0,002D}$ цилиндра; брак в случае, если величина зазора больше 2 номинальных зазоров.

Иногда поршни ремонтируют так: поверхность поршня растачивают, делают канавки между поршневыми кольцами, заливают баббитом и обтачивают на номинальный диаметр.

Цилиндры. При износе цилиндра меняется его форма (эллиптичность, конусность и т.д.). Это обнаруживается измерением диаметра цилиндра в трех сечениях по длине цилиндра, во взаимно перпендикулярных направлениях в каждом сечении.

Ремонт поршня заключается в расточке его и запрессовке чугунной гильзы. Затем гильзу растачивают на номинальный размер.

Клапаны. Текущий ремонт клапанов (пластин и седел) заключается в их притирке и очистке от нагара. Иногда пластины шлифуют, но не более чем на 1/3 толщины. При обнаружении трещин или глубинных рисок пластины заменяют. Пластины малых размеров изготавливают из углеродистой или инструментальной стали. Крупные пластины– из легированных сталей. Обработка новых пластин заключается в шлифовке и закаливании.

2.10 РЕМОНТ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ

В процессе эксплуатации происходят не только изменения узлов и деталей насоса, но также его фундамента и станины. При составлении дефектной ведомости проводится замер осадки фундамента, наличия трещин в нем, зазоров между основанием фундамента и полом цеха. При наличии трещин и проникновении масла в массив фундамента он подвергается

ремонту. При этом дефектная часть удаляется до прочного монолитного слоя и закладывается новый бетон.

Станина насоса может изменить свою форму в результате осадки фундамента. На ней могут появиться трещины из-за неравномерной затяжки ее. Также могут ослабнуть крепления станины к фундаменту и появиться зазоры между ее основанием и бетоном. Если имеются большие изменения формы станины, трещины в ней и периметр ее не прилегает к фундаменту на 50 % длины, то рама снимается с фундамента, отсоединяется от насоса, форма ее исправляется, трещины завариваются. Затем переходят к дефектации и ремонту самого насоса.

При работе насоса чаще всего выходят из строя и ремонтируются следующие его узлы: ротор, подшипники, уплотнения, полумуфты, корпус. Во время *техосмотра* проводят следующие мероприятия: а) проверяют осевой и радиальный разбеги ротора; б) очистка и промывка подшипников; в) ревизия сальникового уплотнения; г) проверка муфт.

При *текущем ремонте*: а) разборка насоса и проверка зазоров; б) ревизия и замена деталей уплотнения.

При *капитальном ремонте*: а) ревизия всех сборочных единиц и деталей; б) замена рабочих колес, валов, уплотнений.

Перед ремонтом насос отключают, промывают и делают следующие замеры: а) смещение ротора в радиальном направлении; б) осевой разбег ротора; в) несовпадение осей насоса и привода.

После таких замеров насос разбирают, детали промывают при 100 °С в 10 процентном растворе NaOH в течение 30 минут, промывают водой и сушат. Затем проводят дефектацию на специальном месте, оснащенном необходимыми приборами и инструментами. Результаты дефектации заносят в дефектную ведомость. Необходимо отметить, что существуют нормы на износ деталей, разработанные соответствующим НИИ или заводом-изготовителем. После дефектации детали сортируют на три группы: а) детали, годные к работе в сопряжении с новыми деталями; б) детали, подлежащие ремонту; в) детали, непригодные для дальнейшего использования.

Ремонтируют узлы и детали насоса, обычно, следующим образом.

Корпус насоса. Коррозионный и эрозионный износ устраняется наплавкой металла, электросваркой с последующей расточкой. Привалочные поверхности протачиваются или фрезеруются.

Ротор. Вал ротора может искривляться, диаметр его уменьшается, изменяет форму.

При ремонте вал исправляют: изношенные части его подвергаются электролитическому восстановлению или наплавке с последующей расточкой под требуемый размер. Колесо ротора как и корпус насоса подвергается коррозионному и эрозионному износу и ремонтируется аналогично. Затем проводят балансировку ротора.

Уплотнения. Сальниковую набивку меняют, а при необходимости ремонтируют или заменяют детали уплотнения. Если применяют торцевое уплотнение, то чаще всего при ремонте меняют пары трения.

Подшипники. Осевое и радиальное смещение ротора чаще всего происходит из-за неисправности подшипников. В подшипниках не должно быть: а) трещин и выкрашивания металла на кольцах и телах качения; б) выбоин на беговых дорожках колец; в) шелушения металла.

При обнаружении этих и других дефектов подшипник меняют.

После ремонта насос собирают, выверяют при установке на рабочем месте и испытывают. Испытание сводится к следующему: а) кратковременный пуск для определения направления вращения; б) при необходимости прогрев насоса, если перекачивают горячие жидкости; в) испытание на рабочем режиме 2 часа.

Методические указания по выполнению лабораторных работ

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).

Лабораторная работа №1

УЛЬТРАЗВУКОВОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

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

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).

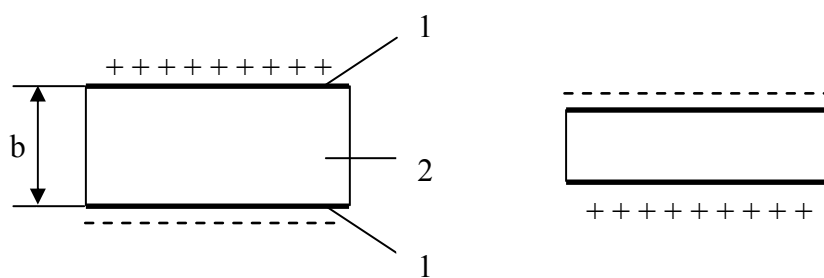


Рис.1.1 Пьезопреобразователь.

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 сопротивлений 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 донным концом искательной головки и объектом контроля помещают тонкий слой минерального масла, устраняя таким приемом 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 приема 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.

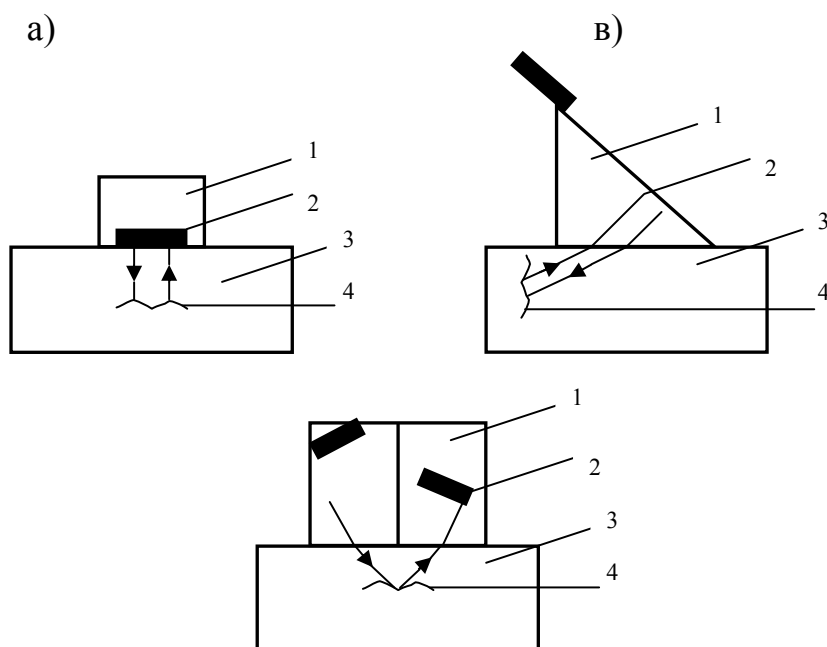


Рис.1.2 Основные типы искателей.

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°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

	Скорость
Алюминий	6260
Пинк	4170
Серебро	3600
Золото	3240
Олово	3230
Железо и сталь	5900
Мель	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
Пирконий	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 образца						

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?

Лабораторная работа №2

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.

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, измеряя 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).

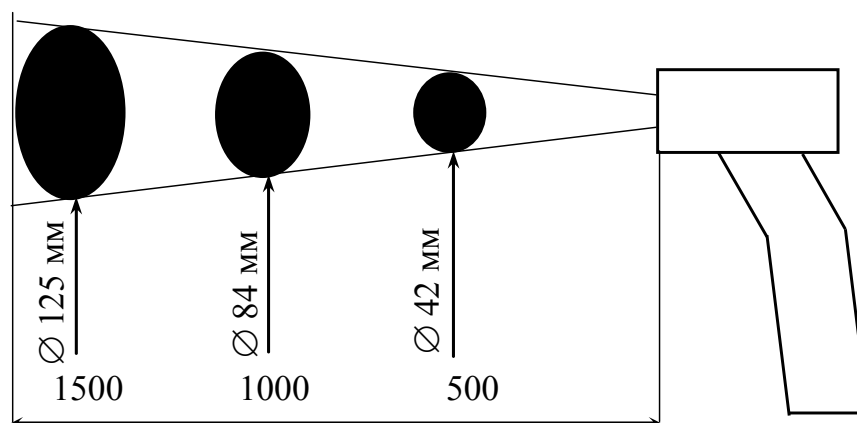
В процессе теплового излучения энергия перемещается, что позволяет измерять температуру тела на расстоянии. Тепловая энергия и характеристики длины волны ее излучения напрямую зависят от температуры тела, излучающего данную энергию.

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 (ϵ) в диапазоне длины волны (λ) от 8 до 14 μm 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 μm . 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 ϵ . 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)	ϵ
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
Неметаллы			
Материал	Качество	Температура (°С)	ε
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 ₂	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.)

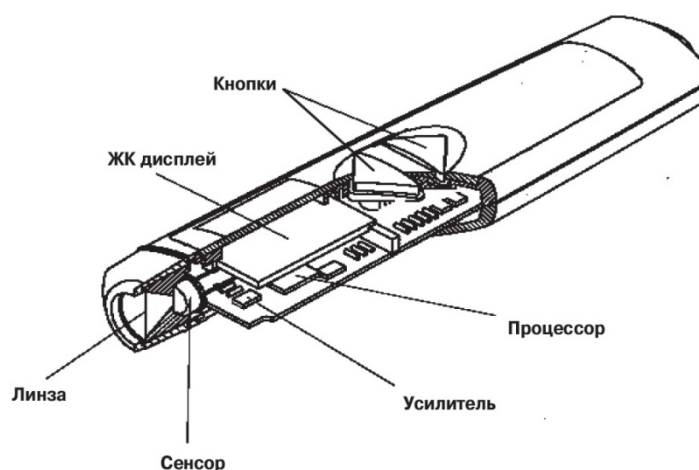


Рис. 2.2 Схема пирометра.

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 ϵ , включение лазера и подсветки.

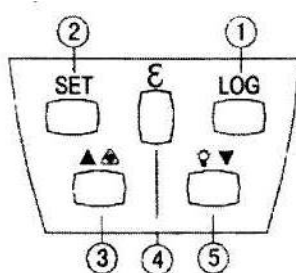


Рис. 2.3 Вид клавиатуры управления

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.

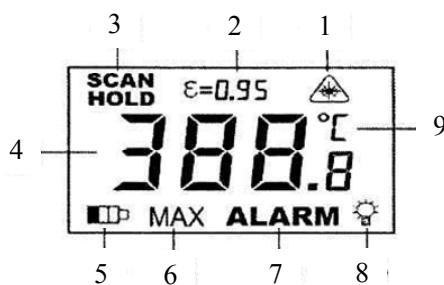


Рис. 2.4 Вид жидкокристаллического дисплея

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.

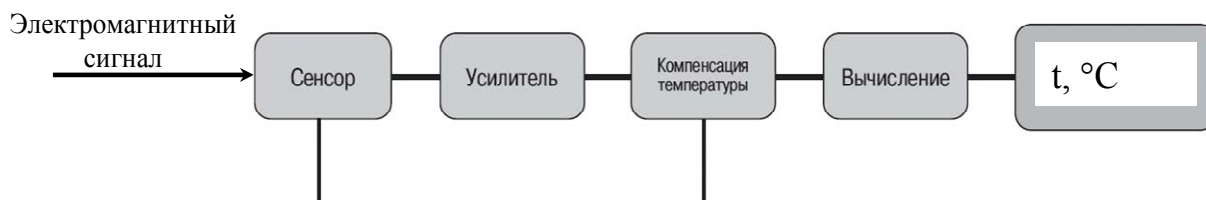


Рис. 2.5 Логическая схема работы прибора.

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 ϵ путем нажатия кнопки 4 (ϵ) на клавиатуре прибора (рис. 2.3). Для этого необходимо удерживать на клавиатуре прибора кнопку 4 (ϵ) 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 ϵ 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?

Лабораторная работа № 3

КАПИЛЛЯРНЫЕ МЕТОДЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

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

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?

ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ ИСПЫТАНИЕ ТЕПЛООБМЕННИКА

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

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.

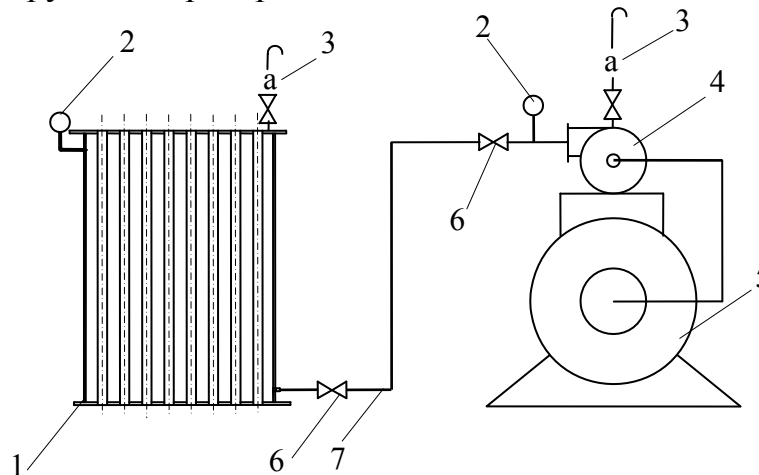


Рис.3.1. Установка для гидравлического испытания теплообменника, 1-теплообменник; 2-манометр; 3-воздушник; 4-насос; 5-ресивер; 6-кран; 7-шланг

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 м².
2. Число труб-26.
3. Трубы в трубной доске крепятся сваркой.
4. Рабочее давление 0,2 МПа.

ИНСТРУКЦИЯ 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,

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?

ДЕФЕКТАЦИЯ ДЕТАЛЕЙ

Цель работы - приобретение навыков проведения дефектации.

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 поддетальной 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.

Поддетальная дефектация осуществляется следующими методами: внешний осмотр, магнитная и ультразвуковая дефектоскопия, рентгенокопия 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÷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 поддетальной 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?

Лабораторная работа № 6

ДИАГНОСТИКА ВРАЩАЮЩИХСЯ ДЕТАЛЕЙ

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

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.

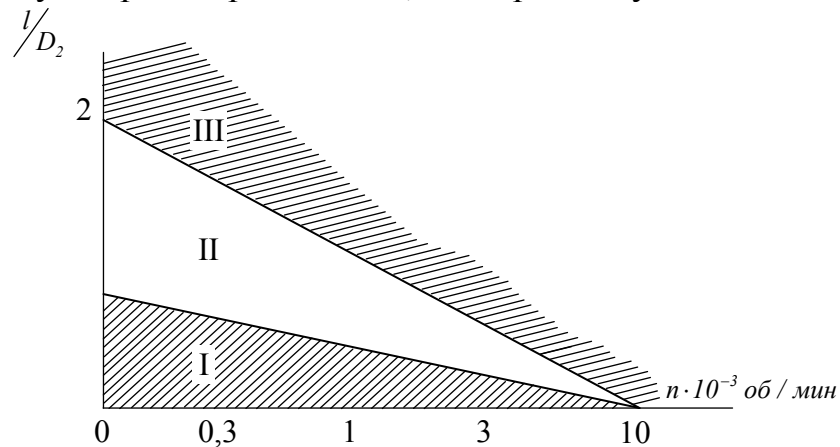


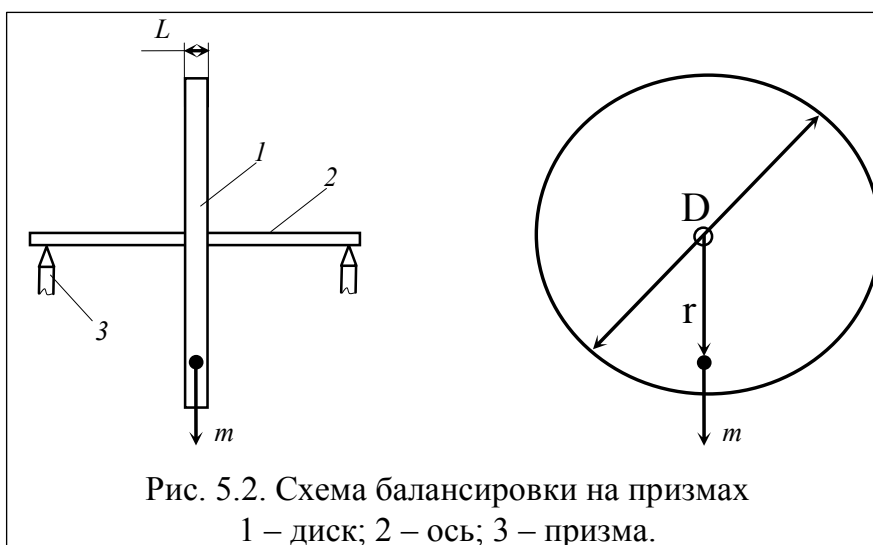
Рис. 5.1 Области статической и динамической балансировки:
 I – область статической балансировки; II – промежуточная область;
 III – область динамической балансировки.

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?

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Для закрепления знаний учебным планом дисциплины предусмотрены практические занятия, целью которых является развитие у студента навыков в решении практических задач.

Для студентов заочной формы обучения предусмотрено также выполнение контрольных заданий, которые должны содержать:

титальный лист с указанием наименования университета и кафедры;
названия работы; фамилии, имени, отчества студента и номера учебной группы;

ответы на контрольные вопросы ;

полное изложение задачи;

расчетные схемы (при необходимости);

расчеты и их результаты;

выводы по работе.

Задача № 1. Диагностика и расчет фундамента.

Рассчитать размеры фундамента (a , b , h) под оборудование, установленное в неотопливаемом помещении при известных габаритных размерах в плане a_1 и b_1 , известной высоты надземной части фундамента h , а также массе оборудования M , плотности материала фундамента ρ , диаметра фундаментного болта d , характера нагрузка и места (города) установки оборудования.

Методические указания по выполнению задачи и расчетная схема, а также исходные данные по вариантам приведены ниже.

Методические указания по решению задачи №1

Перед расчетом определяют контуры фундамента в плане, т.е. размеры a и b . Эти размеры находят по чертежу общего вида оборудования. Ориентировочно ширина и длина фундамента больше соответствующих размеров оборудования a_1 и b_1 на 300 мм (см. рис. 1 – $150 \text{ мм} \cdot 2 = 300 \text{ мм}$).

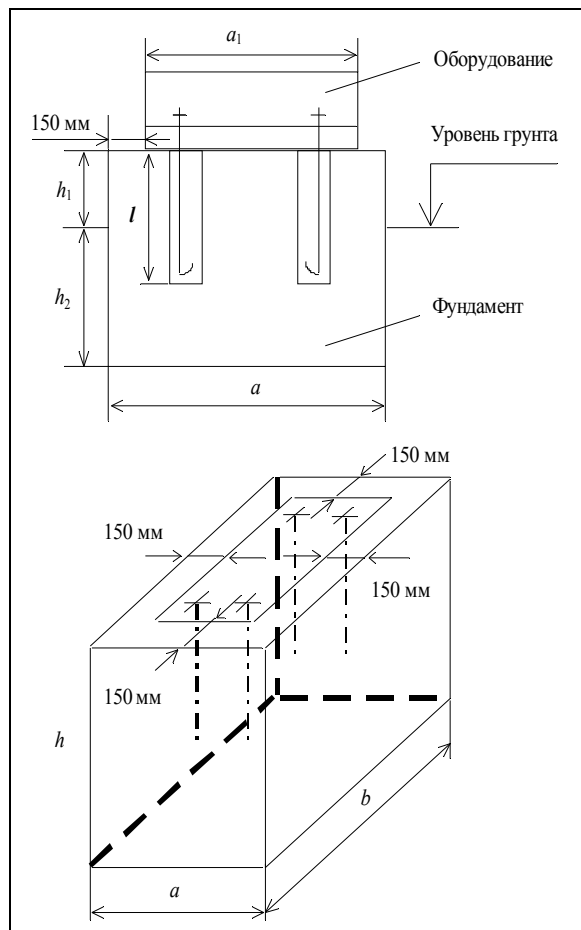


Рис. 1 Расчетная схема к задаче № 1

Высота фундамента h складывается из высот надземной h_1 и подземной h_2 частей его. Высота надземной части h_1 задается, исходя из положения оборудования в технологической схеме, например, чтобы соединить соседние аппараты в схеме горизонтальным трубопроводом.

Размер подземной части фундамента h_2 рассчитывается в первом приближении для отапливаемых помещений, исходя из массы фундамента:

$$M_{\phi} = k M$$

где M_{ϕ} – масса фундамента; M – масса оборудования с перерабатываемым материалом; k – коэффициент, зависящий от типа нагрузки на фундамент (для статической $k = 0,6 \dots 1,5$, для динамической $k = 0,8 \dots 1,9$).

Зная массу фундамента, размеры его в плане a и b , а также плотность материала ρ , можно вычислить размер подземной части h_2 :

$$h_2 = \frac{M_{\phi}}{a \cdot b \cdot \rho}$$

Рассчитанное значение h_2 окончательно выбирается после проверок. Так, для отапливаемых помещений минимальная глубина подземной части фундамента составляет 0,5 м.

Для неотопливаемых помещений и открытых площадок размер подземной части фундамента h_2 должен соответствовать выражению:

$$h_2 \geq H_{\text{пр}} + 0,2$$

, м,

где $H_{\text{пр}}$ – глубина промерзания грунта в данной зоне Российской Федерации:

I зона – Архангельск, Казань, Екатеринбург – 2 м;

II зона – Санкт – Петербург, Петрозаводск – 1,6 м;

III зона – Москва, Тамбов, Саратов – 1,5 м;

IV зона – Орел, Брянск – 1,3 м;

V зона – Астрахань, Волгоград, Новороссийск – 1,1 м.

Общая высота фундамента должна быть больше длины фундаментных болтов l . Обычно эта величина определяется в соответствии с выражением

$$l = 15d$$

, где d – диаметр фундаментного болта. Таким образом, окончательная проверка расчета: $h > l$.

– Исходные данные для решения задачи №1

№	a_1 , м	b_1 , м	h_1 , м	M , т	Тип нагрузки	ρ , тм ⁻³	Город	d , м
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,5	1	0,1	0,2	динамическая	1,8	Архангельск	30
2	0,5	1,5	0,15	0,3	динамическая	1,9	Казань	35
3	0,5	2	0,2	0,4	динамическая	2	С-Петербург	40
4	0,5	2,5	0,25	0,5	динамическая	2,1	Петрозаводск	45
5	0,5	3	0,3	0,6	динамическая	2,2	Москва	50
6	1	1	0,4	1	статическая	2,3	Тамбов	30
7	1	1,5	0,5	1,5	статическая	2,4	Саратов	35
8	1	2	0,1	2	динамическая	2,5	Орел	40
9	1	2,5	0,15	2,5	динамическая	2,6	Брянск	45
10	1	3	0,2	2,8	статическая	2,7	Астрахань	50

11	1,5	1	0,2 5	3	статическая	2,8	Волгоград	30
12	1,5	1,5	0,3	3,2	статическая	1,8	Новоросси йск	35
13	1,5	2	0,3 5	3,5	динамическая	1,9	Архангел ьск	40
14	1,5	2,5	0,4	3,8	динамическая	2	Казань	45
15	1,5	3	0,4 5	4	динамическая	2,1	С– Петербур г	50
16	2	2	0,5	1	статическая	2,2	Петрозав одск	30
17	2	2,5	0,1	2	статическая	2,3	Москва	35
–	2	3	0,1 5	3	статическая	2,4	Тамбов	40
–	2	3,5	0,2	4	динамическая	2,5	Саратов	45
–	1,8	1	0,2 5	1	динамическая	2,6	Орел	50
–	1,8	1,5	0,3	1,5	динамическая	2,7	Брянск	30
–	1,8	2	0,3 5	2	статическая	2,8	Астрахан ь	35
–	1,8	2,5	0,4	2,5	статическая	1,8	Волгоград	40
–	1,8	3	0,4 5	3	статическая	1,9	Новоросси йск	45
–	3	1	0,5	3,5	динамическая	2	С– Петербур г	50
–	3	2	0,1	4	динамическая	2,2	Москва	30
–	3	3	0,1 5	1,5	динамическая	2,4	Тамбов	35
–	3	3,5	0,2	2	статическая	2,5	Казань	40
–	1	4	0,3	2,5	статическая	2,6	Москва	45
–	1,5	4	0,4	3	статическая	2,8	Тамбов	50

Задача № 2. Расчет срока службы сборочной единицы.

Определить: 1) возможный срок службы сборочной единицы; 2) возможное количество ремонтов при замене одной детали; 3) допустимый зазор сочленения при ремонте, который обеспечил бы продолжительность работы до следующего текущего ремонта; 4) скорость износа в начале и в конце ремонтного периода.

Для сочленения двух деталей установлены следующие параметры:

- максимально допустимый зазор δ , мкм;
- начальный зазор в соединении δ_0 , мкм;
- скорость износа первой детали v_1 , мкм/мес.;
- скорость износа второй детали v_2 , мкм/мес.;

При ремонте заменяется только первая деталь, имеется в запасе две детали, также задано уравнение износа в виде: \square !

Методические указания по решению задачи № 2

1. Определим возможный срок службы сборочной единицы.

Продолжительность работы деталей соединения до первой замены определяется по формуле:

$$\tau_1 = \frac{(\delta - \delta_0)}{(v_1 + v_2)} \quad (1.1)$$

За этот период износ второй детали составит:

$$\delta_2 = v_2 \tau \quad (1.2)$$

После смены детали зазор в сочленении будет равен:

$$\delta_{10} = \delta_0 + \delta_2 \quad (1.3)$$

Продолжительность работы до второй замены детали:

$$\tau_2 = \frac{(\delta - \delta_{10})}{(v_1 + v_2)} \quad (1.4)$$

Продолжительность работы до третьей замены детали τ_3 определяется аналогично по формулам (1.2) – (1.4).

Затем определяется общий срок службы сборочной единицы:

$$\tau = \sum_{i=1}^3 \tau_i \quad (1.5)$$

2. Для расчета допустимого количества ремонтов путем замены одной детали необходимо знать ремонтный период. Ремонтный период τ_p принимается равным (с учетом результатов, полученных в п.1) \square .

Следовательно, зазор в сочленении через τ_p месяцев работы составит:

$$\delta'_1 = \delta_0 + (v_1 + v_2) \cdot \tau_p \quad (2.1)$$

Остаточный зазор в сочленении после первой замены:

$$\delta'_{01} = \delta_0 + v_2 \cdot \tau_p \quad (2.2)$$

Зазор в сочленении после $2\tau_p$ месяцев работы сочленения:

$$\delta'_2 = \delta'_{01} + 2 \cdot (v_1 + v_2) \cdot \tau_p \quad (2.3)$$

Остаточный зазор в сочленении после второй замены:

$$\delta'_{02} = \delta'_{01} + v_2 \cdot \tau_p \quad (2.4)$$

Далее определяется зазор в сочленении после $3\tau_p$ месяцев работы определяется по формуле, аналогичной формуле (2.3).

Полученные величины зазоров сравниваются с величиной допустимого зазора δ . По результатам сравнения делается вывод о количестве возможных замен детали.

Рис. 2 Расчетная схема к задаче № 2: 1, 2 – детали соединения.

– Исходные данные для решения задачи №2

№	Макс. допустимый зазор δ , мкм	δ_0 , мкм	v_1	v_2
1	250	15	17	7
2	200	20	10	5
3	170	18	15	6
4	220	22	12	5
5	235	17	11	4
6	190	21	18	10
7	185	20	19	9

8	172	13	20	12
9	193	25	12	4
1	197	21	14	7
0				
1	225	17	16	9
1				
1	253	15	12	4
2				
1	210	24	17	8
3				
1	215	23	19	5
4				
1	250	15	17	7
1	160	20	13	2
1	172	11	12	5
1	221	22,5	12,3	5,1
1	259	21,7	13	4
2	253	23	19	10
2	125	26	13	5
2	178,4	13	20	13
2	192	25	12	6
2	190	21	14	8
2	175	17	16	10
2	253	15	12	5
2	210	24	17	5
2	215	23	19	3
2	267	29	15	4
30	289	29	19	8

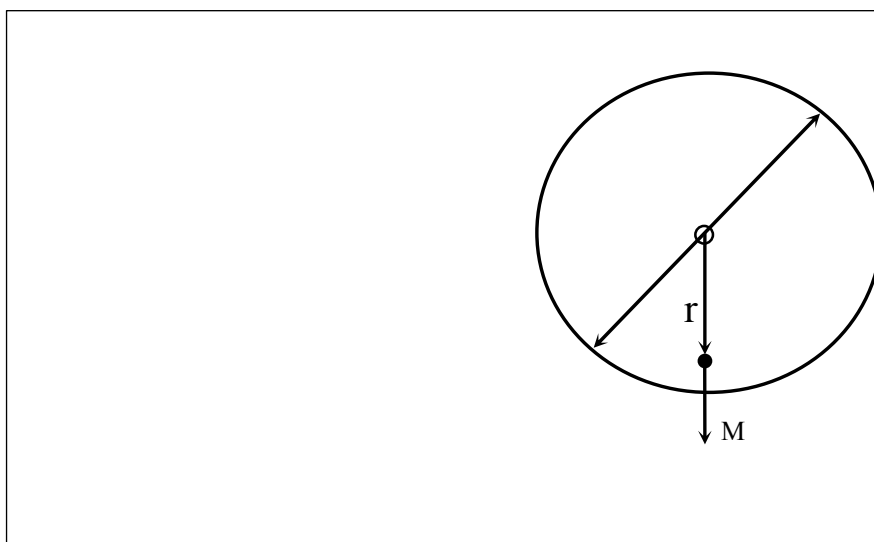
Задача №3. Диагностика и расчет опор ротора.

Рассчитать максимальную силу P , действующую на каждую опору ротора центробежного насоса при смещении его центра тяжести, если известно: M -вес ротора; n - число оборотов ротора; r - смещение центра тяжести ротора от оси его вращения.

Расчет следует производить по уравнению:

$$P=(M+F)/ 2,$$

где F - центробежная сила, которая возникает при смещении центра тяжести ротора.



Расчетная схема к задаче № 3

Исходные данные для решения задачи №3

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
M, Н	18 8	15 3	18 5	11 72	15 1	15 9	17 0	17 2	16 0	17 5	16 5	175
n, об./мин	35 10	32 10	35 40	33 90	32 50	32 40	33 20	30 20	30 80	33 00	30 90	335 0
r, мм	0.2 5	0.3	0.2 7	0.4 2	0.3 7	0.3 8	0.4 4	0.3	0.3 3	0.4 5	0.3 2	0.4 3

Задача №4. Диагностика и расчет лебедки на опрокидывание

Рассчитать устойчивость лебедки на опрокидывание (определить необходимость применения и вес балласта Q_1), если известны (см. расчетную схему) следующие данные:

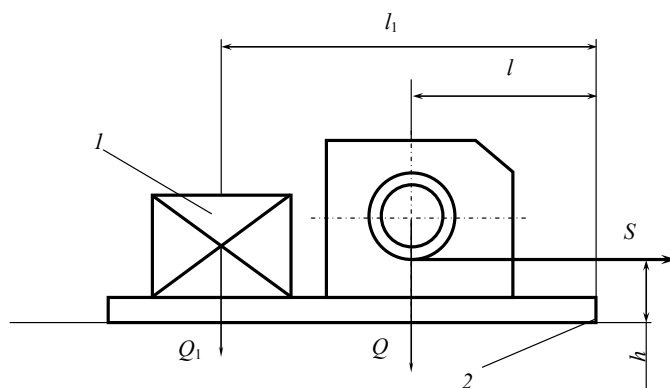
S - натяжение каната, т; h - расстояние от уровня земли до каната, м;

Q - вес лебедки, т; l - расстояние от центра тяжести лебедки до точки опрокидывания, м; l_1 - расстояние от центра тяжести противовеса до точки опрокидывания, м; k - коэффициент запаса устойчивости (1,2...1,3);

Q_1 – вес противовеса.

Расчет вести по соотношению:

$$Q_1 = k (S h - Q l) / l_1$$



1-противовес; 2-точка опрокидывания

Расчетная схема к задаче №4

Задача №5 Диагностика и расчет лебедки на горизонтальное смещение

Рассчитать устойчивость лебедки на горизонтальное смещение (силу горизонтального смещения N) в соответствии со схемой и данными задачи № 4. Дополнительно для задачи №5 известно, что сила горизонтального смещения равна:

$$N = S - F_{\text{тр}} \text{ или}$$

$$N = S - f(Q - Q_1),$$

где $F_{\text{тр}}$ -сила трения, N ; f -коэффициент трения (0.2...0.7)

Исходные данные для решения задач №4 и №5

№ вар	1	2	3	4	5	6	7	8	9
S	2.8	3.7	2.4	2.6	2.8	4.4	4.2	3.2	4.3
Q	3.2	3.3	3.1	3.5	3.1	2.4	2.2	3.2	2.3
h	0.51	0.6	0.52	0.62	0.65	0.39	0.37	0.56	0.38
l	1.1	1.4	1.3	1.3	1.2	0.9	0.98	1.3	0.95
l ₁	2.4	2.8	2.35	2.7	2.6	2.35	2.45	3.2	2.45
f	0.22	0.38	0.28	0.39	0.37	0.61	0.65	0.42	0.63

Задача №6. Прогнозирование ресурса работы емкостного оборудования, подвергающегося коррозии или эрозии.

Расчет ресурса по данному критерию ведется по следующей зависимости:

$$T_{\text{к(э)}} = (S_{\text{ф}} - S_{\text{р}}) / a,$$

где S_{ϕ} – фактическая минимальная толщина стенки, мм; S_p – расчетная толщина стенки, мм; a - скорость равномерной коррозии (эрозии), мм/год. Величина «а» определяется по следующим зависимостям. Если имеется одно измерение контролируемого параметра $S_{\phi}(t_1)$, полученное при обследовании оборудования, то

$$a = (S_{и} + C_0 - S_{\phi}) / t_1,$$

где $S_{и}$ - исполнительная толщина стенки, мм; C_0 - плюсовой допуск на толщину стенки, мм; t_1 - время от момента начала эксплуатации до момента обследования, лет.

Исходные данные для решения задачи №6

№вар	1	2	3	4	5	6	7	8	9
S_{ϕ}	3	4	5	6	7	8	9	10	11
S_p	2	3	4	5	6	7	8	9	10
C_0	0.5	1	2	1	2	1	2	1	2
$S_{и}$	4	5	6	7	8	9	10	11	12
t_1	3	5	4	6	5	4	5	6	5

Литература

- 1.Кормильцин Г.С. Основы диагностики и ремонта химического оборудования.– Тамбов. Издательство ТГТУ, 2008.- 120с.
- 2.Ермаков В.И., Шеин В.С. Ремонт и монтаж химического оборудования. – Л.: Химия, 1981.- 367с.
- 3.Кормильцин Г.С., Иванов О.О. Основы монтажа и ремонта технологического оборудования. – Тамбов. Издательство ТГТУ, 2001.- 87с.
- 4.Кормильцин Г.С., Шубин Р.А., Воробьев А.М. Диагностика и ремонт технологического оборудования. – Тамбов. Издательство ТГТУ, 2009.- 30с.
5. Федеральный закон от 21.07.97 №116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»
6. Методические указания по проведению диагностирования технического состояния и определению остаточного срока службы сосудов и аппаратов. РД-03-421-01.-М.:Ростехнадзор, 2002.-130 с.
- 7.Ермолов И.Н., Останин Ю.Я. Методы и средства неразрушающего контроля качества. М.: Высшая школа, 1988.-368 с.
8. Неразрушающий контроль и диагностика./ Под ред.Клюева В.В. М.: Машиностроение, 2005.-656 с.
9. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий. Справочник.В 2-х кн. / Под ред. Клюева В.В.-М.:Машиностроение, 1986.Кн.1 -488 с., кн.2-352 с.
10. Восстановление деталей машин. Справочник. Под ред. Иванова В.П. –М.: Машиностроение, 2003.- 672 с.