

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА имени А. Н. БЕКЕТОВА**

Л. В. ГАПОНОВА

**«ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА
СИСТЕМ ТЕПЛОГАЗОСНАБЖЕНИЯ
И ВЕНТИЛЯЦИИ»**

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

*(для студентов 4 курса всех форм обучения
специальности 192 – Строительство и гражданская инженерия)*

Харьков – ХНУМГ им. А. Н. Бекетова – 2018

Гапонова Л. В. Техническая диагностика систем теплогазоснабжения и вентиляции : Конспект лекций для студентов 4 курса всех форм обучения специальности 192 – Строительство и гражданская инженерия / Л. В. Гапонова; Харьков. нац. ун-т город. хоз-ва им. А. Н. Бекетова. – Харьков : ХНУМГ им. А. Н. Бекетова, 2018. – 82 с.

Автор Л. В. Гапонова

Рецензент канд. техн. наук, доц. О. М. Пустовойтова

*Рекомендовано кафедрой строительных конструкций,
протокол заседания № 1 от 03.02.2017.*

© Л.В. Гапонова, 2018

© ХНУМГ им. А. Н. Бекетова, 2018

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ТЕМА 1 Основные понятия в технической диагностике.	
Задачи технической диагностики.....	8
1.1 Техническая диагностика и выявляемость дефектов.....	8
1.2 Размеры и расположение объектов.....	10
1.3 Давление, уровень и расход жидкости и газа.....	12
1.4 Параметры диагностирования.....	12
ТЕМА 2 НЕРАЗРУШАЮЩИЕ СПОСОБЫ КОНТРОЛЯ	
КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ	14
2.1 Контроль непроницаемости сварных соединений.....	14
2.2 Методы выявления дефектов ультразвуком.....	15
2.2.1 Дефекты сварных соединений.....	15
2.2.2 Дефекты макроструктуры.....	15
2.2.3 Дефекты микроструктуры.....	16
2.3 Ультразвуковой метод контроля качества сварных соединений.....	16
2.3.1 Эхо-импульсный метод контроля.....	19
2.3.2 Эхо-импульсный дефектоскоп.....	19
2.3.3 Эхо-импульсный толщиномер.....	26
2.4 Технология ручного ультразвукового контроля.....	28
2.5 Оценка дефектоскопичности изделия.....	30
2.6 Подготовка изделия к контролю.....	31
2.7 Основные параметры контроля.....	32
2.8 Проверка технического состояния дефектоскопа.....	35
2.9 Настройка рабочих режимов дефектоскопа.....	35
2.10 Обнаружение и оценка дефектов.....	42
2.11 Оформление результатов контроля.....	46
2.12 Техника безопасности при ультразвуковом контроле.....	46
ТЕМА 3 РАДИАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ.	
МАГНИТНЫЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ	47
3.1 Рентгеновское излучение.....	47
3.2 Радиоактивные вещества.....	47
3.3 Магнитные методы контроля.....	48
3.3.1 Метод магнитного порошка.....	49
3.4 Люминесцентный метод контроля и метод красок.....	50
ТЕМА 4 ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СВАРНЫХ	
СОЕДИНЕНИЙ ТРУБОПРОВОДОВ И КОНСТРУКЦИЙ	51
4.1 Контроль качества сварных соединений стальных трубопроводов.....	51
4.2 Контроль качества соединений пластмассовых трубопроводов.....	54
4.3 Определение суммарного балла качества сварного соединения	
стального трубопровода по результатам радиографического контроля.....	56
4.4 Контроль стыковых сварных соединений.....	57
4.5 Контроль тавровых, угловых и нахлесточных сварных соединений...	57

ТЕМА 5 ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИОННОГО ПОКРЫТИЯ ПОДЗЕМНОГО ГАЗОПРОВОДА.....	58
5.1 Дефекты изоляционного покрытия.....	58
5.2 Проверка изоляции газопровода.....	59
ТЕМА 6 ПРОВЕДЕНИЕ ОБСЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ.....	60
6.1 Критерии оценки технического состояния тепловых сетей.....	60
6.2 Тепловые испытания.....	61
6.3 Анализ материалов по испытываемому участку.....	61
6.4 Выбор участков сети, подлежащих испытаниям.....	65
6.5 Определение параметров испытания.....	65
6.6 Проведение тепловых испытаний.....	67
6.7 Обработка результатов испытаний.....	68
6.8 Сопоставление измеренных тепловых потерь с нормативными.....	69
6.9 Испытания тепловых сетей на расчетную температуру теплоносителя.....	71
6.10 Испытания на плотность.....	72
ТЕМА 7 СИСТЕМЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ.....	74
7.1 Причины недостатков в работе вентиляции.....	74
7.2 Назначение и виды испытаний вентиляции.....	74
7.3 Приборы для испытаний вентиляционных устройств.....	75
7.3.1 Приборы для измерений давлений воздуха.....	75
7.3.2 Приборы для измерения температуры и определения относительной влажности воздуха.....	75
7.3.3 Приборы для измерения лучистого тепла.....	75
7.3.4 Приборы для измерения частоты вращения.....	76
ТЕМА 8 ИСПЫТАНИЕ И НАЛАДКА ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ. МЕТОДЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОМПРЕССОРОВ.....	76
8.1 Испытание вентиляционных устройств. Подготовка к испытаниям.....	76
8.2 Определение температуры и влажности воздуха, перемещаемого по воздухопроводам.....	76
8.3 Определение содержания в воздухе вредных газов и паров.....	77
8.4 Определение содержания пыли в воздухе.....	77
8.5 Определение частоты вращения колеса вентилятора.....	78
8.6 Санитарно-гигиеническое обследование состояния воздушной среды в помещениях.....	78
8.7 Диагностирование технического состояния компрессоров.....	78
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	81

ВВЕДЕНИЕ

Раскрыты основные вопросы, возникающие в процессе технической диагностики систем теплогасоснабжения и вентиляции. Более широко рассмотрены темы, предусмотренные учебной программой.

Практика эксплуатации конструкций и сооружений все настойчивее требует создание методов и средств, с помощью которых можно было бы определить функциональные возможности в любой момент времени, уметь на базе данных получать информацию об их состоянии и поведении в будущем. Требуют дальнейшего развития методическое обеспечение результатов диагностики и системы сбора данных. Специальное внимание следует уделять созданию или развитию экспериментальной базы для оценки ресурса газопроводных конструкций с учетом того, что теоретические обоснования и проектные проработки в этой области уже выполнены.

Рассмотрены основы теории технической диагностики, общие вопросы проектирования технических средств диагностики, параметры диагностирования, методы измерения диагностических параметров

С одной стороны одним из важнейших направлений реконструкции линейной части газопроводов являются работы по подготовке газопроводов к проведению внутритрубной дефектоскопии, включающие оборудование трубопроводов камерами приема и запуска диагностических устройств, замену неравнопроходной запорной арматуры и другие необходимые работы. Таким образом, реконструкция обеспечивает возможность выполнения самой диагностики.

С другой стороны – диагностика, в свою очередь, позволяет технически обоснованно подойти к формированию технического перевооружения объектов транспорта газа.

Диагностика дает возможность не только минимизировать объемы работ, обосновать выборочность их проведения, но и разработать эффективные технические решения с учетом специфики выявленных дефектов, а также провести разграничение работ между капитальным ремонтом и реконструкцией.

Эффективность внутритрубной диагностики несомненна.

Реконструкция и техническое перевооружение линейной части газопроводов выполняется по двум направлениям:

Первое направление реконструкции линейных участков, так называемое «системное», включает в себя ликвидацию «узких мест» на линейной части газотранспортной сети для обеспечения перспективных газопотоков и снижения энергозатрат в транспорте газа. Сюда относится прокладка дополнительных ниток и лупингов, сооружения межсистемных и внутрисистемных (межниточных) переемычек, строительство отводов, ГРС, ГИС. Объемы работ по этому направлению определяются исходя из анализа пропускной способности участков газотранспортных систем и планов развития газоснабжения на перспективу. Второе направление реконструкции линейной части обеспечивает повышение надежности и безопасности газопроводов. Объемы необходимой реконструкции для обеспечения перспективных потоков

газа определяются исходя из фактической и перспективной загрузки газопроводов, оценки их технически возможной производительности.

Методология обоснования объемов работ по этому виду реконструкции включает следующие этапы:

1 Оценка технически возможной производительности по участкам газотранспортной сети к моменту начала реконструкции;

2 Оценка перспективной загрузки ГТС и выявление участков с дефицитом ТВП по сравнению с планируемой производительностью;

3 Анализ «узких мест» на газотранспортной сети, предопределяющих наличие участков с дефицитом ТВП;

4 Формирование перечня объектов, подлежащих реконструкции для ликвидации «узких мест», определение соответствующих объемов реконструкции.

Определение объемов и объектов реконструкции с системных позиций требует разработки еще одного важного и пока мало проработанного аспекта обоснования необходимости реконструкции на отдаленный период.

Речь идет о создании **методики** (или методических подходов) **определения сроков службы** (или ресурса) **газопроводов в целом** как системных звеньев (элементов), распределенных в пространстве. Такая методика должна позволить определять на перспективу зависимость возможного срока службы систем газопроводов (подчеркиваю, именно систем в целом, а не отдельных ограниченных участков), эксплуатирующихся в едином гидравлическом режиме, от вложенных средств на дальнейшую эксплуатацию с учетом реконструкции или капитального ремонта.

Прогноз работоспособности **газотранспортных систем** по времени, сроки их выбытия, степень выбытия (полностью или частично с переводом в разряд распределительных) в определенные периоды времени необходимы для всех потоковых расчетов, на основе которых определяются те объекты, которые сдерживают транспорт газа и которые должны быть своевременно реконструированы. Кроме того, необходимо знать, нужно ли вкладывать средства и какие, если в перспективе газопровод не будет участвовать в транспорте газа.

Очевидно, что методические подходы этой системной задачи должны базироваться на результатах всех видов диагностических обследований оборудования, а также на основе специальных экспертных методов и оценок.

Отдельные составляющие этой задачи уже проработаны. Требуется свести все воедино, что, к сожалению, не так-то просто.

Выводы

1 Диагностика является не только эффективным средством повышения надежности и безопасности, но и необходимой основой для обоснования объемов, объектов и сроков проведения реконструкции.

2 Диагностика позволяет обеспечить информационную поддержку, определения оптимальных транспортных путей вывода газа от месторождений к местам потребления.

3 Диагностика позволяет сократить капитальные вложения не только на приведение газотранспортной системы к требованиям СНиП по надежности и промышленной безопасности, но и минимизировать затраты, связанные с развитием и реконструкцией по требованиям перспективного потокораспределения.

Основные понятия

Диагностирование – обследование конструкции, устанавливающее соответствие или несоответствие реальных рабочих параметров ее функционирования контрольным диагностическим параметрам, установленным технической документацией на диагностирование.

Контроль качества – контроль количественных и качественных характеристик свойств продукции.

Техническое освидетельствование – это обследование конструкции с целью установления соответствия реальных параметров функционирования конструкции контрольным параметрам, определенным технической документацией на конструкцию.

Дефект – любое несоответствие свойств объекта заданным, требуемым или ожидаемым его свойствам.

Дефектоскопия – совокупность методов и средств неразрушающего контроля, предназначенных для обнаружения дефектов типа нарушения сплошности и неоднородности в материалах и изделиях.

Ультразвуковые волны – упругие колебания материальной среды, частота которых лежит за пределами слышимости в диапазоне от 20 кГц (волны низкой частоты) до 500 МГц (волны высокой частоты).

Рентгеновские и гамма-лучи – это коротковолновые электромагнитные колебания, аналогичные световым лучам, но с меньшей длиной волны.

Люминесцентный метод контроля – метод, основанный на свойстве некоторых веществ обладать свечением под действием ультрафиолетового облучения.

Магнитографический метод контроля – заключается в фиксации на магнитную ленту полей рассеивания, возникающих над дефектными участками шва при его намагничивании, и последующем воспроизведении этих полей при помощи магнитографических дефектоскопов.

Обследование – процесс получения качественных и количественных показателей эксплуатационной надежности тепловой сети или частей ее конструкций.

Долговечность тепловой сети – способность тепловой сети и сооружений на ней не изменять свои эксплуатационные качества на протяжении длительного времени. Долговечность тепловой сети и сооружений на ней определяется долговечностью материалов, с которых она выполнена, а также качеством антикоррозионного защитного покрытия.

ТЕМА 1 ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ В ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКЕ. ЗАДАЧИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ.

1.1 Техническая диагностика и выявляемость дефектов.

Техническая диагностика – область знаний, охватывающая теорию, методы и средства определения технического состояния объекта.

Техническое состояние – состояние, которое характеризуется в определенный момент времени, при определенных условиях внешней среды, значениями параметров, установленных технической документацией на объект.

Диагностирование – определение технического состояния объекта с определенной (заданной) точностью.

Средство диагностирования – аппаратура и программы с помощью которых осуществляется диагностирование.

Способ диагностирования – техническое диагностирование, основанное на определенных физических и расчетных принципах.

Методика диагностирования – установленные технические правила проведения технического диагностирования, основанные на определенном способе.

Технология диагностирования – перечень подготовительных, контролирующих, аналитических, расчетных и других операций, которые выполняются в процессе технического диагностирования для определения и прогнозирования технического состояния и остаточного ресурса объекта.

Диагностика – греческое слово, означающее распознавание.

Обеспечение безопасности конструкции начинается задолго до пуска ее в эксплуатацию. Проводятся расчеты, испытания, проектно-конструкторские и другие работы, связанные с созданием конструкции. На второй стадии – стадии эксплуатации – начинают действовать мероприятия по контролю за ее состоянием, оценке ее ресурса и определения реального остаточного ресурса.

Рассмотрим некоторые наиболее характерные дефекты систем.

Для *силовых металлоконструкций* характерны литейные дефекты (рыхлота, пористость, ликвационные зоны, дендритная ликвация, зональная ликвация, подсадочная ликвация, газовые пузыри или раковины, песчаные и шлаковые раковины), металлические и неметаллические включения, утяжины, плены, спаи, горячие, холодные и термические трещины); дефекты прокатанного и кованого металла (трещины, флокены, волосовины, расслоения, внутренние разрывы, рванины, закаты и заковы, плены); дефекты сварных соединений (трещины в наплавленном металле, холодные трещины, микротрещины в шве, надрывы, трещины, образующиеся при термообработке, рихтовочные трещины, непровары, поры и раковины, шлаковые включения), дефекты, возникающие при обработке деталей (закалочные и шлифовочные трещины, надрывы); дефекты, возникающие при эксплуатации изделий (усталостные трещины, коррозионные повреждения, трещины, образующиеся в результате однократно приложенных высоких механических напряжений, механические повреждения поверхности).

Для *сосудов, теплообменных аппаратов, трубопроводов* характерны производственно-технологические и эксплуатационные дефекты, аналогично

силовым металлоконструкциям. Помимо этого для данной группы оборудования характерны негерметичности соединений, приводящие к утечкам рабочих сред, уменьшение проходных сечений в результате отложений на стенках продуктов коррозии и накипи. Важнейшим параметром, определяющим долговечность и надежность эксплуатации нефтегазовых труб различных диаметров, является толщина антикоррозионного трехслойного полиэтиленового покрытия.

Для механизмов и машинного оборудования характерны износ и поломка деталей, повреждение уплотнений, сопровождающиеся утечкой рабочих жидкостей, местным аномальным нагревом частей оборудования, посторонним шумом, повышенной вибрацией.

Для КИП и автоматики, оборудования систем управления характерны выход из строя отдельных блоков и приборов, нарушение электрического контакта, уменьшение сопротивления и пробой изоляции.

Для кабельного оборудования характерны уменьшение сопротивления изоляции, старение изоляции, обрыв жил кабеля, возгорание изоляции и др.

Для электронного оборудования характерны выход из строя блоков и отдельных элементов.

Для оборудования электроснабжения характерны залипания контактов, выход из строя концевых выключателей и приводов межсекционных выключателей.

Для конструкций строительных сооружений характерны такие дефекты, как трещины, раковины, несплошности бетона, дефекты армирования бетона, разрушение фундаментов и оснований и т.д.

Для объектов с радиоактивными веществами под дефектами можно понимать уровни активности, превышающие допустимые нормы. Таким образом, для каждой из групп оборудования можно составить перечень методов НК и перечень приборов и технологий их применения для реализации этих методов.

Выбор метода НК должен быть основан помимо априорного знания о характере дефекта на таких факторах, как:

- условия работы изделия;
- форма и размеры изделия;
- физические свойства материала деталей изделия;
- условия контроля и наличие подходов к проверяемому объекту;
- технические условия на изделия, содержащие количественные критерии недопустимости дефектов и зачастую нормирующие применение методов контроля на конкретном изделии;
- чувствительность методов.

Можно привести ряд примеров, связанных с повреждением металла основного оборудования:

1) 22 января 1982 г. в результате коррозионно-усталостного разрушения шпилек горячих коллекторов 1,3,4, 5-го парогенераторов блока № 1 Ровенской АЭС произошла авария, в результате которой 1100 м³ теплоносителя попало из

первого контура в котловую воду парогенераторов с последующим выбросом радиоактивности за пределы блока.

2) 20 сентября 1990 г. на блоке № 1 ЮУАЭС, 15 октября 1988 г. на блоке № 1 ЗАЭС, 13 июня 1989 г. на блоке № 2 ЗАЭС были обнаружены повреждения холодных коллекторов парогенераторов, причиной которых явилось зарождение, подрастание и объединение множества коррозионно-механических трещин размером до 800 мм.

3) 7 марта 1989 г. на блоке № 1 АЭС «Me QUIRE» (США) произошла авария с открытием течи теплоносителя во второй контур. Причина - межкристаллитная коррозия трубчатки парогенератора со стороны 2-го контура.

4) 9 марта 1985г. на АЭС «TROJAN» (США) произошла авария, связанная с разрушением напорного трубопровода диаметром 355 мм дренажного насоса с выбросом пароводяной смеси с температурой 178°C на высоту около 14 м. Причина аварии - эрозионно-коррозионный износ, в результате которого толщина стенки трубы уменьшилась с 9,5 до 2,5 мм.

Т.О. основной задачей технической диагностики является распознавание состояния технической системы в условиях ограниченной информации.

Системы оценки состояния конструкций и сооружений, выполненные в полном объеме, должны обеспечить следующие основные функции:

1 Измерение, обработку и представление с заданной степенью вероятности исходных данных, необходимых для оценки несущей способности конструкций.

2 Расчет несущей способности конструкций по поступившей прогнозной и дополнительной, характеризующей условия производства и эксплуатации конструкции, информации.

3 Оценку состояния конструкции и возможных последствий аварии. Отработка вариантов последствий по степени опасности.

4 Выбор оптимального варианта. Принятие решения.

5 В соответствии с принятым решением выдачу команды исполнительным механизмам для изменения режима работы конструкции с целью выхода из аварийного состояния, а также сообщение о возможности выполнения ремонтно-восстановительных работ, необходимости частичного или полного прекращения функциональной деятельности узла или конструкции в целом.

6 Передачу информации о состоянии конструкции для принятия решения по всему объекту.

1.2 Размеры и расположение объектов

Техника измерений геометрических параметров находит основное применение при определении размеров и расположения пространственно-ограниченных объектов.

Методы измерения размеров и расположения объектов делят на контактные (механические), бесконтактные (пневматические, оптические, радиометрические, ультразвуковые, электромагнитные), а также смешанные, совмещающие бесконтактный метод с контактным (оптико-механические).

Механический метод наиболее известный метод контроля геометрических параметров посредством измерения калибрами, концевыми и штриховыми мерами, микрометрическими инструментами и т.д.

Пневматический метод является относительным методом измерения (контактным и бесконтактным), используемым как в неавтоматических, так и в автоматических приборах.

Наиболее широкое применение для измерений макро- и микрообъектов получили **оптические методы** (оптико-механические и чисто оптические).

В средствах измерения, использующих оптические методы, осуществляется формирование изображения объекта при взаимодействии объекта со световым излучением.

Радиометрический метод основан на применении ионизирующего излучения для измерения как физических, так и геометрических характеристик просвечиваемых объектов. Радиометрический метод обычно применяют для измерения толщины объекта.

Часто наиболее пригодными являются источники рентгеновского излучения, так как энергию рентгеновского излучения можно регулировать в широком диапазоне.

В основу **акустических методов** контроля измерения размеров лежит создание процесса излучения и приема акустических волн.

АКУСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ

Активные методы



Прохождения:

- теневой;

Отражения:

- эхо-импульсный;

- эхо-зеркальный;

- дельта метод

Комбинированные:

- зеркально-теневой;

- эхо-теневой;

- эхо-сквозной.

Пассивные методы



Акустической эмиссии

Бесконтактные методы заключаются в возбуждении и приеме упругих колебаний через слой воздуха или с помощью электромагнитного поля, возбуждаемого датчиком.

Резонансные методы позволяют измерять толщину объектов в широком диапазоне. Измерением частот акустических резонансов определяют толщину контролируемых объектов.

Известен также метод измерения малых линейных размеров, обеспечивающий повышенную точность, основанный на применении **СВЧ-колебаний**.

Для измерения размеров *магнитными методами* в основном используют пондермоторный принцип толщинометрии, для чего измеряют силы отрыва или притяжения постоянных магнитов и электромагнитов к контролируемому объекту.

Относительная выявляемость дефектов различными методами дефектоскопии в % от общего числа дефектов приведена в таблице 1.

Таблица 1.1 – Относительная выявляемость дефектов различными методами дефектоскопии в % от общего числа дефектов

Метод контроля	Поверхностные трещины	Неметаллические включения	Раковины	Непровары	
				по скосам	в корне шва
Просвечивание рентгеновское	2	100	100	65	65
Просвечивание гамма-лучами	0	85	90	28	30
Ультразвуковой	10	45	85	95	45
Магнитопорошковый	98	0	0	0	0
Капиллярный (цветной)	100	0	0	0	

1.3 Давление, уровень и расход жидкости и газа

Измерение давления. Наиболее распространенными средствами измерения давления, уровня и расхода являются унифицированные комплексы датчиков. Они предназначены для измерения абсолютного давления, избыточного давления, разрежения, разности давлений, объемного расхода жидкостей и газов, уровня жидкостей.

Унифицированные датчики используют монотрический или дифференциально-манотрический (дифманотрический) метод измерения.

Наибольшее распространение получили унифицированные датчики, в которых использованы следующие способы измерительного преобразования давления:

- прямое измерение давления (тензорезисторные преобразователи);
- преобразование с уравнением магнитных потоков (магнитомодуляционные);
- преобразование с уравнением магнитных потоков (магнитомодуляционные);
- преобразование с уравновешиванием сил (пневматические).

1.4 Параметры диагностирования

Для определения работоспособности изделия, поиска дефектов и прогнозирования состояния машин необходимо измерять диагностические параметры.

Дефекты разделяют на допустимые и недопустимые в зависимости от их потенциальной опасности. К недопустимым дефектам относят те, которые подлежат обязательному обнаружению и незамедлительному устранению или исправлению.

Многообразие дефектов можно проиллюстрировать примером возможных нарушений сплошности металла. К дефектам тонкой структуры относятся

дислокации – особые зоны искажений атомной решетки. Субмикроскопические трещины (размером в несколько микрон) образуются в процессе обработки детали и резко снижают ее прочность. Наиболее грубыми дефектами металла являются макроскопические.

Дефекты металла различают по размерам и расположению, а также по природе и происхождению. Они могут образоваться в процессе плавки и литья (раковины, поры, зоны рыхлости, включения, ликвационные зоны, горячие трещины, неслитины и т.д.), обработки давлением (внутренние и поверхностные трещины, расслоение, пресс-утяжины, рванины, закаты, пленки, флокены и т.д.), термической и химико-термической обработки (зоны грубозернистой структуры, перегрева, пережога, термические трещины, несоответствие толщины закаленного, цементованного, азотированного и других слоев, несоответствие толщины слоя гальванического покрытия и т.д.), обработки резанием (шлифовочные трещины, прожоги), сварки, пайки, склеивание (непровар, трещины, непропай, непрочлей), хранения и эксплуатации (коррозия, усталостные трещины, ползучесть и т.д.).

Физические параметры разделяют на следующие группы: кинематические, геометрические, статические, динамические, тепловые, акустические, электрические и магнитные, механические и молекулярные, излучений, атомной физики, универсальные физические постоянные (таблица).

Наибольший практический интерес представляют параметры назначения и надежности объектов, находящиеся в функциональной зависимости от измеряемых физических величин. Например, обнаружение дефекта в виде трещины и определение его параметров может быть выполнено с помощью измерения магнитной проницаемости, коэрцитивной силы и магнитной индукции ферромагнитного материала (магнитные методы исследования) или температуропроводности, теплоемкости и теплопроводности материала (тепловые методы исследования) или модуля упругости, плотности и удельного волнового сопротивления материала (акустические методы исследования и т. д.).

Наиболее существенными и часто встречающимися в практике технического диагностирования являются следующие виды измерений: электрометрия, виброакустика, дефектоскопия, структуроскопия, интроскопия, измерение механических свойств, состава вещества, размеров, сил, деформаций, давления, температуры, времени, массы, влажности, расхода и уровня.

ТЕМА 2 НЕРАЗРУШАЮЩИЕ СПОСОБЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

2.1 Контроль непроницаемости сварных соединений

Сварные швы и соединения ответственных изделий и сооружений должны быть непроницаемыми для различных жидкостей и газов. Неплотности в швах снижают их прочность при вибрационных нагрузках, уменьшают коррозионную стойкость, вызывают утечку хранимых и транспортируемых продуктов и создают недопустимые условия эксплуатации сварных конструкций.

Контроль непроницаемости сварных соединений проводят в соответствии с ГОСТ, включая следующие виды испытаний: керосином, обдувом, аммиаком, воздушным давлением, гидравлическим давлением, наливом и поливом.

Кроме этого, непроницаемость сварных соединений определяют вакуумным методом и газоэлектрическими течеискателями.

Перед проведением испытаний должны быть устранены все дефекты, выявленные внешним осмотром.

Испытание керосином основано на способности многих жидкостей подниматься по капиллярным трубкам, какими в сварных швах являются сквозные поры и трещины. Керосин обладает высокой смачивающей способностью и сравнительно малой вязкостью, что обеспечивает большой эффект этого способа контроля.

Испытание сварных соединений керосином проводят следующим образом. После внешнего осмотра простукивают молотком или подвергают вибрации основной металл на расстоянии 30-40 мм от шва и тщательно очищают сварное соединение от шлака, ржавчины, масла и других загрязнений.

Затем с помощью пульверизатора сварные швы покрывают меловым раствором (350 – 450 г молотого мела или каолина на 1 л воды) с той стороны, которая более доступна для осмотра.

После высыхания мелового раствора другую сторону шва обильно смачивают керосином и выдерживают в течение определенного времени.

О наличии пор, свищей, сквозных трещин и непроваров свидетельствуют жирные желтые точки или полосы керосина на меловом слое, которые с течением времени расплываются в пятна. Поэтому необходимо тщательно следить за появлением первых точек или полосок и своевременно отмечать границы дефектных участков.

При испытании обдувом одну сторону сварного шва промазывают мыльным раствором (вода 1 л, мыло хозяйственное 100 г), а другую обдувают сжатым воздухом, подаваемым по гибкому шлангу с наконечником под давлением 4-5 кгс/см². Расстояние между наконечником и швом должно быть не более 50 мм.

Сквозные дефекты обнаруживают по появлению пузырей на промазанной мыльным раствором стороне шва.

В основу испытания аммиаком положено свойство некоторых индикаторов, например спирто-водного раствора фенолфталеина или водного

раствора азотнокислотной ртути, изменять окраску под воздействием щелочей, в данном случае сжиженного аммиака.

Испытанию давления газа подвергают емкости и трубопроводы работающие под давлением, с целью контроля общей непроницаемости сварной конструкции.

После герметизации в них создают испытательное давление и промазывают сварные швы мыльным раствором (100 г мыла на 1 л воды). Появление мыльных пузырей на промазанной поверхности свидетельствует о проницаемости шва.

При испытании сжатыми газами следует тщательно соблюдать правила техники безопасности. Трубопроводы испытывают отдельными изолированными участками с предупредительными знаками об опасности.

Гидравлическим давлением проверяют прочность и плотность сварных соединений различных емкостей, котлов паропроводов, водопроводов, газопроводов и других сварных конструкций, работающих под высоким давлением.

Перед испытанием сварное изделие герметизируют водонепроницаемым заглушками, обтирают или обдувают сжатым воздухом сварные швы до получения сухой поверхности.

После полного заполнения изделия водой с помощью насоса или гидравлического пресса создают избыточное контрольное давление, величину которого принимают в соответствии со стандартными. В процессе испытания давление определяют по проверенным и опломбированным манометрам.

Проницаемость сварных швов и места сквозных дефектов устанавливают по снижению испытательного давления и появлению течи или просачиванию воды в виде капель, а также по запотеванию поверхности шва или вблизи него.

Недостатками этого способа контроля являются необходимость в источниках водоснабжения и трудности, возникающие при испытаниях в зимнее время на открытом воздухе.

Вертикальные резервуары для хранения нефти и нефтепродуктов, газгольдеры и другие крупные емкости испытывают наливом воды.

2.2 Методы выявления дефектов ультразвуком.

2.2.1 Дефекты сварных соединений

Наплывы – образуются при сварке горизонтальными швами вертикальных поверхностей в результате натекания жидкого металла на кромки холодного основного металла.

Подрезы – представляют собой углубления, образующиеся в основном металле вдоль края шва при завышенном сварочном токе и длинной дуге.

Прожоги – это проплавление основного или наплавленного металла с возможным образованием сквозных отверстий.

2.2.2 Дефекты макроструктуры

Газовые поры – образуются в сварных швах вследствие быстрого затвердения газонасыщенного расплавленного металла, при котором выделяющиеся газы не успевают выйти в атмосферу.

Шлаковые включения – результат небрежной очистки кромок деталей и сварочной проволоки от окалины, ржавчины и грязи.

Непровар – местное несплавление основного металла с наплавленным.

2.2.3 Дефекты микроструктуры

Дефектами микроструктуры сварного соединения являются: микропоры и микротрещины, нитридные, кислородные и другие неметаллические включения, крупнозернистость, участки перегрева и пережога. Наиболее опасным дефектом является *пережог*, при котором в структуре металла шва много окисленных зерен с малым взаимным сцеплением.

Сварные соединения трубопроводов подвергают следующим видам контроля:

- -внешнему осмотру и измерению;
- -ультразвуковому и магнитографическому контролю;
- -прсвечиванию гамма и рентгеновскими лучами;
- -металлографические исследования;
- -механические, гидравлические и пневматические испытания.
- Сварные швы бракуют, если выявляются следующие дефекты:
- -трещины любых размеров;
- -непровар глубиной более 15% толщины стенки трубы, если она не превышает 20 мм и не более 3 мм при толщине стенки свыше 20мм;
- -шлаковые включения и поры глубиной более 10% толщины стенки трубы, если она не превышает 20 мм и 3 мм при толщине свыше 20мм;
- -скопления включений и пор в виде сплошной сетки.

2.3 Ультразвуковой метод контроля качества сварных соединений

Ультразвуковой контроль – это вид неразрушающего контроля, основанный на регистрации параметров упругих волн, возбуждаемых и (или) возникающих в контролируемом объекте.

Процессы механических колебаний и их распространение в твердых, жидких или газообразных веществах рассматриваются наукой о звуке — акустикой.

Ультразвуком называют акустические колебания, частота которых лежит в диапазоне от 20 кГц до 1000 МГц, т.е. выше диапазона частот, воспринимаемых человеческим ухом. Для ультразвукового контроля промышленной продукции обычно применяются колебания в диапазоне частот от 0,8 МГц до 10 МГц.

С помощью ультразвукового неразрушающего контроля:

- выявляют дефекты типа нарушения сплошности (раковины, поры, неметаллические включения, трещины различных видов, непровары, непропаи, дефекты многослойных конструкций и др.);
- контролируют геометрические размеры изделий (толщины труб, прутков, листов и др., имеющих односторонний доступ);
- определяют физико-механические свойства и структуру материала (механические свойства, модуль упругости, величину зерна, отклонения режимов термической и пластической обработки).

Практическое применение ультразвука для неразрушающего контроля материалов осуществлялось в последние 50 лет. Основными предпосылками развития в этой области являются:

1) открытие в 1880-1881 г.г. братьями Жаком и Пьером Кюри обратимого пьезоэлектрического эффекта, что позволило использовать кварц в качестве преобразователя электрических колебаний в звуковые;

2) разработка лордом Рэлеем в 1885-1910 г.г. теории распространения звука в твердых веществах;

3) разработка М. Ланжевеном эхо-импульсного способа обнаружения отражателей в 1915-1917 гг.

В 1929 г. член. корр. АН СССР С. Я. Соколов первым предложил для выявления дефектов материала теневой акустический метод с непрерывным излучением. Эту дату можно назвать днем рождения ультразвуковой дефектоскопии.

В 1931г. О. Мюльхойзер получил первый патент на прибор для ультразвукового контроля теневым методом. Серийные приборы для теневого метода контроля были созданы уже во второй половине 40-х г.

В 1940г. Ф. Файерстон первым предложил использовать эхо-импульсный метод для ультразвукового контроля материалов, имеющий более высокую чувствительность, чем теневой метод с непрерывным излучением. Для совершенствования последнего в 1941 г. С. Я. Соколов предложил использовать частотную модуляцию, но вскоре этот метод был вытеснен эхо-импульсным и потерял свое значение.

Первые эхо-импульсные приборы были выпущены в 1943 г в США и Великобритании, с тех пор они постоянно совершенствуются. В первых приборах применялись кварцевые преобразователи с прямым акустическим контактом. В 50-х годах были созданы призматические преобразователи, возбуждающие поперечные волны под определенными углами. В качестве пьезоэлемента вместо кварца стали применяться материалы с более высокой чувствительностью.

Энергия звуковых волн широко применяется в различных областях техники:

- а) отделение посторонних частиц от поверхности изделия при его очистке;
- б) преодоление сил поверхностного натяжения при эмульгировании;
- в) перемешивание жидкостей,
- г) создание на поверхности изделия рельефа сложной формы (с применением абразивного материала);
- д) ультразвуковая сварка материалов;
- е) локация объектов в море, в т. ч. измерение глубины;
- ж) испытание материалов с целью оценки их состояния, т.е. определение упругих и других свойств, проверка на отсутствие дефектов и т. д.

В случае, когда звуковая волна используется как носитель информации о состоянии изделия, обычно необходимо послать волну в это изделие и затем принять прошедшую через него волну. В тех случаях, когда звуковая волна возникает в объекте под действием нагрузки, говорят об излучении (эмиссии) звука изделием.

Ультразвуковая волна позволяет проводить испытание изделия неразрушающими методами, при которых на него действуют механические силы растяжения, сжатия, среза или изгиба, но они настолько малы, что не вызывают повреждения материала. В настоящее время ультразвуковой эхо-импульсный метод применяется в следующих областях:

- на транспорте - для контроля элементов корпусов транспортных средств, колес, рельсов;
- в металлургии - для контроля литых, кованных и катаных изделий;
- в судостроении, машиностроении и производстве стальных конструкций - для контроля заготовок и сварных соединений;
- в химической промышленности и энергетике - для контроля сосудов и трубопроводов, работающих под давлением, и пр.

Методы ультразвукового контроля:

- теневой метод;
- зеркально-теневой метод;
- эхо-зеркальный метод;
- дельта метод.

Теневой метод – признаком наличия дефекта является уменьшение амплитуды прошедшего сигнала.

Недостатки теневого метода: невозможно определить координаты дефекта; необходимость двустороннего доступа к изделию; необходимость механизации; малая чувствительность метода (в 10 раз ниже чем в эхо-импульсном методе).

При теневом методе ультразвуковые волны, идущие через сварной шов от источника ультразвуковых колебаний (щупа-излучателя), при встрече с дефектом не проникают через него, так как граница дефекта является границей двух разнородных сред (металл – шлак или металл – газ). За дефектом образуется область так называемой «звуковой тени». Интенсивность ультразвуковых колебаний, принятых щупом-приемником, резко падает, а изменение величины импульсов на экране электронно-лучевой трубки дефектоскопа указывает на наличие дефектов. Этот метод имеет ограниченное применение, так как необходим двухсторонний доступ к шву, а в ряде случаев требуется снимать усиление шва.

Зеркально-теневой метод – признаком дефекта является уменьшение амплитуды прошедшего сигнала.

При **эхо-зеркальном** методе щуп-излучатель посылает через сварной шов импульсы ультразвуковых волн, которые при встрече с дефектом отражаются от него и улавливаются щупом-приемником. Эти импульсы фиксируются на экране электроннолучевой трубки дефектоскопа в виде пиков, свидетельствующих о наличии дефекта. Измеряя время от момента посылки импульса до приема обратного сигнала, можно определить и глубину залегания дефектов. Основное достоинство этого метода состоит в том, что контроль можно проводить при одностороннем доступе к сварному шву без снятия усиления или предварительной обработки шва. Этот метод получил наибольшее применение при ультразвуковой дефектоскопии сварных швов.

Преимущества: хорошо выявляются дефекты с вертикальной ориентацией; позволяет определить форму дефекта; односторонний доступ к изделию.

Дельта метод – признак наличия дефекта появление сигнала на дефектоскопе. Преимущества: хорошо выявляются дефекты с малым раскрытием (вертикальные трещины).

2.3.1 Эхо-импульсный метод контроля

Принцип эхо-импульсного метода контроля основан на регистрации сигналов, отраженных от границы несплошности (дефекта), имеющейся в материале контролируемого изделия или от поверхности изделия. Эхо-метод еще называется методом отражения.

Для реализации метода в контролируемое изделие с помощью источника звука (излучателя) излучается ультразвуковой импульс, который распространяется в материале изделия с постоянной скоростью (зондирующий импульс). При встрече зондирующего импульса с границей раздела между материалом и несплошностью (или поверхностью изделия) часть звуковой энергии отражается (эхо) и попадает на приемник звука.

При контроле эхо-методом амплитуда эхо-сигнала характеризует размер отражателя, а временной интервал между моментом возбуждения зондирующего импульса и моментом прихода эхо-импульса (время пробега) соответствует местоположению отражателя. Следует обратить внимание, что при контроле эхо-импульсным методом амплитуда эхо-сигнала в общем случае сложным образом зависит от:

- излученной энергии;
- характеристик направленности излучателя и приемника;
- размера отражателя;
- положения отражателя;
- свойств поверхности отражателя;
- затухания акустической волны.

Эхо-импульсный метод контроля используется в приборах двух типов - дефектоскопе и толщиномере. Оба эти прибора состоят из двух основных частей, которые определяют технические и технологические характеристики указанных средств контроля, - это электронный блок и пьезопреобразователь. Обычно электронный блок комплектуется несколькими типами пьезоэлектрических преобразователей, которые позволяют решать различные задачи контроля. Кроме того, для проверки основных параметров аппаратуры и установки рабочих режимов используются образцы специальной формы, выполненные из материала с нормированными акустическими характеристиками - стандартные образцы.

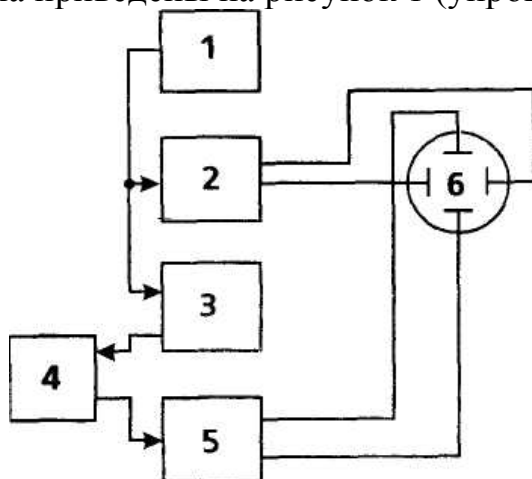
2.3.2 Эхо-импульсный дефектоскоп.

Эхо - импульсный дефектоскоп предназначен для обнаружения дефектов типа нарушения сплошности, оценки их размеров и определения глубины (координаты) их залегания. Основными параметрами сигнала,

подлежащими оценке с помощью дефектоскопа, являются амплитуда эхо-сигнала и время пробега.

Дефектоскопы чаще всего разрабатываются в расчете на перемещение преобразователя вручную (ручной контроль), поэтому приборы такого типа носят название «ручной дефектоскоп».

Основные функциональные узлы ультразвукового эхо - импульсного дефектоскопа приведены на рисунок 1 (упрощенная схема).



*Рисунок 2.1 – Основные функциональные узлы
ультразвукового эхо - импульсного дефектоскопа*

- 1 – синхронизатор;*
- 2 – генератор горизонтальной развертки;*
- 3 – генератор импульсов возбуждения;*
- 4 – пьезоэлектрический преобразователь (искатель);*
- 5 – приемное устройство;*
- 6 – электронно-лучевая трубка.*

Синхронизатор дефектоскопа управляет генератором импульсов возбуждения излучателя и генератором горизонтальной развертки, синхронизируя начало горизонтального отклонения луча электронно-лучевой трубки (ЭЛТ) с моментом излучения зондирующего импульса в контролируемое изделие. После отражения от поверхности дефекта акустический импульс преобразуется искателем в электрический сигнал, который поступает на вход приемного устройства. Аттенюатор (ослабитель) приемного устройства служит для калиброванного изменения коэффициента передачи приемного устройства с целью регулировки чувствительности дефектоскопа. Сигнал с выхода аттенюатора усиливается до необходимого уровня высокочастотным усилителем, детектируется и регистрируется ЭЛТ как вертикальное отклонение луча, пропорциональное амплитуде сигнала.

Горизонтальное отклонение луча (развертка) происходит с помощью генератора горизонтальной развертки, при этом длительность развертки пропорциональна времени пробега акустического импульса от излучателя до приемника. Так как время пробега пропорционально расстоянию до отражателя, то развертка луча может быть откалибрована в единицах длины.

Такой принцип регистрации сигналов, получаемых в какой-либо одной точке приема, называется изображением типа А (А - развертка или А - скан). Анализируя А - скан, оператор - дефектоскопист принимает решение о наличии в изделии дефекта (отражателя) и его местоположении относительно излучателя и приемника. Заметим, что возможны другие формы отображения информации, получаемой при перемещении (сканировании) приемника по поверхности контролируемого изделия, т. е. в случаях, когда необходимо показать совокупность сигналов, регистрируемых в нескольких точках приема.

Для отображения совокупности сигналов, получаемых при перемещении приемника по поверхности контролируемого изделия вдоль прямой линии, используется изображение типа В (В - развертка или В - скан). Это изображение состоит из совокупности строк, причем каждой строке соответствует определенное положение приемника на линии сканирования, т. е. каждой строке изображения соответствует свой акустический луч. Амплитуде сигналов в каждой точке луча соответствует яркость точек на строках изображения.

Для индикации совокупности сигналов, получаемых при растровом сканировании, т. е. при перемещении приемника по параллельным прямым линиям, используется изображение типа С (С - развертка или С - скан). Это изображение состоит из совокупности строк, в которой каждой строке соответствует в определенном масштабе одна линия перемещения приемника. Яркость точек на строках изображения типа С соответствует амплитудам наибольших сигналов, которые регистрируются приемником в соответствующих точках поверхности контролируемого изделия. Изображение типа А широко используется как в дефектоскопах ручного контроля, так и в автоматизированных системах. Для создания изображений типа В и С необходимы специальные механические устройства сканирования, что затрудняет использование этих типов отображения информации при ручном контроле. В последние годы появились компьютеризованные системы типа Р-scan (Force, Дания) и Zipscan (Sonomatic, Великобритания), в которых используются изображения типа В и С в режиме ручного контроля.

Электронно-лучевая трубка (ЭЛТ) предназначена для визуализации сигналов, поступающих на приемник дефектоскопа. Для этого в ЭЛТ, которая является электровакуумным прибором, создается электронный луч, вызывающий свечение специального покрытия - люминофора, которое наносится на экран для преобразования потока электронов в видимое излучение. Направление электронного луча, а значит, положение светящейся точки на экране, зависит от напряженности электрического поля между двумя отклоняющими пластинами, которое создается приложенным к пластинам напряжением. Такая отклоняющая система называется электростатической. В ЭЛТ имеется две пары пластин, одна из которых служит для горизонтального отклонения, вторая - для вертикального. Яркость пятна, т. е. яркость изображения на экране, зависит от интенсивности электронного луча и типа люминофора.

Качество изображения в основном определяется яркостью и четкостью светящейся точки, а также линейностью зависимости отклонения луча от напряжения, приложенного к отклоняющим пластинам.

Скорость развертки в ЭЛТ может быть очень высокой, достигая в некоторых образцах трубок 3-5 км/с при достаточной яркости изображения. Для достижения необходимой яркости, позволяющей наблюдать изображение при дневном свете, применяются трубки с высоким анодным и послеускоряющим напряжением (до 7-10 кВ).

На экран ЭЛТ наносятся специальные шкалы, которые служат для отсчета значений амплитуды сигналов (вертикальная шкала) и расстояний (горизонтальная шкала).

Регулировка цепей управления ЭЛТ обычно связана с установкой таких режимов, которые соответствуют наиболее четкому изображению сигналов на экране. В первую очередь это относится к регулировке яркости, фокусировке, компенсации искажения луча на краях экрана, а также положения горизонтальной развертки луча относительно шкал, нанесенных на экран. В каждом конкретном случае оператор устанавливает наиболее удобные для него режимы, если таковые не определены в инструкции на контроль.

Генератор горизонтальной развертки предназначен для формирования напряжения специальной формы, управляющего движением луча вдоль горизонтальной шкалы экрана ЭЛТ. Период развертки состоит из трех частей: задержка развертки, рабочий ход и пауза (обратный ход развертки). Регулируя развертку, можно выбрать определенный участок на временной оси (интересующая область контролируемого изделия), который будет отображаться на экране ЭЛТ. В течение рабочего хода развертки генератор формирует пилообразное напряжение, под действием которого электронный луч смещается по экрану слева направо. Напряжение развертки в электростатических ЭЛТ прикладывается симметрично к обеим горизонтальным отклоняющим пластинам, т. е. напряжение на пластинах в каждый момент времени одинаково по величине и противоположно по знаку. Во время паузы управляющее напряжение возвращается к первоначальному значению. Чтобы обратный ход не был виден на экране, одновременно с ним на ЭЛТ подается специальный импульс напряжения, запирающий ее (импульс гашения).

Часто бывает необходимо выделить из всей области контроля небольшой участок и рассмотреть соответствующие ему сигналы с наибольшим разрешением. Для этого начало развертки устанавливается таким образом, чтобы оно соответствовало началу этого участка, скорость развертки при этом устанавливается максимальной. Такой режим работы ЭЛТ называется «электронной лупой».

Регулировка цепей управления генератора горизонтальной развертки связана с установкой задержки и скорости развертки.

Задержка развертки обычно устанавливается таким образом, чтобы начало первого импульса на экране (начальный импульс), который соответствует импульсу возбуждения, находился в начале (на левом краю) горизонтального луча. В ряде случаев начальный импульс может убираться с экрана. Это бывает необходимо тогда, когда из всей области контроля желательно выделить небольшой участок и рассмотреть его с наибольшей разрешающей способностью. Для этого развертка на участке между начальным импульсом и интересующей

нас областью исключается регулировкой задержки развертки, а нужный участок «растягивается» на экране за счет увеличения скорости развертки.

В случае, когда шкала экрана используется в качестве шкалы глубиномера, с помощью регулятора задержки устанавливается соответствие начала шкалы нулевой точке отсчета по оси времени (по глубине).

При установке скорости развертки необходимо руководствоваться двумя требованиями. С одной стороны, развертка не может быть слишком «быстрой», т. к. на экране должен быть виден эхо-сигнал от самого удаленного отражателя. С другой стороны, при «быстрой» развертке достигается наилучшая разрешающая способность. Поэтому необходимо правильно использовать всю ширину экрана, устанавливая скорость развертки такой, чтобы самый удаленный эхо-сигнал находился ближе к концу развертки (на правом краю экрана), но все еще был в пределах экрана.

Синхронизатор предназначен для формирования тактовых импульсов, управляющих работой переключающих схем дефектоскопа. Синхронизатор представляет собой генератор импульсов, работающий в автоколебательном режиме в диапазоне частот 100-10000 Гц.

Тактовую частоту синхронизатора желательно устанавливать наибольшей для данного типа дефектоскопа, т.к. в этом случае достигается максимальная яркость изображения. С другой стороны, период повторения тактовых импульсов должен быть больше времени пробега акустического импульса между излучателем, самым удаленным отражателем и приемником, что важно при контроле толстостенных изделий. В случае наличия многократных отражений от границы изделия период повторения тактовых импульсов синхронизатора должен быть настолько большим, чтобы все отражения успевали затухнуть к моменту излучения следующего зондирующего импульса. В противном случае, отражения, вызванные предыдущим зондирующим импульсом, попадут на развертку в последующем такте и будут ошибочно приняты за эхо-импульс от дефекта. Такие отражения, попавшие на экран из-за неправильной установки частоты синхронизации, носят название паразитных (повторных, фантомных) импульсов.

Генератор импульсов возбуждения (ГИВ) предназначен для формирования высоковольтных импульсов малой длительности (0,2-3 мкс), которые используются для возбуждения колебаний излучающего преобразователя. Хотя в разных типах ультразвуковых дефектоскопов есть различия в схемных решениях и элементной базе, почти во всех используется один и тот же принцип формирования импульса возбуждения. Этот принцип основан на периодическом заряде конденсатора до напряжения в несколько сотен вольт с последующим его разрядом на колебательный контур. Этот контур состоит из параллельно включенных емкости излучающего преобразователя и катушки индуктивности, которая может быть установлена в электронном блоке или в излучающем преобразователе.

Резонансная частота контура должна быть близка резонансной частоте пьезопластины (определение резонансной частоты дано ниже, в разделе «Пьезоэлектрические преобразователи»).

Разряд конденсатора на колебательный контур, т. е. на пьезопреобразователь, производится с помощью специального быстродействующего переключающего элемента, в качестве которого используются тиристоры или высокочастотные полевые транзисторы. Переключение происходит в момент поступления тактового импульса от синхронизатора, в результате чего в контуре возбуждаются электрические колебания, которые вызывают соответствующие (вынужденные) колебания пьезопластины излучателя. При акустическом контакте излучателя с контролируемым изделием в последнем возбуждаются и распространяются акустические волны. Форма излучаемого акустического импульса в значительной мере определяется типом преобразователя и условиями его акустического контакта. Кроме того, влияние на форму импульса оказывает демпфирующее (гасящее) сопротивление, которое включается параллельно контуру с целью ускорения процесса затухания колебаний в электрическом контуре и, как следствие, уменьшения длительности акустического импульса.

При использовании описанной выше схемы генератора верхняя граница частоты излучателя определяется длительностью переднего фронта импульса возбуждения, зависящей от скорости срабатывания (быстродействия) переключающего элемента, через который осуществляется разряд конденсатора.

В ГИВ некоторых типов дефектоскопов предусмотрена регулировка величины демпфирующего сопротивления с целью создания оптимальных условий для возбуждения специальных широкополосных преобразователей. Следует заметить, что изменение величины демпфирующего сопротивления приводит к изменению амплитуды сигналов, поэтому эту регулировку необходимо проводить перед настройкой чувствительности.

Приемное устройство предназначено для приема, усиления и детектирования эхо-сигнала, а также для измерения его амплитуды методом сравнения с опорным сигналом. К приемному устройству ультразвукового дефектоскопа предъявляются довольно высокие требования.

1 На входе дефектоскопа могут действовать сигналы, амплитуды которых лежат в диапазоне 10 мкВ - 30 В. Собственные шумы усилителя должны быть меньше уровня сигналов не менее чем в два раза. В то же время сигналы с большой амплитудой должны передаваться без искажений.

2 Усилитель должен быстро восстанавливать свои параметры после действия импульса возбуждения большой амплитуды, чтобы можно было обнаруживать дефекты, лежащие вблизи преобразователя.

3 Усилитель должен иметь стабильные характеристики при изменении температуры окружающего воздуха.

4 Коэффициент передачи сигналов во всем диапазоне амплитуд должен быть линейным.

5 Усилитель должен иметь широкую полосу частот (не менее 0,5-10 МГц), чтобы можно было получить на его выходе эхо-сигналы малой длительности, которые имеют наибольшую разрешающую способность,

С учетом вышесказанного, функциональная схема приемного устройства дефектоскопа содержит следующие элементы:

1 Непосредственно на входе приемного устройства стоит ограничитель амплитуды, который препятствует прохождению высоковольтного импульса возбуждения непосредственно на вход усиливающих элементов.

2 Сигнал с выхода ограничителя поступает на калиброванный делитель напряжения (аттенюатор), с помощью которого регулируется коэффициент передачи приемного устройства и, как результат, амплитуда сигналов на ЭЛТ. В некоторых типах дефектоскопов (например, УД2-12) аттенюатор стоит на входе приемного устройства перед ограничителем амплитуды.

3 После аттенюатора сигнал усиливается высокочастотным усилителем, коэффициент усиления которого определяет чувствительность дефектоскопа в целом.

Усиленный сигнал поступает на выпрямитель (детектор), который в современных дефектоскопах может обеспечивать двухполупериодное и однополупериодное (положительное и отрицательное) выпрямление. Двухполупериодное выпрямление используется в случае, когда для оценки размера дефекта используется максимальное значение сигнала. Однополупериодное выпрямление используется для точного определения местонахождения отражателя, а также для определения фазы отраженного сигнала, которая зависит от акустического сопротивления среды, заполняющей несплошность. Иногда удобнее наблюдать на экране «сглаженное» изображение сигналов, для чего в схеме выпрямителя используются фильтры, с помощью которых выделяется огибающая эхо-сигналов. Кроме того, для удобства наблюдения используется линейное подавление слабых сигналов без изменения амплитуды более мощных сигналов (компенсированная отсечка). Однако к использованию такой схемы подавления следует подходить очень осмотрительно, т. к. она искажает общий характер сигналов, что влечет опасность пропуска дефектов с малой отражательной способностью.

После описанной выше подготовки сигналы дополнительно усиливаются видео-усилителем, который принципиальных изменений в сигнал не вносит и поэтому на функциональной схеме не показан, после чего они подаются на вертикальную отклоняющую систему ЭЛТ. Так как приемное устройство оказывает наибольшее воздействие на амплитуду сигнала, которая является важнейшим параметром при оценке отражателей, все процедуры по его регулировке должны быть строго регламентированы в документации на контроль.

При контроле изделия с помощью ручного дефектоскопа анализ сигналов, отображаемых на экране, и выработку решения о наличии дефекта осуществляет оператор-дефектоскопист. Для этого он должен постоянно наблюдать за экраном дефектоскопа, что в большинстве случаев трудно осуществить. Поэтому с целью повышения производительности контроля в состав современных дефектоскопов входит ряд специальных функциональных узлов, предназначенных для автоматизации некоторых функций оператора. Для этой цели чаще всего используются автоматический сигнализатор дефектов (АСД), схема временной регулировки чувствительности (ВРЧ) и измеритель расстояния (глубиномер).

С помощью АСД автоматически вырабатывается световой и звуковой сигналы тревоги в тех случаях, когда в пределах установленного интервала времени появляется сигнал, амплитуда которого превышает заданный пороговый уровень. Этот уровень (порог АСД) равен амплитуде эхо-сигнала от отражателя (дефекта), размеры которого считаются недопустимыми для данного изделия. Временной интервал, внутри которого осуществляется сравнение сигналов с порогом АСД, называется строб-импульсом (стробом) или зоной АСД. Регулировку задержки строба относительно импульса возбуждения преобразователя и ширины строба осуществляют таким образом, чтобы анализу подвергались только те сигналы, которые соответствуют наиболее важному с точки зрения дефектности объему в контролируемом изделии.

Схема временной регулировки чувствительности (ВРЧ) предназначена для автоматической регулировки коэффициента усиления приемного устройства таким образом, чтобы амплитуда эхо-сигналов, вызванных отражателями одинакового размера, но лежащими на разных расстояниях, были одинаковыми на входе усилителя. Применение схемы ВРЧ позволяет компенсировать ослабление акустической волны в материале контролируемого изделия, обусловленное дифракционным расхождением и затуханием ультразвука. Это облегчает оператору процесс оценки сигналов по экрану ЭЛТ и позволяет упростить схему АСД, т. к. во всей зоне АСД все сигналы могут сравниваться с одним порогом АСД. Кроме того, применение ВРЧ позволяет уменьшить время восстановления усилителя после воздействия импульса возбуждения, т. к. наибольшее подавляющее воздействие приходится как раз на начальный участок развертки. Изменение коэффициента усиления приемного устройства осуществляется напряжением, которое изменяется во времени по закону, обратному закону ослабления звука в материале изделия.

Регулировка схемы ВРЧ заключается в установке зоны действия ВРЧ (строб ВРЧ) и формы регулирующего напряжения. Глубиномер предназначен для автоматического расчета расстояния между преобразователем и отражателем по измеряемому времени пробега и известной скорости звуковой волны. Принцип действия глубиномера аналогичен тому, который применяется в эхо-импульсных толщиномерах и будет рассмотрен ниже.

2.3.3 Эхо-импульсный толщиномер.

Ультразвуковой толщиномер предназначен для измерения толщины стенок деталей, доступных только с одной стороны. Для этого в толщиномере производится автоматическое измерение времени пробега между противоположными поверхностями стенки детали, которое прямо пропорционально толщине стенки и обратно пропорционально скорости звука в материале контролируемого изделия. При этом предполагается, что материал является однородным и скорость звука в нем известна. Измеренное значение времени пробега умножается на половину скорости звука (т. к. волна проходит расстояние, равное двойной толщине) и индицируется.

Для измерения толщины стенок используются два способа, различающихся по области применения, со своими специальными приборами и преобразователями.

В первом способе используются высокодемпфированные (широкополосные) преобразователи для получения очень короткого акустического импульса. Время пробега в этом способе определяется по двум или более отражениям от противоположной стенки детали (донной поверхности). Минимальное измеряемое значение толщины изделия определяется частотой зондирующего импульса и будет тем меньше, чем выше частота. Недостаток способа заключается в том, что измерение возможно в случае, когда имеется серия эхо-импульсов от задней стенки изделия, поэтому к состоянию поверхности контролируемого изделия предъявляются очень высокие требования.

Измерять толщину стенки с грубыми поверхностями (например, прокорродированными) описанным способом нельзя, т.к. на неровностях поверхности, коррозионных язвах и др. происходит сильное рассеяние звука, которое не позволяет получить многократные отражения.

Во втором способе для измерения толщины используется только первый отраженный импульс. Этот способ не обеспечивает точности первого, но он обеспечивает измерения при плохом качестве поверхности. Толщиномеры, реализующие второй способ, выпускаются серийно ПО «Интроскоп» (Молдова), НПФ «Ультракон-Сервис» (Украина) и др. и широко применяются на промышленных предприятиях. Поэтому ниже будем рассматривать именно этот тип аппаратуры.

Синхронизатор, генератор импульсов возбуждения, искатель и усилитель, входящие в состав толщиномера, выполняют функции, аналогичные одноименным узлам эхо-импульсного дефектоскопа. Измерительная схема содержит измерительный триггер, схему регулируемой задержки синхроимпульса, генератор счетных импульсов и схему совпадения.

Измерительный триггер служит для формирования импульса, длительность которого равна времени пробега акустического импульса между противоположными поверхностями стенки детали. Начало этого импульса устанавливается оператором при калибровке толщиномера, а конец определяется моментом прихода первого эхо-сигнала. Для этого на один вход триггера подается синхронизирующий импульс с регулируемой задержкой относительно импульса возбуждения («установка нуля отсчета»), а на второй - сигналы с выхода усилителя.

Импульс с выхода измерительного триггера поступает на схему совпадения, на второй вход которой поступают счетные импульсы с высокочастотного генератора. Частота генератора устанавливается оператором в соответствии со скоростью звука в материале контролируемой детали («установка скорости»). Таким образом, на схеме совпадения происходит перемножение времени и скорости, поэтому количество импульсов на выходе схемы совпадения будет соответствовать толщине стенки. Количество импульсов подсчитывается счетчиком и отражается на цифровом индикаторе.

Таким образом, основное влияние на погрешность измерения оказывает точность установки начала отсчета и скорости звука.

Кроме того, на погрешность измерений оказывают влияние изменения амплитуды эхо-сигнала, которые происходят из-за условий акустического контакта, непараллельности поверхностей и их шероховатости, затухания звука в материале изделия. Это вызвано тем, что крутизна переднего фронта эхо-сигнала, по которому происходит опрокидывание измерительного триггера, соизмерима с измеряемыми интервалами при малых толщинах (2-5 мм). Например, при частоте ультразвуковых колебаний 5 МГц и скорости звука в стали около 6 мм/мкс, длина волны составляет 1,2 мм. Таким образом, при длительности переднего фронта, которая составляет четверть длины волны (0,3 мм), погрешность в указанном диапазоне толщин может достигать 10 %. Поэтому на практике минимальная измеряемая толщина ограничивается значением около 0,5 мм.

Еще одной характерной причиной погрешности, которая вызывается изменением амплитуды эхо-сигнала, является дискретное изменение показаний толщиномера из-за так называемой «потери волны». Под этим термином понимают переход момента переключения измерительного триггера с первой полуволны на последующую, которая обычно имеет амплитуду больше, чем первая полуволна. Если изменение амплитуды эхо-сигнала без потери волны может привести к погрешности не более четверти волны, то большие изменения амплитуды могут дать в результате погрешности в одну и более длин волн (для приведенного выше примера это составит 1,2 мм и более).

Из сказанного выше видно, что погрешность измерений можно уменьшить за счет увеличения амплитуд эхо-сигналов. Для этого необходимо повышать амплитуду импульсов возбуждения, увеличивать коэффициент усиления, снижать порог срабатывания измерительного триггера, но указанные меры имеют предел, который определяется уровнем собственных помех преобразователей. Кроме того, можно увеличить крутизну переднего фронта эхо-сигнала за счет повышения частоты колебаний, однако эта мера приводит к увеличению затухания звука и, как следствие, к уменьшению диапазона измерений.

За счет правильного выбора параметров аппаратуры можно проводить измерения толщины в диапазоне от 0,5 мм до 1 м с достаточно высокой точностью.

2.4 Технология ручного ультразвукового контроля

Все методы ультразвукового контроля основаны на общем принципе оценки обнаруженных дефектов, который заключается в сравнении амплитуд сигналов от дефекта с некоторым опорным (пороговым) сигналом от отражателя известного размера. Выбор способа получения опорного сигнала и его значения основывается на анализе акустического тракта — пути звуковой волны от излучателя к дефекту и от него к приемнику. Целью анализа тракта является оценка степени ослабления зондирующего импульса при распространении. Анализ может проводиться расчетным (теоретическим) или экспериментальным путем. При теоретическом анализе в расчетах

учитываются только основные факторы, которые влияют на результирующий сигнал, а модели дефектов представляются в виде отражателей правильной формы (сферы, диск, цилиндр). Влияние же всех факторов можно учесть только при экспериментальных исследованиях.

Наиболее существенное влияние на амплитуду эхо-сигнала оказывают следующие факторы:

- а) рассеивающие свойства отражателя;
- б) акустические свойства материала контролируемого изделия;
- в) геометрические параметры контролируемого изделия;
- г) электроакустические и геометрические параметры излучателя и приемника.

Рассеивающие свойства отражателя зависят от его размеров, ориентации (относительно излучателя и приемника), конфигурации, шероховатости поверхности, вещества, заполняющего несплошность.

Влияние размеров отражателя на рассеяние (отражение) падающей волны зависит от волнового размера отражателя, который определяется отношением линейного размера к длине волны.

Условно выделяют три области волновых размеров:

- 1) длинноволновая (релеевская), где линейный размер отражателя намного меньше длины волны;
- 2) резонансная, где размер отражателя соизмерим с длиной волны;
- 3) коротковолновая, где размер отражателя намного больше длины волны.

В релеевской области амплитуда эхо-сигнала практически не зависит от размера отражателя.

В резонансной области отражение носит сложный характер, эта область волновых размеров наименее изучена.

В коротковолновой зоне отражатели обладают четко выраженным направленным свойством. По мере увеличения пространственной кривизны отражающей поверхности амплитуда отраженной волны уменьшается. Поэтому в случае перпендикулярного падения волны на отражатель плоской формы (например, диск или плоское дно цилиндрического отверстия) амплитуда эхо-сигнала будет больше, чем амплитуда отражения от сферы того же диаметра, и пропорциональна площади плоского отражателя (до определенного предела). Однако в случае бокового падения волны на плоский отражатель часть зеркально отраженных лучей пройдет в стороне от приемника, в результате амплитуда принятого сигнала уменьшится и может быть меньше, чем отражение от сферы.

Естественные отражатели (дефекты) в изделии имеют ряд отличий от идеальных, которые рассматривались выше. Чаще всего, они имеют неправильную форму, их поверхность не плоская и часто имеет большую шероховатость.

Естественные отражатели иногда бывают проницаемы для ультразвука. В стали это наблюдается редко, т. к. сталь имеет большое акустическое сопротивление и, например, оксидные включения в стали имеют коэффициент отражения близкий к единице. Однако в легких сплавах разница волновых сопротивлений уже не будет столь большой, и амплитуды отражений от

несплошностей одного размера, заполненных в одном случае воздухом, а в другом - оксидами, будут различаться.

В некоторых случаях трещины, заполненные воздухом, могут быть настолько тонкими (или даже смыкаться под действием механических напряжений), что они будут частично пропускать ультразвук, в результате чего эхо-сигнал уменьшается.

Шероховатость естественного отражателя начинает уменьшать амплитуду отражения тогда, когда ее величина превышает 0,1 длины волны. Если в зоне дефекта плотность вещества и скорость звука изменяется не скачкообразно, а постепенно, т. е. отсутствует четко выраженная граница раздела, отражения волны не происходит. Такой дефект обнаружить эхо-импульсным методом нельзя (например, губчатая структура металла в отливках).

Технологический процесс ультразвукового контроля включает в себя следующие последовательно выполняемые операции:

- 1) оценка дефектоскопичности (контролепригодности) изделия;
- 2) подготовка изделия к контролю;
- 3) проверка технического состояния дефектоскопа;
- 4) настройка дефектоскопа на рабочие режимы;
- 5) поиск и обнаружение дефекта;
- 6) определение местоположения и оценка размера дефекта;
- 7) оформление результатов контроля.

2.5 Оценка дефектоскопичности изделия

Под дефектоскопичностью изделия понимают совокупность его свойств, которые определяют возможность проведения контроля с заданной достоверностью. На дефектоскопичность влияют размеры изделия, кривизна поверхности, толщина стенок, структура материала, наличие доступа и др.

Изделие считается дефектоскопичным (пригодным к контролю), если:

- 1) центральный луч хотя бы один раз проходит через все точки контролируемого объема;
- 2) подлежащий обнаружению дефект независимо от его положения в контролируемом объеме выявляется на фоне шумов с запасом не менее 6 дБ (с двухкратным запасом).

Первый критерий связан только с геометрическими характеристиками изделия, второй - с его акустическими свойствами.

Поверхность изделия в зоне прохождения ультразвуковых волн должна быть по возможности плоской (иметь большой радиус кривизны). На ней не должно быть выступов, проточек, отверстий, приваренных элементов. Ширина зоны сканирования должна быть достаточной для перемещения преобразователя по заданной траектории.

При оценке дефектоскопичности по второму критерию изделие считается пригодным к контролю, если длина волны намного превышает размер структурного зерна, а ослабление эхо-сигнала за счет затухания при максимальном расстоянии до дефекта не должно превышать 6 дБ.

Первое условие регламентирует размер зерен материала изделия при выбранной частоте колебаний. Крупнозернистая (по отношению к длине волны) структура с хаотичным расположением зерен вызывает интенсивное рассеяние ультразвуковых волн на границах зерен (структурная реверберация). Это приводит к высокому уровню акустических (реверберационных) помех и большому затуханию звука. По этой причине затруднен контроль литых поковок, швов электрошлаковой сварки и сварки, выполненной аустенитными электродами. Уровень структурных помех и затухание снижаются при разрушении литой структуры в процессе обработки материала давлением, например, при ковке, прокатке, прессовании профилей и т. д. Главным фактором является процесс измельчения крупных зерен литого состояния.

Для практики контроля можно сделать следующие выводы:

1 Рассеяние в материале изделия быстро увеличивается с увеличением размера зерна или с уменьшением длины волны, в случаях, когда размеры зерна составляют порядка 0,1 длины волны или несколько больше.

2 В сложных структурах за размер зерна следует принимать размер самого крупного элемента структуры.

3 Литая структура имеет более сильное затухание звука, чем деформированная, даже при одинаковых размерах зерна.

4 Затухание можно уменьшить за счет перехода на более низкие частоты (увеличить длину волны), но этот путь имеет смысл только в том случае, когда размеры наименьших дефектов, которые должны быть выявлены, будут больше размера зерна.

2.6 Подготовка изделия к контролю

При всех методах контроля для одинаковой оценки отражений от дефектов желательно иметь одинаковое качество поверхности. При прямом контакте, когда преобразователь прижимается к поверхности изделия через тонкий слой жидкости, наиболее негативное влияние оказывают различные твердые частицы, которые меняют толщину контактного слоя и, соответственно, его проницаемость. Непрочно держащиеся частицы окалины или краски могут образовать воздушные зазоры, которые препятствуют прохождению звука в изделие.

В зависимости от исходного состояния поверхности используют разные способы ее подготовки к контролю (зачистки), например, с помощью стальной щетки, скребка, наждачной бумаги, пескоструйной обработки и пр. Не рекомендуется использовать для зачистки поверхности шлифовальные круги, т. к. после них на поверхности остаются ямки, которые приводят к нестабильному акустическому контакту. Однородные и прочно держащиеся покрытия, в т. ч. слои краски, создают помехи контролю не всегда, а нередко контроль по ним бывает лучше, чем по неравномерно зачищенной поверхности.

При обычных частотах контроля (1-5 МГц) высокая чистота поверхности не требуется, т. к. микронеровности высотой примерно 0,1 мм и менее уже не оказывают существенного влияния на чувствительность. Напротив, шлифованные плоскости поверхности часто бывает неудобно контролировать, т. к. преобразователь «присасывается» к ним и плохо скользит. Более того, эхо-

сигнал достигает своего максимального значения довольно медленно, т. к. происходит медленное выдавливание жидкости из зазора между преобразователем и изделием. Обычно высота неровностей поверхности регламентируется в пределах 10-40 мкм.

Шероховатости, превышающие 0,1 длины волны, заметно ухудшают акустический контакт и уменьшают звуковое давление в направлении акустической оси. Сильно шероховатые поверхности действуют на падающую волну, как матовое стекло на свет, - луч рассеивается во все стороны. Важным моментом в подготовке изделия к контролю является выбор контактной жидкости. Она должна обладать хорошей смачиваемостью, оптимальной вязкостью и однородностью, не вызывать коррозии и быть пожаробезопасной. Выбор контактной жидкости определяется геометрией изделия, его пространственным положением, внешними условиями. При контроле с помощью контактных преобразователей наиболее широкое применение нашли минеральные масла, которые более полно отвечают перечисленным выше требованиям. На гладких горизонтальных поверхностях лучше всего использовать жидкотекучее масло (машинное, трансформаторное). На изделиях с большой кривизной поверхности, на наклонных и вертикальных плоскостях, при контроле в поточном положении рекомендуется применять масла с повышенной вязкостью (солидол, тавот) или водорастворимые клеи, пасты.

2.7 Основные параметры контроля

Ультразвуковой контроль, как и всякий технологический процесс, характеризуется совокупностью физических величин - параметров. К основным параметрам контроля относятся те, которые обуславливают достоверность контроля.

ГОСТ 14782-86 определяет следующие основные параметры контроля:

- 1) длина волны или частота ультразвуковых колебаний;
- 2) чувствительность;
- 3) положение точки выхода луча (стрела преобразователя);
- 4) угол ввода ультразвукового луча в металл;
- 5) погрешность глубиномера (погрешность измерения координат);
- 6) мертвая зона;
- 7) разрешающая способность по дальности и (или) фронту;
- 8) характеристики электроакустического преобразователя;
- 9) длительность импульса дефектоскопа.

Условная чувствительность дефектоскопа характеризуется размерами или глубиной залегания уверенно выявляемых искусственных отражателей, выполненных в образце из материала с определенными акустическими свойствами (стандартном образце). *Эквивалентная чувствительность дефектоскопа* — это чувствительность, настроенная по любому заранее оговоренному искусственному или естественному отражателю в контролируемом изделии.

Абсолютной чувствительностью дефектоскопа называют отношение минимальной амплитуды эхо-сигнала, которая еще регистрируется

дефектоскопом, к амплитуде зондирующего импульса (характеристика электроакустического тракта дефектоскопа).

На основании приведенных выше определений можно сделать вывод, что к основным параметрам контроля следует относить предельную чувствительность контроля, а к параметрам аппаратуры — условную чувствительность дефектоскопа. Реальная чувствительность контроля является следствием установленных режимов контроля, в т. ч. предельной чувствительности, и может использоваться как критерий достоверности контроля, например, при отработке методики контроля.

Следует заметить, что ГОСТ 14782-86 относит предельную чувствительность к параметрам дефектоскопа, хотя, по определению, это характеристика дефекта (размер), который можно обнаружить при данных (но не предельных) параметрах аппаратуры.

Мертвая зона (минимальная глубина обнаружения) - это область, прилегающая к поверхности ввода контролируемой детали, в которой с помощью данной аппаратуры (электронный блок и преобразователь) невозможно надежно выявить дефект определенного размера. Дефект считается надежно выявляемым, если амплитуда эхо-сигнала от него превышает уровень реверберационных шумов преобразователя на 6 дБ (в два раза) и более. Возникновение мертвой зоны при контроле по совмещенной схеме (пьезоэлемент служит для излучения и приема одновременно) связано с тем, что после излучения зондирующего импульса на пьезоэлемент в течение некоторого времени поступают многократные отражения от элементов преобразователя (реверберационные шумы), которые перекрывают эхо-сигнал. Размер мертвой зоны для прямого преобразователя определяется скоростью звука в материале контролируемого изделия и длительностью реверберационных шумов.

Таким образом, мертвая зона наклонного преобразователя зависит как от угла ввода, так и от типа волны, которая вводится в контролируемое изделие. Для диапазона углов призмы между первым и вторым критическими углами мертвая зона будет определяться скоростью поперечной волны.

Увеличение частоты колебаний приводит к увеличению скорости затухания реверберационных шумов (уменьшает их длительность) и, как следствие, к уменьшению мертвой зоны. Кроме того, с увеличением частоты уменьшается длина волны, благодаря чему увеличивается отражающая способность дефекта (амплитуда эхо-сигнала), что также способствует уменьшению мертвой зоны.

Необходимо обратить внимание, что размер мертвой зоны увеличивается с увеличением чувствительности, т. к. это приводит к увеличению длительности реверберационных шумов. Таким образом, чем меньше размер дефекта, который необходимо обнаружить, тем больше приповерхностная область, в которой это невозможно сделать.

Для прямого раздельно-совмещенного преобразователя мертвая зона определяется частью энергии зондирующего импульса, которая попадает от излучающего элемента на приемный (так называемый «прямой сигнал»).

Прямой сигнал значительно слабее реверберационных шумов совмещенного преобразователя, поэтому мертвая зона раздельно-совмещенных преобразователей меньше, чем у совмещенных, и составляет 0,5...2 мм.

Шагом сканирования называют расстояние между линиями, вдоль которых производится перемещение преобразователя по поверхности контролируемого изделия (сканирование). Целью сканирования является обнаружение всех дефектов, размеры которых превышают установленное значение. Чем шире диаграмма направленности преобразователя в режиме излучение - прием, тем большим может быть шаг сканирования. При этом необходимо учитывать форму акустического поля преобразователя на разных расстояниях от пьезоэлемента. Так, на границе ближнего поля ширина акустического пучка составляет половину диаметра пьезоэлемента. На расстояниях, превышающих $2,3 \lambda$, ширина пучка становится равной диаметру пьезоэлемента, и в дальнейшем (в дальнем поле) пучок конусообразно расходится. Поэтому минимальный шаг сканирования должен быть примерно равен половине размера пьезоэлемента.

Если обнаружение дефекта ведется в дальнем поле преобразователя, то шаг сканирования определяется по формуле:

$$S = 2H \operatorname{tg} \theta,$$

где H – расстояние до дефекта;

θ – угол раскрытия диаграммы направленности.

Разрешающей способностью по дальности (лучевая разрешающая способность) называют минимальное расстояние между двумя отражателями, лежащими на центральном луче (акустической оси), при котором эхо-сигнал от них еще различается на экране дефектоскопа. Сигналы считаются различными, если минимальный уровень сигнала в промежутке между двумя эхо-импульсами меньше их амплитудных значений на 6 дБ и более.

Таким образом, разрешающая способность может составлять 2...3 длины волны. Некоторое ограничение на разрешающую способность по дальности может накладывать разрешающая способность экрана дефектоскопа, особенно при контроле толстостенных деталей, когда используется малая скорость развертки ЭЛТ.

Понятие лучевой разрешающей способности по физической сути сходно понятию мертвой зоны, но так как длительность эхо-сигналов существенно меньше длительности реверберационных шумов, разрешающая способность меньше мертвой зоны.

Разрешающей способностью по углу (фронтальная разрешающая способность) называют минимальное расстояние между двумя отражателями, лежащими на одинаковом расстоянии от преобразователя, при котором эхо-сигнал от них еще фиксируется раздельно. Фронтальная разрешающая способность определяется в таком положении преобразователя, при котором центральный луч проходит посередине между двумя отражателями. При этом уровень сигнала должен быть меньше максимальной амплитуды эхо-сигнала от каждого отдельного отражателя на 6 дБ и более.

Фронтальная разрешающая способность определяется формой акустического поля преобразователя. В ближнем поле она приблизительно равна диаметру пьезоэлемента, на границе ближнего поля составляет половину диаметра элемента, а в дальнем поле.

2.8 Проверка технического состояния дефектоскопа

В процессе эксплуатации параметры ультразвукового дефектоскопа могут существенно изменяться из-за неисправности функционального узла или неправильных действий оператора. В ряде случаев дефектоскоп может, находясь в работоспособном состоянии, иметь параметры, которые значительно отличаются от нормативных (метрологический отказ). Например, такая ситуация возможна, если оператор ошибочно изменит коэффициент затухания аттенюатора, рабочую частоту и др. В этом случае результаты контроля утрачивают свою точность и уже не отражают действительного качества изделия.

Поэтому перед началом контроля и в ходе его выполнения необходимо периодически проверять техническое состояние аппаратуры, чтобы быть уверенным в ее исправности.

Перед началом работы с наклонным совмещенным преобразователем проверке подлежат следующие параметры:

- точка входа акустической оси и стрела преобразователя;
- угол наклона акустической оси преобразователя (угол призмы) или угол ввода ультразвукового луча в металл;
- мертвая зона;
- разрешающая способность дефектоскопа по дальности (лучевая разрешающая способность).

Перед началом работы с прямым совмещенным преобразователем проверке подлежит разрешающая способность по дальности.

Проверка указанных параметров проводится с помощью комплекта стандартных образцов КОУ-2, в который входят образцы СО-1, СО-2 и СО-3 по ГОСТ 14782-86.

Другие параметры дефектоскопа проверяются в соответствии с методическими указаниями по поверке, которые входят в комплект сопроводительной документации на дефектоскоп или в инструкции на контроль, а также по другим нормативно-техническим документам (руководящие документы, ГОСТ, ОСТ и др.). Эти документы могут устанавливать номенклатуру проверяемых параметров и периодичность их проверки.

2.9 Настройка рабочих режимов дефектоскопа

Настройка дефектоскопа является одной из наиболее ответственных процедур в технологии ультразвукового контроля, поскольку последующая оценка дефектности изделия заключается в сравнении амплитудных и временных параметров эхо-сигналов с параметрами, установленными при настройке.

Процесс настройки включает следующие операции:

- установка рабочей частоты генератора импульсов возбуждения и усилителя;
- настройка чувствительности;

- настройка порогов автоматического сигнализатора дефектов;
- настройка скорости развертки ЭЛТ;
- настройка зоны автоматического сигнализатора дефектов;
- настройка глубиномера.

Рассмотрим указанные операции применительно к дефектоскопу УД2-12.

Установка рабочей частоты производится соответствующими переключателями в генераторе импульсов возбуждения и усилителе. Кроме того, в генераторе имеются регулируемые индуктивности, с помощью которых можно более точно подстроить частоту колебаний. При этом, в соответствии с ГОСТ 14782-86, частоту ультразвуковых колебаний следует измерять радиотехническими методами путем анализа эхо-сигнала от вогнутой цилиндрической поверхности образца СО-3 или измерением длительности периода колебаний в эхо-импульсе с помощью широкополосного осциллографа. Допускается определять длину волны и частоту ультразвуковых колебаний, возбуждаемых наклонным преобразователем, интерференционным способом по образцу СО-4.

Целью настройки чувствительности является установка такого коэффициента передачи приемного устройства, который обеспечивает надежную регистрацию эхо-сигнала от несплошности, превышающей допустимые размеры (дефекта).

Требуемую чувствительность устанавливают по опорным сигналам, которые могут быть получены от искусственных отражателей разного типа, являющихся мерой измеряемой величины — площади дефекта.

Как уже рассматривалось выше, в практике ультразвукового контроля основными видами чувствительности являются предельная и условная.

После настройки чувствительности по максимальной глубине ее величину для меньших глубин уменьшают с помощью схемы временной регулировки чувствительности (ВРЧ).

Хотя плоскодонное отверстие является наилучшим имитатором внутреннего дефекта, авторы некоторых руководящих документов на контроль, ссылаясь на сложность изготовления и аттестации такого образца, предлагают использовать для настройки дефектоскопа с наклонным преобразователем угловой отражатель (зарубку). Следует отметить, что такой отражатель является хорошим имитатором поверхности дефектов, таких как трещина, выходящая на поверхность, непровар при односторонней сварке, питтинговая коррозия. При использовании зарубки в качестве источника опорного сигнала становится возможным одновременно с настройкой чувствительности провести по тому же отражателю настройку развертки и зоны АСД.

Ширина и высота углового отражателя должны быть больше длины ультразвуковой волны, а отношение высоты к ширине отражателя выбирают в пределах 0,5...4,0. Амплитуда эхо-сигнала от отверстия с плоским дном площадью S_n (предельная чувствительность) и эхо-сигнала от зарубки площадью S , будут одинаковы при условии:

$$S_n = N \cdot S,$$

N – коэффициент, зависящий от угла ввода применяемого преобразователя:

В стандартном образце предприятия с сегментным отражателем плоскость сегмента должна быть перпендикулярной к акустической оси преобразователя. Для сегментного отражателя экспериментально установлено, что при углах ввода 40-55 градусов амплитуда эхо-сигналов от плоскодонного и сегментного отражателей совпадает, если их площади равны, а размеры превышают длину волны. Отношение высоты к ширине сегментного отражателя (длина хорды) должно быть больше 0,4. Преимуществом сегментного отражателя является возможность контроля его размеров и состояния отражающей поверхности. Однако из-за сложности изготовления сегментный отражатель не нашел в практике контроля такого широкого применения, как плоскодонное отверстие или зарубка.

При определении предельной чувствительности следует вводить поправки, учитывающие различие чистоты обработки и кривизны поверхности стандартного образца и контролируемого изделия.

Кроме описанных выше методов, для настройки предельной чувствительности иногда используется АРД-диаграмма, которая показывает, как изменяется амплитуда эхо-сигнала от большого и малых отражателей при увеличении расстояния до них (А - амплитуда эхо-сигнала, Р - расстояние до отражателя, Д - диаметр дискового отражателя). В качестве большого отражателя используется плоская донная поверхность. АРД-диаграмма строится для конкретного преобразователя или для серии однотипных преобразователей (при условии, что их характеристики близки друг другу). Условную чувствительность дефектоскопа, согласно ГОСТ 14782-86, следует измерять по стандартному образцу СО-1 в миллиметрах или по стандартному образцу СО-2 в децибелах.

Условную чувствительность по стандартному образцу СО-1 выражают наибольшей глубиной (в миллиметрах) расположения цилиндрического отражателя, фиксируемого индикаторами дефектоскопа.

Условную чувствительность по стандартному образцу СО-2 выражают разностью в децибелах между показанием аттенюатора при данной настройке дефектоскопа и показанием, соответствующим максимальному ослаблению, при котором цилиндрическое отверстие диаметром 6 мм на глубине 44 мм фиксируется индикаторами дефектоскопа.

В связи с большим затуханием ультразвука в оргстекле, из которого выполнен образец СО-1, можно получить ряд опорных сигналов в широком диапазоне от боковых отверстий одинакового диаметра (2 мм), но расположенных на разной глубине (от 5 мм до 60 мм с шагом 5 мм) в указанном образце. Глубина залегания отверстия, которое еще обнаруживается дефектоскопом при данной настройке, и есть значение условной чувствительности в миллиметрах. Хотя образец СО-1 и входит в комплект дефектоскопа УД2-12, в настоящее время он практически не применяется для настройки чувствительности, т. к. по нему трудно определить значение предельной чувствительности.

Другим способом настройки условной чувствительности является использование в качестве опорного сигнала отражения от бокового отверстия диаметром 6 мм в образце СО-2 или в стандартном образце предприятия.

Этот опорный сигнал применяется в качестве нулевого уровня, которому соответствует некоторая исходная предельная чувствительность, определяемая расчетным путем. Если теперь мы увеличим чувствительность дефектоскопа с помощью калиброванного регулятора (аттенюатора) в заданное количество раз, то предельная чувствительность возрастает на заданную величину (т.е. будут обнаруживаться отражатели с площадью, меньше исходной). Если уменьшить чувствительность дефектоскопа, то будут обнаруживаться отражатели с площадью, больше исходной. Точное значение предельной чувствительности можно определить по довольно сложной формуле или по специальным диаграммам. ГОСТ 14782-86 приводит методику определения предельной чувствительности по образцу с цилиндрическим отверстием (надо понимать - боковым отверстием) для дефектоскопа с наклонным преобразователем. Для упрощения определения предельной чувствительности рекомендуется рассчитать по приведенной в ГОСТе формуле и построить SKH - диаграмму, которая связывает предельную чувствительность S , условный коэффициент выявляемое дефекта K и глубину H .

Из вышеизложенного видно, что наиболее приемлемыми являются способы настройки предельной чувствительности по отражениям от плоскодонного отверстия и зарубки.

Настройку порогов АСД целесообразно проводить по тем же образцам, которые использовались для настройки чувствительности. При этом один и тот же отражатель используется для настройки автоматического сигнализатора во всех необходимых режимах. Типовая схема ручного ультразвукового контроля использует три режима оценки дефекта: на браковочном, контрольном и поисковом уровнях. Контрольный уровень еще называют уровнем фиксации.

Браковочный уровень равен амплитуде эхо-сигнала, отраженного от дефекта, площадь которого является предельно допустимой для несплошности в данном изделии. Таким образом, если амплитуда какого-либо эхо-сигнала превышает браковочный уровень, то считается, что площадь соответствующего отражателя превышает допустимое значение, т. е. такой отражатель можно считать недопустимым дефектом.

Контрольный уровень (уровень фиксации) устанавливается ниже браковочного уровня (как правило, на 6 дБ, т.е. в два раза меньше). На этом уровне производится измерение линейных размеров отражателя, и по их значениям принимаются решения о его допустимости. Оценка на контрольном уровне соответствует, например, случаю, когда размер несплошности в одном направлении намного меньше ее размера в другом направлении. Тогда площадь отражателя, попадающая в зону ультразвукового пучка, будет незначительной, соответственно амплитуда эхо-сигнала будет меньше браковочного уровня. Однако протяженность несплошности в другом направлении может в несколько раз превышать диаметр пучка, что свидетельствует об опасности такого типа дефекта. Возможна и другая ситуация, когда отражатель имеет значительную площадь, превосходящую предельно допустимое значение, однако отражающая поверхность не перпендикулярна падающему лучу, поэтому на приемник попадает только часть отраженной энергии. Соответственно амплитуда

принятого эхо-сигнала будет меньше браковочного уровня, и дефект будет ошибочно оценен как допустимый. Поэтому все отражатели, которые дают эхо-сигнал с амплитудой, превышающей контрольный уровень, подлежат регистрации в журнале контроля (фиксации), вследствие чего контрольный уровень и был назван уровнем фиксации. Разница между браковочным и контрольным уровнем, а также критерий оценки дефекта по одному из размеров (длине или высоте), должны быть заданы нормативной документацией на контроль.

Кроме этих двух уровней, используется еще и так называемый «поисковый уровень». Этот уровень устанавливается ниже контрольного (обычно на 6 дБ) и служит для выявления эхо-сигналов, которые превышают уровень помех.

Так как амплитуда помех при сканировании может значительно меняться, этот уровень удобнее «привязать» к уровням, на которых производится разбраковка несплошностей, т.е. к браковочному и контрольному. Поисковый уровень позволяет обнаружить несплошность недопустимых размеров, эхо-сигнал от которой в данный момент сканирования по ряду причин имеет амплитуду ниже браковочного или контрольного уровней. Уменьшение амплитуды эхо-сигнала может быть связано с местоположением отражателя, его ориентацией, ухудшением акустического контакта и прочими влияющими факторами. Обнаружив сигнал на поисковом уровне, оператор должен принять меры по исключению указанных факторов и увеличению тем самым амплитуды эхо-сигнала до максимально возможного значения. Только после принятия всех мер может проводиться оценка допустимости несплошности на браковочном или контрольном уровнях.

Очевидно, что каждому из приведенных выше уровней соответствует своя предельная чувствительность. Браковочному уровню соответствует самая большая площадь отражателя, поисковому - самая маленькая.

Дефектоскоп УД2-12 имеет три уровня (порога) АСД, которые логично «привязать» к трем уровням оценки. Настройка порогов АСД производится в следующем порядке.

Обычно опорный сигнал, получаемый на стандартном образце, при настройке чувствительности соответствует браковочному уровню. В этом случае необходимо установить такое усиление приемного устройства, чтобы вершина опорного сигнала находилась на верхнем делении экрана ЭЛТ. На это же деление устанавливается первый (браковочный) порог АСД, который включает световой индикатор красного цвета. Затем с помощью аттенюатора вводится ослабление 6 дБ, в результате чего вершина опорного сигнала должна опуститься на среднюю линию экрана, на которую устанавливается второй (контрольный) порог АСД. Этот порог включает световой индикатор желтого цвета. Увеличив ослабление с помощью аттенюатора еще на 6 дБ (всего 12 дБ относительно браковочного уровня), уменьшаем опорный сигнал еще в два раза и устанавливаем на соответствующую линию экрана третий (поисковый) порог АСД. Этот порог включает световой индикатор зеленого цвета и звуковой индикатор. Уменьшение амплитуды опорного сигнала в 2 и 4 раза можно получить не только с помощью аттенюатора (6 и 12 дБ), но и путем поворота

преобразователя вокруг оси на небольшой угол. При этом величина опорного сигнала контролируется по экрану дефектоскопа.

В приведенной процедуре настройки порогов АСД используется разница между уровнями в 6 дБ как наиболее распространенная в практике ультразвукового контроля, хотя возможны и другие соотношения.

Как уже отмечалось выше, экран дефектоскопа может использоваться не только для отображения сигналов, но и для измерения времени пробега или расстояния, которое соответствует этому времени.

В зависимости от требований технологии контроля (только отображение сигналов или отображение с измерением) используется соответствующий способ настройки развертки.

Если экран используется для простого отображения сигналов, то к настройке предъявляются два основных требования. Первое - установленная скорость развертки должна обеспечивать отображение сигнала от самого удаленного дефекта в контролируемой области изделия. Второе условие - при отображении должна обеспечиваться максимальная разрешающая способность. Оптимальным решением этих двух условий является установка такой скорости развертки, при которой рабочий участок изображения (от начального импульса до самого удаленного сигнала) занимал бы примерно 0,8 ширины экрана. Напомним, что при необходимости возможно рассмотрение какой-либо части контролируемой области с максимально возможной (для данного дефектоскопа) разрешающей способностью в режиме задержанной развертки.

Для настройки развертки в режиме простого отображения используются искусственный отражатель, лежащий на максимальном (исходя из требований на контроль) расстоянии от преобразователя. Таким отражателем может служить плоскодонное или боковое отверстие. Кроме того, в случае применения прямого преобразователя настройку развертки можно проводить по донной поверхности, для наклонного - по зарубке или двугранному углу. К размерам и качеству поверхности отражателей, используемых для настройки скорости развертки, особые требования не предъявляются. Главное, чтобы они лежали на заданной глубине, а скорость ультразвука в образце, который используется для настройки, и контролируемом изделии была одинакова.

Настройка скорости развертки для режима измерения местоположения (глубина залегания) дефекта несколько сложнее, чем описанная выше, особенно для преобразователей, имеющих призмы (наклонные совмещенные и прямые раздельно-совмещенные), в которых происходит дополнительная задержка волны.

Наиболее проста настройка скорости развертки для прямого совмещенного преобразователя, т. к. погрешностью измерения, связанной с задержкой волны в протекторах, можно пренебречь для многих случаев контроля. В этом случае проще всего использовать для настройки отражение от донной поверхности образца, толщина которого может быть использована в качестве единицы измерения. Учитывая, что горизонтальная шкала дефектоскопа УД2-12 разбита на 10 больших делений, для настройки удобно применять образцы с толщиной, выбранной из ряда 20 (25); 50 и 100 мм. Для настройки развертки необходимо

получить донный эхо-сигнал на образце с приемлемой (с точки зрения погрешности измерения) толщиной и регулятором скорости развертки установить его на десятое большое деление горизонтальной шкалы экрана ЭЛТ. В этом случае одно большое деление шкалы будет соответствовать 2 (2,5); 5 или 10 мм.

Для настройки развертки на глубину залегания дефекта, которая превышает указанный выше диапазон, используются эхо-сигналы многократных отражений.

Например, если на десятое деление горизонтальной шкалы экрана установить эхо-сигнал второго отражения от донной поверхности калиброванного образца, то одно деление шкалы будет соответствовать 4 (5); 10 и 20 мм, если эхо-сигнал десятого отражения - то 20 (25), 50 и 100 мм соответственно.

При использовании прямого раздельно-совмещенного преобразователя для настройки развертки применяют те же образцы, что и при настройке с прямым совмещенным преобразователем. Отличие заключается в том, что для настройки используются два регулятора - задержки развертки и скорости развертки. При этом удобно использовать два эхо-сигнала (первое и второе отражение от донной поверхности). Процесс настройки сводится к тому, чтобы установить первый эхо-сигнал в центре экрана (на пятое деление), а второй - на десятое деление. Тогда первый сигнал будет соответствовать одной толщине образца, а второй - двукратной. Следует заметить, что описанный метод настройки дает хорошие результаты при использовании калибровочных образцов, имеющих толщину свыше 20 мм.

При контроле наклонным преобразователем оператора обычно мало интересует путь, который проходит ультразвук до отражателя (по лучу), а в большей мере - либо местоположение отражателя относительно поверхности ввода (глубина залегания), либо местоположение проекции отражателя на поверхность ввода. Эти две координаты обычно используются в практике ультразвукового контроля для идентификации отражателя (дефект или мешающий сигнал). Настройку скорости развертки проще всего проводить по двум отражателям, лежащим на глубинах, которые отличаются друг от друга в два раза. В качестве таких отражателей удобнее всего использовать зарубки или пазы на противоположных сторонах плоского образца, боковые отверстия, можно использовать двугранный угол образца. Процедура настройки развертки аналогична описанной выше.

Настройка зоны АСД заключается в установке передней и задней границы строга АСД (ближней и дальней границы контролируемой области), в котором производится автоматическая оценка допустимости отражателя по уровню сигнала. Для настройки зоны АСД должны использоваться два отражателя, один из которых соответствует ближней границе контролируемой области, другой - дальней границе. В качестве отражателей могут использоваться боковые сверления, особенно для настройки ближней границы. Для настройки задней границы строга чаще используются донная поверхность (для прямых преобразователей) и зарубка или паз (для наклонных).

Настройка временной регулировки чувствительности (ВРЧ) заключается в установке передней и задней границ зоны ВРЧ и закона регулирования

чувствительности в этой зоне. Настройка зоны ВРЧ проводится по тем же правилам, что и зоны АСД, т. к. эти функциональные узлы должны перировать с одними и теми же сигналами. Установка закона регулирования чувствительности проводится по боковым отверстиям одинакового диаметра, но лежащим на разной глубине в контролируемой области. Обратите внимание, что акустические характеристики образца, используемого для настройки, должны быть как можно ближе к характеристикам материала контролируемого изделия. При настройке сначала устанавливается значение чувствительности для самого удаленного отражателя в контролируемой области. Затем устанавливается более низкая чувствительность для близлежащих отражателей. Кривую функции регулирования можно наблюдать на второй развертке ЭЛТ. Настройку закона регулирования не обязательно проводить на предельной чувствительности контроля, важно не забыть ее установить после окончания процесса настройки ВРЧ.

При настройке цифрового глубиномера (блока цифрового отсчета) дефектоскопа УД2-12 необходимо установить нуль отсчета глубины и частоту счетных импульсов («Скорость ультразвука»). Для установки нуля отсчета можно воспользоваться стандартными образцами из комплекта КОУ-2.

Для этого глубиномер дефектоскопа необходимо перевести в режим измерения времени и регулятором нуля отсчета установить значение временного интервала, которое соответствует используемому образцу и преобразователю (для прямого преобразователя 18,6 мкс на образце СО-3 и 20 мкс на образцах СО-1 и СО-2; для наклонного преобразователя 33,7 мкс на образце СО-3).

Установку частоты счетных импульсов необходимо проводить на образце, в котором скорость ультразвука идентична скорости в контролируемом изделии. Необходимо обратить внимание, что при настройке глубиномера может понадобиться перенастройка зоны АСД, развертки, чувствительности, т.е. рабочих параметров дефектоскопа. Поэтому рекомендуется проводить настройку цифрового глубиномера перед установкой рабочих режимов.

2.10 Обнаружение и оценка дефектов

Обнаружение отражателей в изделии с помощью ультразвука в общем случае является простым и быстрым. Более сложным процессом, который иногда требует довольно много времени, является оценка отражателя по типу, форме и величине, а также определение его местоположения в контролируемом изделии. Эта задача во многих случаях может быть существенно упрощена благодаря наличию технологических инструкций по контролю конкретного изделия.

Поиск дефектов оператор осуществляет путем сканирования по зигзагообразным линиям, расстояние между которыми (шаг сканирования) не должно превышать половину диаметра пьезоэлемента преобразователя. Так как шаг сканирования чаще всего не превышает 5-6 мм, оператор основное внимание при поиске дефектов уделяет процессу сканирования, лишь изредка обращая внимание на экран дефектоскопа. При этом оценка амплитуды сигналов производится автоматически с помощью АСД. Срабатывание (даже

кратковременное) АСД говорит о том, что в зоне звукового луча был отражатель. Поэтому оператор должен прекратить поисковое сканирование и, вернувшись назад, провести тщательное сканирование дефектного участка. Целью тщательного сканирования является нахождение такого положения преобразователя, при котором амплитуда сигнала будет максимальной. Найдя такую точку и не изменяя положения преобразователя, оператор определяет по экрану дефектоскопа или с помощью АСД соответствует ли амплитуда сигнала уровню фиксации или браковочному уровню. Если она превышает только поисковый уровень, то обнаруженный отражатель во внимание не принимают, считая его несплошностью допустимого размера, и продолжают поисковое сканирование. Если амплитуда сигнала превышает уровень фиксации, но меньше браковочного уровня, то необходимо определить линейные размеры отражателя с целью дальнейшей оценки его допустимости по линейным размерам. Если амплитуда сигнала превышает браковочный уровень, то такой отражатель оценивается как недопустимый дефект, эквивалентная площадь которого в сечении ультразвукового пучка превышает площадь искусственного отражателя, использованного при настройке предельной чувствительности.

При оценке размеров отражателя по амплитуде сигнала следует иметь в виду, что в некоторых ситуациях сигнал может быть вызван не несплошностью в контролируемой области изделия, а другими причинами. Например, срабатывание АСД могут вызвать электрические импульсные помехи, которые отображаются на экране в виде импульсов, перемещающихся вдоль линии развертки при неподвижном преобразователе. Некоторые из этих импульсов будут попадать в строб АСД, вызывая ложное срабатывание. В такой ситуации на АСД уже нельзя положиться, поэтому иногда приходится проводить контроль вдвоем - один оператор проводит сканирование, а второй наблюдает за экраном дефектоскопа.

Другим источником сигналов, которые могут быть ошибочно приняты за отражения от дефектов, являются различные неоднородности рельефа невидимой для оператора поверхности изделия (донная поверхность). Такими неоднородностями могут быть неровности усиления шва, выступающие кромки сваренных деталей, проточки, риски, выступы, отверстия и т. п. Отражения от этих неровностей (мешающие сигналы) имеют ту же физическую природу, что и отражения от дефектов, и по внешнему виду сильно на них похожие, поэтому они могут быть ошибочно приняты за отражение от дефектов. Кроме того, мешающий сигнал может наложиться на полезный сигнал (отражение от дефекта) и в результате интерференции изменить его информативные характеристики.

Отстройку от мешающих сигналов осуществляют выбором более удачной схемы и параметров контроля, исключением из рассмотрения участков развертки, где наблюдаются мешающие сигналы. При проведении контроля оператор должен руководствоваться чертежами контролируемого изделия и изложенными в технической документации способами распознавания мешающих сигналов.

Один из способов распознавания мешающих сигналов основан на изменении амплитуды сигнала при нажатии пальцем или тампоном, смоченным контактной

жидкостью, на точку контроля, которая отражает звук. При этом хорошо демпфируются поверхностные волны, несколько хуже - поперечные волны при наклонном падении и продольные волны при перпендикулярном падении на отражающую поверхность. Следует заметить, что демпфирование практически не происходит в случае, когда колебания происходят параллельно демпфируемой поверхности, например, когда поперечная волна падает на нее перпендикулярно. Таким образом, нажимая на разные точки поверхности контролируемого изделия, можно выделить эхо-сигнал (на экране дефектоскопа), амплитуда которого при этом меняется. Этот сигнал и является мешающим.

Другим эффективным способом распознавания мешающих сигналов является точное определение координаты отражателей с помощью глубиномера или экрана дефектоскопа.

Оценка качества изделия проводится в соответствии с нормативно-технической документацией на контроль конкретного вида изделия. Основными измеряемыми характеристиками выявленного дефекта чаще всего являются:

- 1) эквивалентная площадь дефекта и ее соотношение с предельной чувствительностью (по критерию больше - меньше);
- 2) координаты дефекта в изделии;
- 3) условные размеры дефекта;
- 4) условное расстояние между дефектами;
- 5) количество дефектов в контролируемом объекте.

Координаты дефекта в изделии определяются по трем осям. За центр осей обычно принимается какая-то условная точка на поверхности изделия. Две оси координат соответствуют поверхности ввода, а третья - глубине залегания дефекта. Проще всего определять координаты дефекта при контроле прямым преобразователем, т. к. для этого достаточно измерить расстояние до дефекта по лучу, т. е. глубину залегания. Две другие координаты определяются местоположением прямого преобразователя на поверхности контролируемого изделия. При контроле наклонным преобразователем процесс определения координат дефекта несколько сложнее, особенно для криволинейных поверхностей, из-за необходимости вычисления проекции дефекта на поверхность ввода с учетом угла ввода и направления луча. Условными размерами дефекта, выявляемого прямым преобразователем, является условная протяженность в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Условными размерами дефекта, выявляемого наклонным преобразователем, являются условная протяженность и условная высота.

Условной протяженностью AL дефекта называют расстояние между крайними положениями преобразователя, соответствующими краям дефекта.

Условная высота $H1$ дефекта определяется как разность значений глубины верхнего края дефекта, измеренных в крайних положениях преобразователя. Иногда вместо условной высоты используется такая характеристика, как условная ширина $H2$ дефекта, под которой понимают расстояние между крайними положениями преобразователя при перемещении поперек дефекта. Условную ширину $H2$ и условную высоту $H1$ дефекта измеряют в сечении, в котором эхо-сигнал от дефекта имеет наибольшую амплитуду.

При измерении условных размеров за крайнее положение преобразователя, которое соответствует краю дефекта, принимают такое, при котором амплитуда эхо-сигнала составляет половину (минус 6 дБ) максимального для данного дефекта значения (метод 6-ти децибел). Допускается за крайние положения принимать такие, при которых амплитуда эхо-сигнала от выявленного дефекта составляет заданную часть от 0,8 до 0,1 максимального значения. Для реализации указанных способов оценки условных размеров первоначально необходимо измерить максимальное значение эхо-сигнала, затем установить заданный уровень (относительно максимума) для определения крайнего положения, и только потом провести измерение условных размеров (относительный метод).

Так как эта процедура связана с необходимостью перестройки чувствительности дефектоскопа, чаще применяют упрощенный метод оценки, который заключается в том, что за крайнее положение принимают такое, при котором амплитуда эхо-сигнала уменьшается до определенного уровня — уровня фиксации (абсолютный метод). При любом используемом методе принятое значение уровня оценки размеров должно быть указано при оформлении результатов контроля.

Приведенные выше характеристики названы условными в связи с тем, что их значения зависят не только от размеров дефекта, но и от ширины ультразвукового пучка.

Условное расстояние AI между дефектами равно расстоянию между крайними положениями преобразователя, при которых была определена условная протяженность двух рядом расположенных дефектов. Расстояние между компактными дефектами (размер которых меньше диаметра звукового пучка) считается равным промежутку между положениями преобразователя, в которых эхо-сигналы от этих дефектов имеют максимальное значение.

Способы измерения условных размеров дефекта показаны на рисунках 2.3 а, 2.3 б.

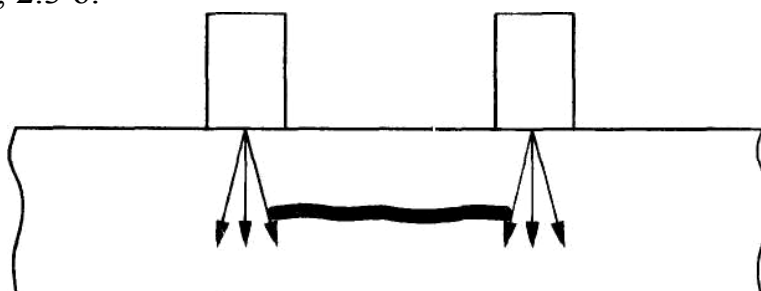


Рисунок 2.3 а. – Измерение условной протяженности дефекта

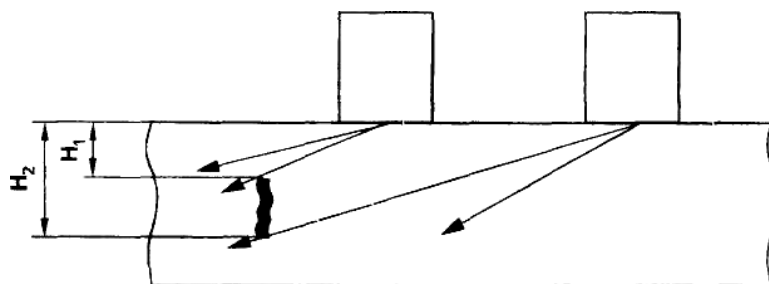


Рисунок 2.3 б. – Измерение условной высоты $H1$ и условной ширины $H2$ дефекта

Несмотря на трудности в определении размеров дефектов, условные размеры широко используются в практике ультразвукового контроля для оценки допустимости дефектов, поскольку эта характеристика имеет удовлетворительную повторяемость при измерениях и несет полезную информацию о плоских дефектах.

2.11 Оформление результатов контроля.

Результаты контроля изделия или партии однотипных изделий должны быть зафиксированы в двух документах - журнале и заключении (протоколе) по контролю. Содержание этих двух документов должно быть одинаковым. Журнал постоянно хранится в лаборатории, проводящей контроль, а заключение передается исполнителю работ, качество которых проверял дефектоскопист, или в отдел технического контроля предприятия. По результатам контроля партии однотипных изделий может быть сделана общая запись в журнале и составлено общее заключение. В журнале и заключении должны быть указаны:

- тип контролируемого изделия, материала, индексы, присвоенные данному изделию, размеры проконтролированного участка;
- техническая документация, в соответствии с которой выполнялся контроль;
- тип дефектоскопа и преобразователя; предельная чувствительность;
- результаты контроля;
- дата контроля;
- фамилия дефектоскописта, уровень его квалификации и номер удостоверения (сертификат). Дополнительные сведения, подлежащие записи, а также порядок оформления журнала контроля и заключений оговариваются технической документацией на контроль.

2.12 Техника безопасности при ультразвуковом контроле

К работе с ультразвуковыми дефектоскопами допускают лиц, прошедших инструктаж по правилам техники безопасности и имеющих соответствующее удостоверение. Перед проведением контроля на большой высоте, в труднодоступных местах или внутри металлоконструкций оператор проходит дополнительный инструктаж, а его работу контролирует служба техники безопасности.

Ультразвуковой дефектоскоп при работе заземляют медным проводом сечением не менее 2,5 мм².

Запрещается проводить контроль вблизи сварочных работ при отсутствии защиты от лучей электрической дуги.

ТЕМА 3 РАДИАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ. МАГНИТНЫЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ

К радиационным методам контроля относится контроль гамма- и рентгеновскими лучами, наиболее распространенный во всех отраслях народного хозяйства. В общем объеме применяемых неразрушающих методов контроля он составляет около 80%.

Рентгеновские и гамма-лучи – это коротковолновые электромагнитные колебания, аналогичные световым лучам, но с меньшей длиной волны.

Гамма-излучения является продуктом распада ядра атома, а рентгеновское излучение имеет внеядерное происхождение.

3.1 Рентгеновское излучение

Это излучение, открытое в 1895 г. Физиком Рентгеном, возникает при бомбардировке вещества (анода) потоком электронов высокой энергии.

В качестве источника рентгеновских лучей применяется рентгеновская трубка (рис. 4), представляющая собой стеклянный баллон с высоким вакуумом внутри него. В баллоне имеются два электрода: анод, соединенный с положительным полюсом высоковольтного генератора, и катод, соединенный с отрицательным полюсом.

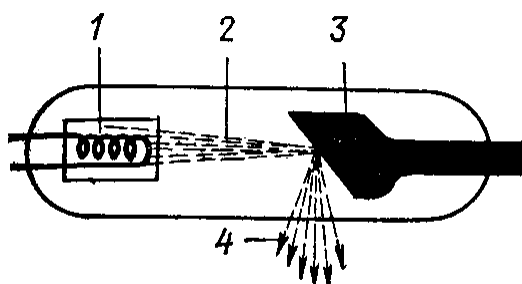


Рисунок 3.1 – Схема рентгеновской трубки

1 – катод; 2 – пучок электронов; 3 – анод (мишень); 4 – рентгеновские лучи.

Рентгеновские аппараты по напряжению в рентгеновской трубке подразделяют на следующие группы. Для просвечивания тонкостенных деталей из сталей, пластмасс и легких сплавов – 10 – 120 кВ; изделий из сталей средней толщины (до 90 мм) и легких сплавов (до 150 мм) – 100 – 400 кВ; тяжелых сплавов и сталей большой толщины (до 200 мм) – 1 – 2 МВ.

По роду применения рентгеновские аппараты разделяют на стационарные и переносные. Рентгеновские аппараты работают от электрической сети через трансформаторы с высоковольтной (анодной) и низковольтной (накальной) обмотки.

3.2 Радиоактивные вещества

Способность некоторых химических элементов (например урана, радия) испускать невидимые лучи в результате самопроизвольного изменения или распада ядер атомов называется радиоактивностью, а сами элементы – радиоактивными.

Гамма – аппараты предназначены для контроля качества материалов и изделий путем просвечивания их гамма-лучами.

Источниками гамма-излучения являются искусственные радиоактивные изотопы.

Гамма-аппараты применяют в тех случаях, когда использование рентгеновских аппаратов по экономическим или техническим причинам нецелесообразно или невозможно.

При контроле различных материалов и сварных соединений радиационными методами применяют три основных способа регистрации дефектов:

1 радиографический с фиксацией дефектов на рентгеновской пленке (рис.);

2 ксерорадиографический с фиксацией дефектов сначала на ксеропластике, а затем на писчей бумаге;

3 визуальный флюороскопический с обнаружением дефектов на экране электрооптического усилителя ЭОП.

Эти способы позволяют выявить следующие дефекты в сварном шве: газовые включения; непровары; прожоги; разность в толщине стенок; смещение стыкуемых элементов; крупные трещины.

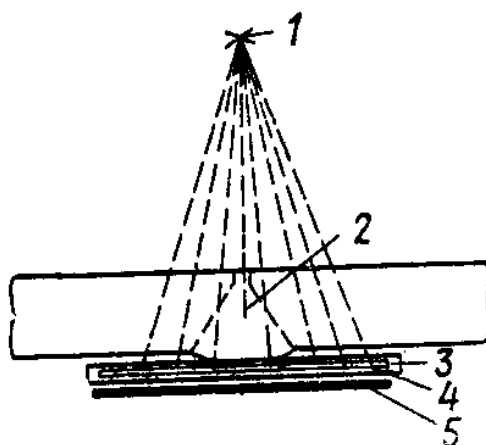


Рисунок 3.2 – Схема контроля просвечивания радиографическим методом

1 – источник излучения; 2 – сварное соединение (шов); 3 – кассета;

4 – рентгеновская пленка; 5 – свинцовый лист.

При контроле различных материалов и сварных соединений радиационными методами применяют три основных способа регистрации дефектов:

– радиографический с фиксацией дефектов на рентгеновской пленке;

– ксерорадиографический с фиксацией дефектов сначала на ксеропластике, а затем на писчей бумаге;

– визуальный флюороскопический с обнаружением дефектов на экране электрооптического усилителя ЭОП.

3.3 Магнитные методы контроля

Магнитные методы контроля основаны на намагничивании контролируемого сварного соединения.

При магнитном контроле необходимо, чтобы дефекты были расположены перпендикулярно или под небольшим углом к направлению магнитного потока.

При параллельном расположении дефекта рассеяния почти не возникает и дефект обнаружить невозможно.

Среди магнитных методов контроля различают: метод магнитного порошка, магнитографической и электромагнитный.

3.3.1 Метод магнитного порошка

Магнитная порошковая дефектоскопия основана на способности ферромагнитных частиц, находящихся в магнитном поле, ориентироваться в направлении поля и скапливаться в местах наибольших дефектов, где возник поток рассеяния, образуются хорошо видимые скопления частиц порошка, по которым судят о наличии дефектов в сварном соединении.

Наиболее часто применяют следующие способы намагничивания: продольное или полюсное (соленоидом), циркулярное, комбинированное, параллельное с проводником.

При продольном намагничивании с помощью соленоида, представляющего собой однослойную или многослойную катушку, магнитный поток проходит вдоль изделия, выявляя поперечные дефекты.

При циркулярном намагничивании ток пропускают непосредственно через контролируруемую деталь.

При параллельном намагничивании ток пропускают по проводнику, расположенному вблизи шва параллельно его оси.

Источниками тока для намагничивания служат сварочные трансформаторы, сварные генераторы, а также трансформаторы от контактных машин.

В качестве магнитного порошка применяются: чистая железная окалина, образующаяся при горячей ковке и прокатке стали; восстановленный железный крокус Fe_2O_3 , переведенный в Fe_2O_4 ; магнетит Fe_2O_4 , полученный химическим путем; стружка, получающаяся при шлифовании стальных деталей; порошки никеля или кобальта. Последний вид порошков из-за их высокой стоимости применяют сравнительно редко.

Магнитная порошковая дефектоскопия проводится сухим и мокрым (с использованием суспензий) способами.

Магнитографический метод контроля

Сущность магнитографического метода контроля заключается в фиксации на магнитную ленту полей рассеяния, возникающих над дефектными участками шва при его намагничивании, и последующем воспроизведении этих полей при помощи магнитографических дефектоскопов.

Наиболее четко выявляются продольные трещины, непровары, цепочки и скопления шлаковых включений и газовых пор.

Контролируемые сварные швы намагничивают с помощью специальных устройств, которые делятся на две группы: подвижные магниты, перемещаемые по длине или периметру контролируемого стыка; неподвижно устанавливаемые устройства, охватывающие весь периметр (или большую его часть) намагничиваемого шва.

Методика намагничивания. Отрезок ленты, на 100-150 мм больший, чем

длина или периметр шва, накладывают на контролируемый стык по часовой стрелке по ходу перекачиваемого материала, совмещая начало ленты (60-70 мм от ее края) с условным началом шва.

Поля рассеиваются с магнитной ленты воспроизводят с помощью специальных воспроизводящих головок дефектоскопа, которые смонтированы в барабане, вращающемся поперек ленты.

3.4 Люминесцентный метод контроля и метод красок

Эти методы контроля, называемые также капиллярной дефектоскопией, проводят с помощью проникающих жидкостей, которые наносятся на контролируемую поверхность.

Скорость затекания жидкости в дефекты, а также время, необходимое для проникания жидкости в дефект.

Простота методов, несложная аппаратура, высокая производительность, отсутствие надобности в электроэнергии позволяют широко применять их в заводских, полевых и монтажных условиях.

Люминесцентный метод основан на свойства некоторых веществ обладать свечением под действием ультрафиолетового облучения.

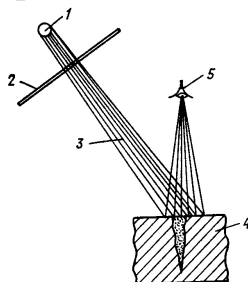


Рисунок 3.3 – Схема проведения люминесцентного контроля:

1 – источник ультрафиолетового излучения; 2 – светофильтр;

3 – ультрафиолетовые лучи; 4 – контролируемая деталь; 5 – наблюдатель.

Проникающая жидкость применяется следующего состава: 50% керосина; 25% бензина; 25% трансформаторного или вазелинового масла и 0,02-0,03% флуоресцирующего вещества, состоящего из концентрата углеводородов с ярким желто-зеленым свечением в ультрафиолетовых лучах.

Перед контролем поверхность контролируемого изделия очищают от шлака и загрязнений. Затем наносят слой флуоресцирующей жидкости. Оставшаяся в местах дефекта флуоресцирующая жидкость пропитывает порошок через 30 – 50 минут, затем сухой порошок сдувают и поверхность изделия освещается ультрафиолетовыми лучами от ртутно-кварцевых ламп типов ПРК-2, ПРК-4, ПРК-5, ПРК-7, СВДШ и СВД-120.

В местах дефектов на поверхности возникает яркое желто-зеленое свечение. Вместо порошка применяют также жидкую проявляющую суспензию.

Люминесцентный метод выявляет в сварных соединениях трещины шириной 0,01 мм и глубиной 0,003-0,004 мм. Высокая чувствительность метода позволяет применять его для немагнитных сталей, цветных металлов и сплавов.

Методом красок или цветной дефектоскопией можно выявлять трещины с шириной раскрытия у выхода на поверхность от 0,001 мм в сварных соединениях трубопроводов и листовых конструкций из углеродистых и немагнитных сталей, цветных металлов, различных сплавов и пластмасс.

Для выявления дефектов этим методом на предварительно очищенную и обезжиренную поверхность сварного соединения наносят окрашенную в ярко-красный цвет анилиновым красителем смачивающую жидкость специального состава, которая под действием капиллярных сил проникает в полость имеющегося дефекта или в межзеренные пространства.

После удаления красной краски на поверхность изделия наносится специальная белая краска, в состав которой входят вещества, адсорбирующие красную краску из дефектов. Образующийся при этом на фоне белой краски красный рисунок воспроизводит форму и характер дефектов, которые обнаруживаются невооруженным глазом или через лупу малого увеличения.

Метод красок по разрешающей способности выше люминесцентного, но несколько ниже магнитного.

ТЕМА 4 ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТРУБОПРОВОДОВ И КОНСТРУКЦИЙ

4.1 Контроль качества сварных соединений стальных трубопроводов

Контроль качества сварных соединений стальных трубопроводов должен производиться путем: систематического операционного контроля; механических испытаний образцов, вырезанных из пробных стыков; проверки сплошности стыков с выявлением внутренних дефектов одним из неразрушающих методов контроля, а также последующих гидравлических или пневматических испытаний. Проверка качества сварных швов трубопроводов V категории ограничивается осуществлением операционного контроля.

В случаях, оговоренных в проекте, следует производить испытание сварных соединений из нержавеющей сталей на склонность к межкристаллитной коррозии в соответствии с ГОСТ 6032-75 и ведомственными нормативными документами.

Операционный контроль должен предусматривать проверку состояния сварочных материалов, качества подготовки концов труб и деталей трубопроводов, точности сборочных операций, выполнения заданного режима сварки.

Контроль сварных соединений стальных трубопроводов радиографическим или ультразвуковым методом следует производить после устранения дефектов, выявленных внешним осмотром и измерениями, а трубопроводов P_u свыше 10 МПа (100 кгс/кв. см) - после выявления дефектов магнитопорошковым или цветным методом.

Сварные швы не должны иметь трещин, прожогов, кратеров, грубой чешуйчатости, подрезов глубиной более 0,5 мм. [В сварных швах трубопроводов P_u свыше 10 МПа (100 кгс/кв. см) подрезы не допускаются].

Объем контроля сварных соединений стальных трубопроводов неразрушающими методами в процентах к общему числу стыков, сваренных

каждым сварщиком (но не менее одного стыка), должен составлять для трубопроводов:

Р _у свыше 10 МПа (100 кгс/см ²).....	100
I категории.....	20
II.....	10
III.....	2
IV.....	1

В качестве неразрушающих методов контроля следует с учетом конкретных условий применять преимущественно ультразвуковой, электрорентгенографический и рентгенографический с использованием фотобумаги.

Контролю должен подвергаться весь периметр стыка.

Для трубопроводов I-IV категории контролю подлежат стыки, наихудшие по результатам внешнего осмотра.

Контроль корня шва сварных соединений трубопроводов Р_у свыше 10 МПа (100 кгс/кв.см) из сталей всех групп при толщине стенки 16 мм и более следует производить радиографическим методом, а окончательный контроль готовых сварных соединений из сталей групп С, ХГ, ХМ - преимущественно ультразвуковой дефектоскопией.

Готовые сварные соединения трубопроводов Р_у свыше 10 Мпа (100 кгс/кв.см) перед проведением радиографического или ультразвукового контроля следует контролировать магнитопорошковым или цветным методом. При этом контролю подлежат поверхность шва и прилегающая к нему зона шириной 20 мм от краев шва.

Оценку качества сварных соединений стальных трубопроводов по результатам радиографического контроля следует производить по балльной системе. Сварные соединения должны быть забракованы, если их суммарный балл равен или больше для трубопроводов:

Р _у свыше 10 МПа (100 кгс/см ²).....	2
I категории.....	3
II.....	3
III.....	5
IV.....	6

Сварные соединения, оцененные указанным или большим баллом, подлежат исправлению, после чего дополнительному контролю подвергают удвоенное от первоначального объема контроля количество стыков, выполненных сварщиком, допустившим брак.

Сварные соединения трубопроводов III и IV категории, оцененные соответственно суммарным баллом 4 и 5, исправлению не подлежат, но дополнительному контролю подвергают удвоенное количество стыков, выполненных этим сварщиком.

Если при дополнительном контроле хотя бы один стык будет забракован (а для трубопроводов III и IV категории оценен соответственно суммарным баллом 4 и 5), контролю подвергают 100 % стыков, выполненных данным

сварщиком. Если при этом будет забракован хотя бы один стык, сварщика отстраняют от сварочных работ на трубопроводах.

Чувствительность радиографического контроля должна соответствовать (по ГОСТ 7512-82) для трубопроводов P_y свыше 10 МПа (100 кгс/кв.см), I и II категории - классу 2, для трубопроводов III и IV категории - классу 3.

По результатам ультразвукового контроля сварные соединения трубопроводов P_y свыше 10 МПа (100 кгс/кв.см) считаются качественными, если отсутствуют:

а) протяженные плоскостные и объемные дефекты;

б) объемные непротяженные дефекты с амплитудой отраженного сигнала, соответствующей эквивалентной площади 2 кв.мм и более - при толщине стенки трубы до 20 мм включительно и 3 кв.мм и более - при толщине стенки свыше 20 мм;

в) объемные непротяженные дефекты с амплитудой отраженного сигнала, соответствующей эквивалентной площади до 2 кв.мм - при толщине стенки трубы до 20 мм включительно и до 3 кв.мм - при толщине стенки свыше 20 мм, в количестве более трех на каждые 100 мм шва.

Сварные соединения стальных трубопроводов I-IV категории должны удовлетворять требованиям, установленным отраслевыми стандартами. При получении неудовлетворительных результатов контроля ультразвуковым методом хотя бы одного стыка производят контроль удвоенного количества стыков, выполненных данным сварщиком. При неудовлетворительных результатах повторного контроля производят контроль 100% стыков. Сварщик, допустивший брак, может быть допущен вновь к сварке трубопроводов только после сдачи испытаний по программам, утвержденным министерством.

Исправлению путем местной выборки и последующей подварки (без повторной сварки всего соединения) подлежат участки сварного шва стальных трубопроводов, если размеры выборки после удаления дефектного участка шва не превышают значений, указанных в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Глубина выборки, % к номинальной толщине стенки труб или расчетному сечению шва

Глубина выборки, % к номинальной толщине стенки труб или расчетному сечению шва	Суммарная протяженность, % к номинальному наружному периметру сварного соединения
Для трубопроводов P_y св. 10 МПа (100 кгс/кв.см)	
До 15 Св. 15 до 30 « 30 « 50 Св. 50	Не нормируется До 35 « 20 « 15
Для трубопроводов I-IV категории	
До 25 Св. 25 до 50 Св. 50	Не нормируется До 50 « 25

Сварное соединение, в котором для исправления дефектного участка требуется произвести выборку размером более допустимой по табл. 1, должно быть полностью удалено, а на его место вварена «катушка».

Исправлению подлежат все дефектные участки сварного соединения, выявленные при внешнем осмотре и измерениях, контроле ультразвуковым, магнитопорошковым или цветным методом.

В стыках, забракованных по результатам радиографического контроля, исправлению подлежат участки шва, оцененные наибольшим баллом. В случае, если стык забракован по сумме одинаковых баллов, исправлению подлежат участки с непроваром.

Одно и то же место стыка допускается исправлять не более одного раза. Исправление дефектов подчеканкой запрещается.

Все подвергавшиеся исправлению участки стыков должны быть проверены неразрушающими методами.

Сведения об исправлении и повторном контроле стыков должны быть внесены в производственную документацию.

Испытаниям на твердость металла шва должны подвергаться сварные соединения стальных трубопроводов Ру свыше 10 МПа (100 кгс/кв.см), а также трубопроводов Ру до 10 МПа вкл. (100 кгс/кв.см) из сталей групп ХМ и ХФ, прошедших термическую обработку.

По результатам измерения твердости сварные соединения считаются качественными при выполнении следующих условий:

а) снижении твердости наплавленного металла не более чем на 25 НВ нижнего значения твердости основного металла;

б) превышении твердости наплавленного металла не более чем на 20 НВ верхнего значения твердости основного металла;

в) превышении разности в твердости основного металла и металла в зоне термического влияния не более чем на 50 НВ.

При разности в твердости, превышающей допустимую, соединения следует вновь подвергать термической обработке, и, если разность в твердости превышает допустимую после повторной термической обработки, следует произвести стилископирование металла шва и основного металла всех однотипных соединений, сваренных данным сварщиком за время после последней контрольной проверки. При несоответствии химического состава наплавленного металла заданному стыки бракуют.

4.2 Контроль качества соединений пластмассовых трубопроводов

Контроль качества соединений пластмассовых трубопроводов должен включать входной, операционный и приемочный контроль (внешний осмотр и измерения, ускоренную проверку качества сварных соединений и их механические испытания).

При входном контроле сварных и клеевых соединений следует проверять качество материалов и изделий на соответствие требованиям стандартов и ведомственных нормативных документов.

Операционный контроль сварных соединений должен предусматривать проверку качества сборки труб под сварку, качества поверхностей концов труб, чистоты рабочих поверхностей нагревательного инструмента и контроль сварочного режима.

Операционный контроль клеевых соединений должен предусматривать проверку качества подготовки поверхностей под склеивание, соблюдения величины зазоров при сборке труб и режимов технологического процесса склеивания.

Осмотру и измерению подлежат все сварные и клеевые соединения. Внешний их вид должен отвечать следующим требованиям:

а) валик сварного соединения, полученный в результате контактной сварки встык, должен быть симметричным и равномерно распределенным по ширине и периметру;

б) валик сварного соединения не должен иметь резкой разграничительной линии, его поверхность должна быть гладкой, без трещин, газовых пузырей и инородных включений; при сварке в раструб валик должен быть равномерно распределен по торцу раструба;

в) при газовой прутковой сварке поливинилхлоридных труб не должно быть пустот между прутками, пережога материала изделий и сварочных прутков, неравномерного усиления сварного соединения по ширине и высоте, а его поверхность должна быть выпуклой и иметь плавное примыкание к основному материалу;

г) при склеивании труб зазор между ними должен быть заполнен клеевой пленкой, равномерно выступающей по периметру соединения.

При контактной сварке встык в случае обнаружения в соединении дефектов соответствующие участки труб вырезают и вваривают «катушки» длиной не менее 200 мм. При прутковой сварке дефектные участки могут быть исправлены без вырезания.

Ускоренную проверку качества сварных соединений следует выполнять для настройки сварочного оборудования и внесения коррективов в сварочный режим при получении новой партии труб путем испытания образцов на растяжение, изгиб и отдир в соответствии с требованиями ведомственных нормативных документов.

Механическим испытаниям на растяжение и сдвиг следует подвергать сварные соединения трубопроводов II и III категории.

Контролю подлежит 0,5 % общего количества соединений, выполненных на одном объекте, в том числе не менее одного от общего количества соединений, выполненных одним сварщиком.

Отбираемые для контроля образцы должны быть прямолинейными. Сварное соединение должно быть расположено в центре вырезанного участка. Размеры и показатели качества испытываемых образцов принимают в соответствии с требованиями ведомственных нормативных документов.

Время между сваркой и испытанием образцов на растяжение и сдвиг должно быть не менее 24 ч.

При получении неудовлетворительных результатов при испытании на растяжение или сдвиг хотя бы одного соединения производят повторную

проверку на удвоенном их количестве. При неудовлетворительных результатах повторной проверки все сварные соединения бракуют и вырезают.

4.3 Определение суммарного балла качества сварного соединения стального трубопровода по результатам радиографического контроля.

Оценка качества сварных соединений трубопроводов в баллах в зависимости от величины и протяженности непроваров по оси шва, вогнутости и превышения проплава в корне шва, а также наличия несплавлений и трещин указана в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Оценка качества сварных соединений трубопроводов

Оценка в баллах	Непровары по оси шва, вогнутость и превышение проплава в корне шва, наличие несплавлений и трещин	
	Высота (глубина), % к номинальной толщине стенки	Суммарная длина по периметру трубы
1	2	3
0	Непровар отсутствует	-
	Вогнутость корня шва до 10%, но не более 1,5 мм	До 1/8 периметра
	Превышение проплава корня шва до 10%, но не более 3 мм	То же
1	Непровар по оси шва до 10%, но не более 2 мм	До 1/4 периметра
	или до 5%, но не более 1 мм	До 1/2 периметра
2	Непровар по оси шва до 20%, но не более 3 мм,	До 1/4 периметра
	или до 10%, но не более 2 мм,	До 1/2 периметра
	или до 5%, но не более 1 мм	Не ограничивается
6	Трещины	Независимо от длины
	Несплавления между основным металлом и швом и между отдельными валиками шва	То же
	Непровары по оси шва более 20% и более 3 мм	-
Примечание. Величина вогнутости корня и превышение проплава для трубопроводов I-IV категории не нормируются.		

При отсутствии включений (пор) участок сварного соединения оценивается баллом 1.

При расшифровке радиографических снимков не учитываются включения (поры) длиной 0,2 мм и менее, если они не образуют скоплений и сетки дефектов.

Число отдельных включений (пор), длина которых меньше указанной в таблице, не должно превышать 10 шт. для балла 1, 12 шт. для балла 2, 15 шт. для балла 3 на любом участке радиограммы длиной 100 м, при этом их суммарная длина не должна быть больше, чем указано в таблице.

Для сварных соединений протяженностью менее 100 м нормы, приведенные в таблице, по суммарной длине включений (пор), а также по числу отдельных включений (пор) должны быть пропорционально уменьшены.

Оценка участков сварных соединений трубопроводов Ру свыше 10 МПа (100 кгс/кв.см), в которых обнаружены скопления включений (пор), должна быть увеличена на один балл.

Оценка участков сварных соединений трубопроводов всех категорий, в которых обнаружены цепочки включений (пор), должна быть увеличена на один балл.

При расшифровке снимков определяют вид дефектов по ГОСТ 19232-73 и их размеры по ГОСТ 23055-78.

В заключении или журнале радиографического контроля следует указывать балл сварного соединения, наибольший балл участка сварного соединения, а также суммарный балл качества сварного соединения, например 1/2-3 или 6/6-12.

4.4 Контроль стыковых сварных соединений

Особенностью стыковых швов, *толщиной 3-10 мм* выполненных ручной, дуговой сваркой или в среде защитных газов является провисание в корне шва и смещение стыкуемых кромок. При контроле прямым лучом на экране появляются ложные сигналы. Они совпадают с эхо-сигналами от дефектов в корне шва обнаруживаемых однажды отраженным лучом.

При *толщине шва 10-30 мм* швы выполняются односторонней сваркой. Сигналы от провисания в корне шва мешают расшифровке. Если провисание мало, то контроль производят одним ПЭП прямым и однократно отраженным лучом. Если сигналы от провисания велики, то контроль целесообразно производить отдельно в корневой и остальной части шва. Рекомендуется дополнительно применять эхо-зеркальный метод.

При *толщине шва 30-60 мм*, который выполняется многослойной двухсторонней сваркой, самую большую проблему представляют поры и шлаковые включения, которые выявляются двухсторонним прозвучиванием шва. Наиболее опасны – трещины и непровары, ориентированные в вертикальной плоскости. Они плохо выявляются при прозвучивании, лучшие результаты дает метод «тандем».

4.5 Контроль тавровых, угловых и нахлесточных сварных соединений

Технология УЗК тавровых, угловых и нахлесточных соединений выполняется в соответствии с ГОСТ 14782-86. Контроль угловых швов с К-образной разделкой или без нее, но с полным проплавлением возможен с использованием 3-х схем. В зависимости от доступа к изделию контроль ведут наклонным (эхо- и эхо-зеркальным способом) прямыми и раздельно-совмещенными нормальными ПЭП. Наиболее эффективной является схема ввода У/З колебаний через основной металл привариваемого листа, т. К. она позволяет выявлять все виды внутренних дефектов.

ТЕМА 5 ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИОННОГО ПОКРЫТИЯ ПОДЗЕМНОГО ГАЗОПРОВОДА.

5.1 Дефекты изоляционного покрытия

Дефекты, зависимо от характера происхождения изоляционного покрытия делятся на 2 группы:

1 Дефекты, какие появились в период строительства в результате механических происхождений при транспортировке и монтаже газопроводов.

2 Дефекты, появившиеся в процессе эксплуатации в результате механического и химического воздействия грунта, грунтовых вод, а также дефекты связанные с нарушением технологии при изготовлении и нанесении изоляционного покрытия (отсутствие адгезии вследствие нарушения технологии приготовления мастики). Участки газопроводов с дефектами 2 группы требуют полной замены изоляционного покрытия. Оценка состояния изоляционного покрытия должна проводится в 2 этапа.

1 Определение количества повреждений изоляционного покрытия без разрыва газопровода.

2 На 2-ом этапе на участках, где выявлены места повреждений изоляционного защитного покрытия газопроводов при помощи приборов, а также на участках газопровода, где выявлены повреждения защитного покрытия и отсутствуют данные шурфовых осмотров за период эксплуатации, через каждые 500 м обследования газопровода следует вырыть не менее одного контрольного шурфа длиной 1,5-2м.

Когда выявлены дефекты изоляции такие, как хрупкость, сыпучесть, и отсутствие адгезии покрытия, то оценка состояния изоляционного покрытия должна быть ниже на 1 балл (табл. 5.1).

При оценке состояния изоляционного защитного покрытия определяют:

-состояние внешней поверхности изоляции (гладкость, наличие придавренности);

-наличие сквозных повреждений, пропусков изоляции трещин и др.);

-тип изоляции (битумная ,полимерная, усиленная);

-хрупкость, розсипчатость изоляции;

-адгезия или липкость изоляции;

Таблица 5.1 – Оценка состояния изоляционного покрытия зависимо от количества повреждений на 100 метровых участках газопроводов в баллах.

Количество мест повреждений изоляции, выявленных приборами при проверке газопровода без разрыва газопровода.	Оценка на каждом 100 метровом участке
0-1	4
2-3	3
4-8	2
Более 8	1

Защитные свойства изоляционного покрытия подземных трубопроводов оценивают переходным сопротивлением цепи трубопровод-земля, которые

учитывают в расчетах долговечности изоляционных покрытий. Степень старения покрытий оценивают по изменению физико-механических свойств защитных пленок, снятых с действующих трубопроводов.

Толщина изоляционного покрытия контролируется приборным методом неразрушающего контроля с применением толщиномеров (ультразвуковым толщиномером). Для измерения адгезии применяют прибор, принцип действия которого основан на измерения усилия, необходимого для сдвига участка изоляции определенных размеров на площади контакта.

Для контроля сплошности изоляционного покрытия трубопроводов до укладки трубопровода в грунт используют метод, основанный на регистрации электрического пробоя изоляции в местах нарушения ее сплошности при подведении к покрытию электрического потенциала до 30 кВ. Приборы, реализующие этот метод, называют дефектоскопом электрического пробоя; наличие пробоя отмечается звуковым сигналом.

На все материалы, применяемые для производства изоляционных работ, должны быть паспорта или другие документы, подтверждающие их качество. Качество нанесенной на трубы изоляции проверяют: на бровке траншеи (прилипаемость, сплошность по всей трубе, равномерность и толщину).

5.2 Проверка изоляции газопровода

Существует два способа выполнения обследования:

- 1) бесконтактное измерение потенциалов над газопроводом;
- 2) контактное измерение потенциалов.

Действующие газопроводы в соответствии с «Правилами безопасности в газовом хозяйстве» должны проверяться на исправность изоляции не реже одного раза в пять лет. Для этой цели применяется АНПИ (аппаратура нахождения повреждений изоляции). В комплект АНПИ входят:

- 1 аккумуляторная батарея с выходным напряжением 24В;
- 2 генератор высокой частоты;
- 3 приемное устройство с индикаторной головкой, головными телефонами и поисковым контуром.

При бесконтактном измерении потенциалов провод подключают с одного конца к клемме приемника. Второй конец провода оператор располагает в приподнятом положении вдоль оси газопровода. Место повреждения определяется по увеличению сигнала звука в телефонах и показаний индикаторной головки приемника.

ТЕМА 6 ПРОВЕДЕНИЕ ОБСЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ.

В процессе организации и проведения обследования тепловых сетей используется следующая техническая документация:

- типовые проекты и решения;
- производственная документация;
- акты рабочих и государственных комиссий;
- проекты ремонтов, реконструкций, которые были выполнены в период эксплуатации;
- отчеты про обследования и испытания конструкций тепловых сетей;
- паспорт технического состояния тепловых сетей.

6.1 Критерии оценки технического состояния тепловых сетей.

Основными критериями, которые определяют техническое состояние тепловых сетей является герметичность теплопроводов и теплообменников, состояние металла труб и качество сварных соединений, состояние изоляционного покрытия, коррозионное состояние.

При определении состояния герметичности тепловых сетей должны учитываться утечки теплоносителя, которые связаны с коррозионными повреждениями металла труб, или разрывом сварных швов, которые были выявлены в период эксплуатации, включая и заключительное обследование. При определении состояния металла труб его проверка должна проводиться во всех шурфах, которые выполняются в процессе эксплуатации с целью ремонта изоляции, а также при плановых обследованиях тепловых сетей.

Основные критерии оценки состояния изоляционного покрытия теплопровода – количество и величина повреждений, а также их характер.

Характер повреждений зависит от механического и химического воздействия грунтовых вод, грунта, а также дефектов, связанных с нарушением технологии при подготовке и нанесении покрытия (отсутствует адгезия, нарушение технологии изготовления покрытия).

Критерии коррозионной безопасности определяются следующими факторами: состоянием изоляционного покрытия, коррозионной активностью грунтов, наличием и величиной блуждающих токов, наличием защитных потенциалов на теплопроводах, наличием анодных знакопеременных зон и внутренней коррозии. Кроме того, следует учитывать год строительства тепловых сетей, давление в трубопроводе, наличие и эффективность электрозащиты, план строительства, реконструкции и ремонта дорожного покрытия, которое расположено на трассе теплопровода.

Результаты работы обследования и анализа технического состояния оформляются в виде отчета экспертной комиссии, которая проводила обследование.

Отчет должен содержать следующие данные:

- данные про техническую документацию, результаты геодезических измерений, неразрушающие методы контроля;

- результаты физико-механических исследований образцов материалов, химический анализ среды;
- результаты анализов дефектов, деформаций и повреждений, а также причины их возникновения;
- ведомости необходимые для заполнения паспорта про техническое состояние тепловых сетей;
- краткое техническое решение и рекомендации по методам ремонта и замене дефектных конструкций.

6.2 Тепловые испытания

Тепловые испытания проводят с целью определения фактических потерь тепла в водяных тепловых сетях, пересчета этих потерь на различные режимы эксплуатации и сопоставления их с нормативными значениями. Фактические тепловые потери определяют не реже чем через 5 лет в связи с расширением и реконструкцией тепловых сетей, изменением теплотехнических показателей изоляции трубопроводов сетей в процессе их эксплуатации, заменой изоляции на отдельных участках.

Тепловые испытания водяных сетей проводят непосредственно после окончания отопительного сезона. Перед испытаниями восстанавливают разрушенную тепловую изоляцию, осушают камеры тепловых сетей, приводят в порядок дренажи, организуют сток поверхностных вод с трассы.

Работы, выполняемые для определения тепловых потерь водяных систем:

- 1 анализируют материалы по системе теплоснабжения;
- 2 выбирают участки сетей, подлежащие испытаниям;
- 3 рассчитывают параметры испытаний;
- 4 подготавливают сети, оборудование, и измерительную аппаратуру к испытаниям;
- 5 проводят тепловые испытания;
- 6 обрабатывают данные, полученные при испытаниях;
- 7 сопоставляют величины фактически измеренных при испытаниях тепловых потерь с нормативными величинами;
- 8 разрабатывают предложения по нормированию эксплуатационных потерь тепла.

6.3 Анализ материалов по испытываемому участку

Подготовку к испытаниям начинают с детального анализа схемы тепловых сетей, оборудования теплоприготовительной установки, типов прокладки, конструкции изоляции и состояния ее на отдельных участках сетей.

Для перерасчета полученных при испытаниях результатов на различные эксплуатационные режимы работы сетей и для определения температурных параметров испытаний используют: климатологические данные для того населенного пункта, в котором расположены испытываемые сети; среднегодовые температуры грунта на среднем уровне оси теплопроводов при подземной прокладке и наружного воздуха при надземной прокладке вне помещений; среднемесячные температуры грунта на среднем уровне оси теплопроводов

при подземной прокладке и наружного воздуха по каждому месяцу в отдельности. Эти данные принимают как многолетние по материалам ближайшей к данному населенному пункту метеостанции или пользуются данными справочников по климату.

Среднемесячные температуры воды в подающей и обратной линиях двухтрубных водяных тепловых сетей определяют по графикам температур воды в этих линиях применительно к среднемесячным температурам наружного воздуха. Среднегодовые температуры воды в подающей и обратной линиях сетей определяются как среднеарифметические из среднемесячных температур ее в соответствующих линиях за весь период работы сетей в течение года.

Выбор участков сетей для испытаний. Испытаниям, как правило, подвергают те участки сетей, у которых тип прокладки и конструкции изоляции являются преобладающими для данных сетей. Определение тепловых потерь двухтрубных водяных тепловых сетей проводят на циркуляционном кольце, состоящем из подающей и обратной линии с перемычками между ними на начальном и конечном участках кольца. Начальный участок циркуляционного кольца содержит оборудование и трубопроводы теплоприготовительной установки.

Циркуляционное кольцо состоит из ряда последовательно соединенных участков, отличающихся типом прокладки и конструкцией изоляции, а иногда и диаметром трубопроводов. Рекомендуется проводить испытания циркуляционного кольца, которое включает в себя основную магистраль тепловых сетей, состоящую из труб наибольшего диаметра и максимальной протяженности от источника тепла. При этом все ответвления и отдельные абоненты, присоединенные к циркуляционному кольцу, на время испытаний отсоединяют от него. Благодаря этому расходы воды на всех участках кольца во время испытаний в основном одинаковы и могут различаться между собой только незначительной утечкой воды из кольца, покрываемой его подпиткой.

Испытания проводятся на участке трубопровода, пролегающего между котельной и жилым домом № 30. Испытаниям были подвергнуты те участки сети, у которых тип прокладки и конструкция изоляции являются преобладающими для данной сети, что облегчает распространение результатов испытаний на тепловую сеть в целом.

Методика определения тепловых потерь через тепловую изоляцию предусматривает расчет режима испытаний и измерительной аппаратуры, проведение самих испытаний и обработку данных, сопоставление фактических измеренных при испытаниях тепловых потерь с нормативными.

Испытываемое циркуляционное кольцо состоит из подающего и обратного трубопроводов и перемычки в точке 4. Предполагается, что во время проведения тепловых испытаний все ответвления и абоненты горячего водоснабжения отключены.

Измеряемое циркуляционное кольцо участка теплопровода от котельной до точки 5 в зависимости от диаметров разбито на 6 участков, где в тепловых камерах измеряется температура сетевой воды во время испытания.

Участок 1, от котельной до УТ-1, $d = 250$ мм, $l = 43,5$ м.

Участок 2, от УТ-1 до УТ-20, $d = 150$ мм, $l = 163$ м.

Участок 3, от УТ-20 до УТ-21, $d = 100$ мм, $l = 44,5$ м.

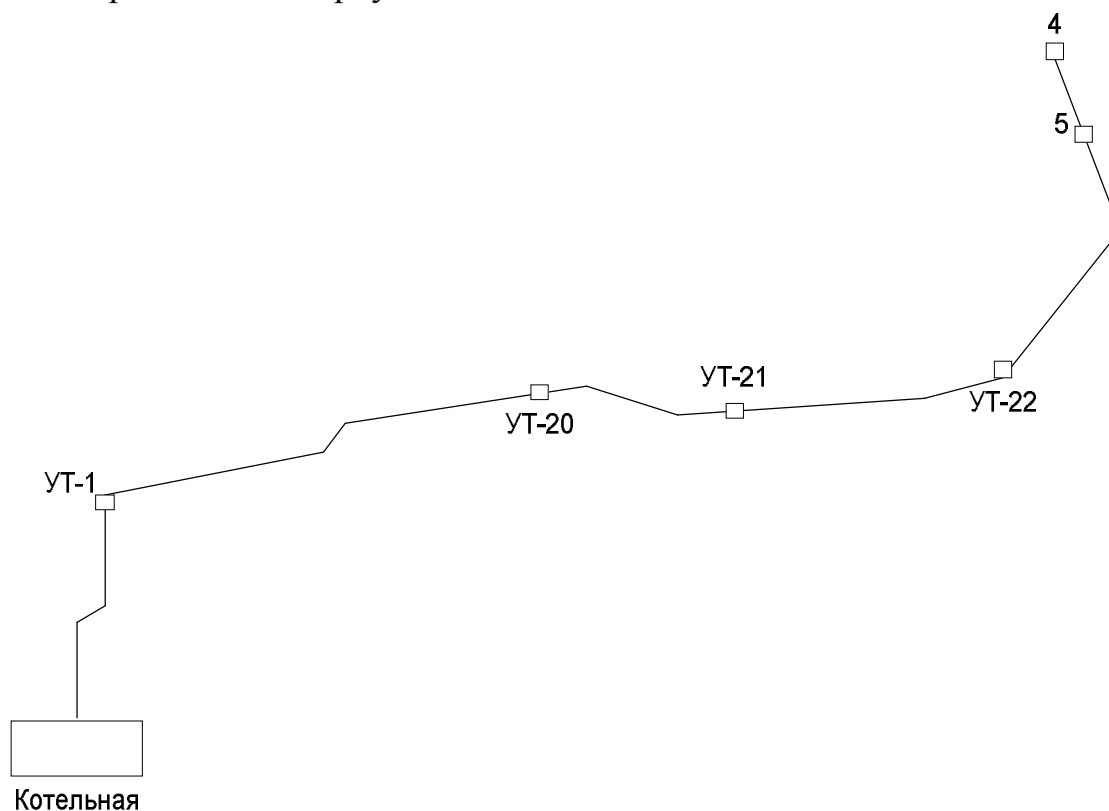
Участок 4, от УТ-21 до УТ-22, $d = 80$ мм, $l = 84$ м.

Участок 5, от УТ-22 до 5, $d = 70$ мм, $l = 127,45$ м.

Участок 6, от 5 до 4, $d = 50$ мм, $l = 30,51$ м.

Трубопроводы проложены подземным способом, в каналах, тепловая изоляция – минераловатные маты.

Схема расчетного циркуляционного кольца от котельной до точки 4.



Среднегодовая температура наружного воздуха

$$t_{\text{в}}^{\text{ср.г}} = 8,4^{\circ}\text{C}.$$

Среднегодовая температура грунта на глубине 1,6 м.

$$t_{\text{гп}}^{\text{ср.г}} = 10,4^{\circ}\text{C}.$$

Температура наружного воздуха, средняя за месяц проведения испытаний (май),

$$t_{\text{в.и}}^{\text{ср.м}} = 15,5^{\circ}\text{C}.$$

Температура грунта на уровне оси трубопроводов, средняя за месяц проведения испытаний (май),

$$t_{\text{гр.и}}^{\text{ср.м}} = 9,8^{\circ}\text{C}.$$

Средняя температура воды за один из месяцев работы сети

$$t_n^{\text{ср.м}} = 68,8^{\circ}\text{C} \quad t_o^{\text{ср.м}} = 47,6^{\circ}\text{C}.$$

Средняя температура окружающей среды за один из месяцев работы сети

$$t_{\theta}^{\text{cp.м}} = -4,9^{\circ}\text{C}$$

$$t_{\varepsilon}^{\text{cp.м}} = 4,9^{\circ}\text{C}.$$

Среднегодовые температуры воды в подающем и обратном трубопроводах, определенные как среднеарифметические из месячных температур ее в этих линиях

$$t_n^{\text{cp.с}} = 68,9^{\circ}\text{C}$$

$$t_o^{\text{cp.г}} = 47,5^{\circ}\text{C}.$$

Ниже в «Таблице 6.1» приведены среднегодовые температуры в подающем и обратном трубопроводах от котельной до точки 4.

Таблица 6.1 – Среднегодовые температуры в подающем и обратном трубопроводах.

	Тп ср=68,8°C	То ср=47,5°C
январь	72,8	46,7
февраль	76	48,4
март	70,3	44,6
апрель	59,9	40,3
май	59,4	42,6
июнь	75,7	59,7
июль	73,47	54,28
август	66,9	50,1
сентябрь	66,3	49,6
октябрь	66,1	45,2
ноябрь	68	45,1
декабрь	71,28	44,02

Измерения температуры проводились в котельной, контрольных тепловых камерах и в точках 5 и 4. В котельной измерения осуществлялись электронным автоматическим мостом ЭВМ-209 м², а в остальных местах - стеклянными ртутным термометрами с ценой деления 0,1°C.

Анализ картограмм электронного моста показал, что в целом отклонение температур от заданных величин были незначительными, температуры в подающем и обратном трубопроводах на входе в котельную почти не колебались, что говорит о максимальном приближении к установившемуся тепловому состоянию, достигнутому путем прогрева грунта, окружающему трубопроводы.

Продолжительность достижения установившегося теплового состояния зависит от степени предварительного прогрева грунта и обычно находится в пределах 2-8 τ_k , в данном случае – 2х4=8 часов, то есть в первые сутки эксперимента.

$$\tau_k = \frac{924,3 \cdot 980,7 \cdot 10^{-3}}{230} = 4 \text{ часа},$$

где V – емкость испытываемого циркуляционного кольца, 924,3 м³,

ρ – плотность воды в испытываемом кольце, 980,7 кг/м³,

G_u - расчетный расход сетевой воды при испытании, 230 м³/ч.

6.4 Выбор участков сети, подлежащих испытаниям

Для испытания было выбрано циркуляционное кольцо, которое состоит из последовательно соединенных участков различных диаметров. Данное кольцо является одной из 3-х главных ветвей тепловой сети жилого микрорайона «Северный-4» и имеет большую протяженность от источника теплоты (котельной) до завершающей расчетной точки 4. При таком выборе циркуляционного кольца расходы воды на всех участках во время испытаний в основном одинаковы, но и могут различаться между собой за счет незначительной утечки воды из кольца, покрываемой его подпиткой.

Понижение температуры воды по мере ее движения по кольцу обуславливается только тепловыми потерями в окружающую среду.

Значения этих тепловых потерь подсчитываются исходя из измеренного во время испытаний расхода воды и понижения ее температуры на отдельных участках кольца.

Выбор типов прокладки и конструкций изоляции производится на основе оценки их доли в материальной характеристике M_c тепловой сети в целом.

При $\frac{M}{M_c} \geq 0,15$ соответствующие типы прокладок и конструкций тепловой изоляции должны подвергаться испытаниям,

где $M = \Sigma(d_n l)$ – материальная характеристика для подающей или обратной линии сети, просуммированная по всем участкам с данным типом прокладки и конструкцией изоляции, m^2 ;

$M_c = \Sigma_c(d_n l)$ – материальная характеристика для подающей или обратной линии, предусмотренная по всей сети в целом, m^2 ;

d_n – наружный диаметр труб в пределах одного участка сети, м;

l – протяженность участка сети, м.

Таблица 6.2. – Усредненные данные тепловых испытаний

№ п/п	точка наблюдения	т-ра воды в подающей линии, °С	т-ра воды в обратной линии, °С
1	котельная	60	59,2
2	УТ-1	59,8	59
3	УТ-20	59,8	58,9
4	УТ-21	59,6	58,8
5	УТ-22	59,4	58,6
6	Точка 5	59,2	58,4
7	Точка 4	59,2	58,2

6.5 Определение параметров испытания

Основными параметрами испытаний, определяемыми расчетным путем, являются поддерживаемые в процессе испытаний значения температуры воды в подающей линии сети на выходе из котельной и расхода воды на начальном участке испытываемого циркуляционного кольца. Кроме того, выявляются ожидаемые в процессе испытаний значения температуры воды в обратной линии на входе в котельную и расхода подпиточной воды, а также ориентировочная продолжительность испытаний.

Температурный режим циркуляционного кольца во время испытаний задается исходя из следующих условий:

- разность между средней температурой воды по всем участкам кольца и температурой окружающей среды во время испытаний должно быть близка к среднегодовому значению разности средней по подаче и обратной линиям температур воды и температуры окружающей среды по данной сети;

- понижение температуры воды в циркуляционном кольце за счет его тепловых потерь Δt_n при испытаниях должно соответствовать не менее 8 и не более 20 °С.

Температура воды в подающей $t_{ни}$ и обратной $t_{ои}$ линиях кольца на выходе и на входе в котельную определяется по формуле:

$$t_{ни} = \frac{t_n^{cp.z} + t_o^{cp.z}}{3} + \frac{t_u}{2} + t_{окр.и} - t_{окр}^{cp.z} \quad (6.1)$$

$$t_{ои} = t_{ни} - \Delta t_n = \frac{t_n^{cp.z} + t_o^{cp.z}}{2} - \frac{\Delta t_n}{2} - t_{окр.и} - t_{окр}^{cp.z} \quad (6.2),$$

где $t_n^{cp.r}$ и $t_o^{cp.r}$ – среднегодовые температуры воды в подающей и обратной линиях;

$t_{окр.и}$ – ожидаемая усредненная по всем участкам кольца температура окружающей среды во время испытаний;

Δt_n – значение понижения температуры воды в кольце при участках с различными типами прокладки и конструкциями изоляции;

$t_{окр}^{cp.r}$ – усредненная по тем же участкам среднегодовая температура окружающей среды.

Ориентировочная оценка значения тепловых потерь циркуляционного кольца в режиме испытаний определяется по формуле:

$$Q_u = \Sigma_{подз} (q_{н.п.и} + q_{н.о.и}) \beta \ell \quad (6.3),$$

где Q_u – ожидаемые значения тепловых потерь при режиме испытаний;

β – коэффициент местных потерь, 1,2;

$q_{н.п.и}, q_{н.о.и}$ – значение удельных тепловых потерь данной тепловой сети для каждого диаметра труб подземной прокладки при температурном режиме испытаний.

$$q_{н.и} = q_n \frac{t_{н.и}^{cp} + t_{о.и}^{cp} - 2t_{cp.и}^{cp.m}}{t_n^{cp.z} + t_o^{cp.z} - 2t_{cp}^{cp.z}} \quad (6.4).$$

Расчетный расход воды в циркуляционном кольце, назначаемый во время испытаний

$$G_u = \frac{Q_u}{c \Delta t_u} 10^{-3} \quad (6.5)$$

где G_u – расчетный расход воды, кг/с.

Предполагаемое значение часовой подпитки сети принимается равным 0,5% суммарного объема трубопроводов.

Параметры испытаний определении по приведенным выше формулам и сведены в таблице 6.3.

Таблица 6.3 – Расчетные параметры испытаний

Средний за период испытаний расход сетевой воды	230	т/ч
Средний за период испытаний расход подпиточной воды	5	т/ч
Средняя за период испытаний температура воздуха	25	°С.
Средняя за период испытаний температура грунта	10	°С.

6.6 Проведение тепловых испытаний

Определение необходимых гидравлических и температурных режимов проводилось в следующем порядке:

- включаются расходомеры на линиях сетевой и подпиточной воды и устанавливаются термометры во всех контрольных точках;
- устанавливается определенный расчетом расход воды по циркуляционному кольцу, который поддерживается неизменным в течение всего периода испытаний;
- устанавливается давление в обратной линии на входе в котельную;
- устанавливается температура $t_{п.и}$ воды в подающей линии на выходе из котельной.

Показателем достижения установившегося теплового состояния грунта является длительное постоянство температуры воды в обратной линии кольца на входе в котельную. Начиная с момента достижения установившегося теплового состояния во всех контрольных точках производится измерение температур воды. Продолжительность основного режима измерений была 12 часов и определена по формуле $\tau_k + 8$ ч, где $\tau_k = 4$ ч. На заключительном этапе испытаний методом «температурной волны» уточняется продолжительность пробега частиц воды по кольцу, предварительно определенное по формуле. На этом этапе температура воды в подающей линии за 30 минут была повышена на 10 °С сверх значения $t_{п.и}$ и поддерживалась постоянной на этом уровне 1 час. Затем с этой же скоростью температура воды понижалась до значения $t_{п.и}$, которое и поддерживалось до конца испытаний. Снижение температуры воды по мере ее движения по кольцу обуславливается при этом только тепловыми потерями трубопроводов и арматуры в окружающую среду. Величины этих тепловых потерь подсчитывают, исходя из измеренного во время испытаний расхода воды и снижения ее температуры на отдельных участках кольца. При таком режиме работы, в отличие от условий нормальной эксплуатации двухтрубных водяных тепловых сетей, температуры воды в обратной линии кольца лишь незначительно ниже температур в подающей линии соответствующего участка, поскольку это снижение вызвано только тепловыми потерями соответствующей части кольца.

Результаты замеров температур занесены в таблицу 6.4.

Таблица 6.4 – Результаты замеров температур.

Время за- ме- ров	Температура теплоносителя, °C												
	котельная		УТ-1		УТ-20		УТ-21		УТ-22		Точка 5		Точка 4
	п п	о о	п п	о о	п п	о о	еп	о о	п п	о о	п п	о о	п п
10-30	60	59,2	59,8	59,0	59,6	58,8	59,5	58,7	59,4	58,6	59,2	58,4	59,1
10-40	60	59,2	59,8	59,0	59,6	58,8	59,5	58,7	59,4	58,6	59,2	58,4	59,1
10-50	60	59,2	59,8	59,0	59,6	58,8	59,5	58,7	59,4	58,6	59,2	58,4	59,1
11-10	60	59,2	59,8	59,0	59,6	58,7	59,5	58,7	59,4	58,6	59,2	58,4	59,1
11-30	60	59,2	59,8	59,0	59,6	58,7	59,5	58,7	59,4	58,6	59,2	58,4	59,0
11-40	60	59,2	59,8	58,9	59,6	58,7	59,5	58,7	59,4	58,6	59,2	58,3	59,0
12-00	60	59,2	59,8	58,9	59,6	58,7	59,5	58,7	59,3	58,6	59,2	58,3	59,0
12-30	60	59,2	59,7	58,9	59,5	58,7	59,5	58,7	59,3	58,5	59,2	58,3	59,0
13-00	59,9	59,2	59,7	58,9	59,5	58,7	59,5	58,7	59,3	58,5	59,1	58,3	59,0
13-30	59,9	59,2	59,7	58,9	59,5	58,7	59,5	58,7	59,3	58,5	59,1	58,3	58,9
14-00	59,9	59,1	59,7	58,9	59,5	58,7	59,5	58,6	59,3	58,5	59,0	58,2	58,9
14-30	59,9	59,1	59,7	58,9	59,5	58,7	59,4	58,6	59,3	58,5	59,0	58,2	58,9

6.7 Обработка результатов испытаний

В результате испытаний определяются тепловые потери для каждого из участков кольца отдельно по подающей и обратной линиям.

Предварительно были получены усредненные значения температур воды, полученных при 25 последовательных измерениях через каждые 10 минут в контрольных точках, когда режим испытаний был наиболее близок к установившемуся. За этот же период усредняются значения расходов сетевой и подпиточной воды.

Тепловые потери по подающей и обратной линиям определяются по формулам

$$Q_{nu} = c(G_c - \frac{G_n}{4})(t_n^H - t_n^K)10^3 \quad (6.6)$$

$$Q_{ou} = c(G_c - \frac{3}{4}G_n)(t_o^H - t_o^K)10^3 \quad (6.7)$$

где G_c – средний расход сетевой воды в подающей линии на выходе из теплоподготовительной установки, т/ч;

t_n^H, t_n^K – средние температуры воды в начале и конце подающей линии на этом участке, °С;

t_o^H, t_o^K – средние температуры воды в начале и конце обратной линии на этом участке, °С;

c – средняя весовая теплоемкость воды в соответствующем интервале температур, которую при температурах до 100 °С можно принимать равной 1,0 ккал/(кг·°С);

G_n – средний расход подпиточной воды, т/ч.

6.8 Сопоставление измеренных тепловых потерь с нормативными

Для разработки на основе результатов испытаний нормируемых эксплуатационных тепловых потерь данной тепловой сети в целом измеренные значения этих потерь должны быть сопоставлены с нормативными значениями тепловых потерь для того же участка сети.

Для сопоставления с нормативными измеренные значения тепловых потерь по каждому участку должны быть предварительно пересчитаны на среднегодовые условия работы. Пересчет производится по формуле

$$Q_{ни} = \frac{Q_{ни}(t_n^{cp,z} - t_{cp,z}^{cp,z}) + (t_o^{cp,z} + t_{cp,z}^{cp,z})}{\frac{t_n^u + t_n^k + t_o^u + t_o^k}{4} - t_{cp,u}} \quad (6.8)$$

Среднегодовые нормативные часовые потери теплоты приведены в «Таблице 6.6», а в «Таблице 6.7» приведены месячные и годовые потери теплоты трубопроводами тепловых сетей.

Таблица 6.6 – Среднегодовые нормативные часовые потери теплоты трубопроводами тепловой сети.

Наружный диаметр трубопроводов, мм	Длина, м	Удельные норм. тепловые потери, ккал/мч	Поправочный коэффициент	Коэффициент местных тепловых потерь	Потери через изоляцию, Гкал/ч
250	43,5	207	0,579	1,2	0,087
150	163	234	0,579	1,2	0,068
100	44,5	207	0,579	1,2	0,026
80	84	173	0,579	1,2	0,075
70	127,45	185	0,579	1,2	0,061
50	30,51	156	0,579	1,2	0,126

Таблица 6.7 – Месячные и годовые потери теплоты.

Месяц	Кол-во часов работы тепловых сетей	Потери теплоты через изоляцию, Гкал	Плотность воды, кг/м3	Потери теплоты с утечкой воды из тепловых сетей, Гкал	Суммарные потери теплоты, Гкал
1	744	334,7	983,49	98,2	432,9
2	672	315,9	982,2	92,7	408,6
3	744	316,6	985	91,1	407,7
4	720	242,2	989,18	71	313,2
5	744	265,3	986,69	79,6	344,9
6	0	0	0	0	0
7	744	205	988,07	63,4	268,4
8	744	265,3	982,73	82,8	348,1
9	720	253,9	983,49	77,6	331,5
10	744	250,3	985,97	80,4	330,7
11	720	268,4	985,25	82,1	350,5
12	744	310,6	984	96,5	407,1
	Σ=8040	Σ=3028,2		Σ=915,4	Σ=3943,6

Результаты расчетов по тепловым измерениям

По данным метеослужбы в день проведения испытаний:

- температура грунта на глубине 1,6 м – 10,1 °С;
- температура наружного воздуха – 25 °С.

$$t_n^{г.г.} = 68,9 \text{ °С}, \quad t_o^{ср.г.} = 47,5 \text{ °С}.$$

После проведения испытаний и усреднения полученных данных с учетом фактической продолжительности пробега частиц воды по участкам испытанного кольца котельная – точка 4 были получены расходы сетевой и подпиточной воды:

$$G_c = 235 \text{ т/ч}, \quad G_p = 4,62 \text{ т/ч}.$$

Усредненные значения температуры воды приведены в таблице 3.8.

Таблица 6.8 – Усредненные значения температуры воды

Точка наблюдения	котельная	УТ-1	УТ-20	УТ-21	УТ-22	Точка 5	Точка 4
подающая	59,96	59,75	59,55	59,49	59,35	59,15	59
обратная	59,18	58,94	58,72	58,68	58,55	58,3	59

По приведенным выше формулам определены следующие суммарные значения тепловых потерь $Q_{п.и.}, Q_{о.и.}$ по подающей и обратной линиям участков, ккал/ч:

$$\begin{aligned} Q_1 &= 87000; \\ Q_2 &= 68000; \\ Q_3 &= 26000; \\ Q_4 &= 75000; \\ Q_5 &= 61000; \\ Q_6 &= 126000. \end{aligned}$$

Нормативные тепловые потери $Q_{н.н.}^{ср.г.}$ для испытанных участков, пересчитанные на среднегодовые условия работы составляют на участках, в ккал/ч:

котельная - УТ-1	150520
УТ-1 - УТ-20	71790,9
УТ-20 - УТ-21	25972,4
УТ-21 - УТ-22	78564
УТ-22 - точка 5	58731
точка 5 – точка 4	119933,9

Сопоставление измеренных и нормативных данных определяется анализом коэффициента К:

$$K = \frac{Q_u^{ср.г.}}{Q_n^{ср.г.}} \quad (3.9)$$

На диагностируемом участке

$$\begin{aligned} K_1 &= \frac{87000}{150520} = 0,58 & K_2 &= \frac{68000}{71790,9} = 0,95 \\ K_3 &= \frac{26000}{25972,4} = 1,01 & K_4 &= \frac{75000}{78564} = 0,95 \\ K_5 &= \frac{61000}{58731} = 1,04 & K_6 &= \frac{126000}{119933,9} = 1,05. \end{aligned}$$

6.9 Испытания тепловых сетей на расчетную температуру теплоносителя

Тепловые сети, находящиеся в эксплуатации, подвергают испытаниям на расчетную температуру теплоносителя не реже одного раза в два года. Вновь сооружаемые тепловые сети подвергают испытаниям на расчетную температуру теплоносителя до ввода их в эксплуатацию. Если тепловую сеть прокладывают в зимний период и она не имеет отдельного вывода с ТЭЦ, допускается проводить испытания этой сети на расчетную температуру в конце первого отопительного сезона. Испытания действующих тепловых сетей на расчетную температуру теплоносителя, проводят непосредственно перед окончанием отопительного сезона при устойчивых суточных плюсовых температурах наружного воздуха.

Испытания на расчетную температуру теплоносителя тепловых сетей, находившихся в эксплуатации длительный срок и имеющих ненадежные участки, проводят после текущего ремонта и предварительных испытаний этих сетей на плотность, но не позднее, чем за три недели до начала отопительного сезона. Аналогичным образом проводят испытания отдельных тепломагистралей, подвергавшихся ремонту. Запрещается одновременно проводить испытания на расчетную температуру.

Испытания на расчетную температуру теплоносителя проводят при расчетных значениях температуры воды, циркулирующей в обратном трубопроводе. Необходимо строго следить за тем, чтобы высокотемпературный теплоноситель не попадал в обратный трубопровод во избежание нарушения нормальной работы сетевых насосов, условий работы компенсационных устройств и целостности изоляционных конструкций. Для снижения температуры воды, поступающей в обратный трубопровод, испытания проводят с включенными системами отопления, присоединенными через смесительные устройства и водоподогреватели, а также с включенными системами горячего водоснабжения, присоединенными по закрытой схеме и оборудованными автоматическими регуляторами температуры.

Во время испытаний на расчетную температуру теплоносителя от тепловой сети отключают:

- а) отопительные системы детских и лечебных учреждений;
- б) неавтоматизированные закрытые системы горячего водоснабжения;
- в) системы горячего водоснабжения, присоединенные по открытой схеме;
- г) системы отопления, присоединенные через элеваторы с заниженными по сравнению с расчетными коэффициентами смешения;
- д) калориферные установки;
- е) отопительные системы с непосредственной схемой присоединения.

На промышленных предприятиях по согласованию с отделом главного энергетика допускается во время испытаний оставлять в работе присоединенные по непосредственной схеме отопительные приборы конвективно-излучающего действия.

После окончания испытаний производят тщательный осмотр тепловой сети, при котором:

- а) измеряют величины максимального перемещения стаканов сальников компенсаторов в местах, где для этих целей устанавливались фиксаторы перемещений;

б) проверяют состояние компенсаторов на всей тепловой сети (герметичность сальниковых уплотнений, целостность сварных соединений, наличие следов теплового перемещения);

в) проверяют состояние подвижных и неподвижных опор, расположенных в доступных местах, выявляют места смещения опор и поврежденные элементы;

г) проверяют состояние запорной арматуры (целостность арматуры, плотность фланцевых соединений);

д) выявляют места неплотностей трубопроводов;

Для сальниковых компенсаторов, на которых устанавливались фиксаторы перемещений, сопоставляют фактические и теоретические максимальные перемещения станков. Фактическая величина максимального перемещения должна составлять не менее 70 % теоретического значения. Меньшая величина свидетельствует о неудовлетворительной компенсирующей способности компенсационного участка тепловой сети и необходимости принятия мер по ее устранению. Такими причинами могут быть просадка теплопровода, вызывающая перекося компенсатора, смещение неподвижной опоры, большие силы трения теплопровода о грунт (при бесканальной прокладке), чрезмерное уплотнение сальниковой набивки и т.п.

После проведенных испытаний составляют акт, содержащий:

а) краткие данные по режиму испытаний (максимальные значения температуры воды в подающем и обратном трубопроводах на ТЭЦ, давление воды в подающем и обратном трубопроводах на ТЭЦ, расходы сетевой воды, максимальные температуры воды, достигнутые в конечных точках тепловой сети, время поддержания максимальной температуры, время пробега температурной волны до наиболее удаленных потребителей);

б) перечень выявленных по результатам осмотра дефектов и предлагаемые причины их возникновения;

в) перечень мероприятий по устранению выявленных дефектов.

Если в процессе испытаний наблюдались затруднения с подъемом температуры воды до расчетного значения или имели место большие величины падения температуры по длине сети или возникали другие причины, мешавшие обеспечению заданных режимов, все они должны быть отражены в акте. Одновременно с осмотром тепловой сети представители от потребителей тепла после окончания испытаний осматривают оборудование тепловых пунктов и систем теплоснабжения, находившихся в работе во время испытаний.

6.10 Испытания на плотность

Тепловые сети испытывают на герметичность (плотность) после окончания строительства перед вводом их в эксплуатацию, а затем ежегодно после окончания отопительного периода для выявления дефектов, подлежащих устранению при капитальном ремонте и после окончания ремонта, перед включением сетей в эксплуатацию. Вновь построенные тепловые сети предварительно испытывают на плотность (опрессовывают) отдельными участками после сварки и укладки трубопроводов на постоянные опоры до перекрытия каналов или засыпки траншей.

Испытуемые участки должны иметь свободный доступ для тщательного осмотра и простукивания герметичных соединений.

Окончательные гидравлические испытания всего трубопровода производят вместе с установленным оборудованием (задвижками, компенсаторами, спускными и воздушными кранами и т.п.). При надземной прокладке теплосети, а также прокладке в проходных каналах или коллекторах, обеспечивающих доступ и осмотр трубопроводов во время эксплуатации, испытание проводят один раз после полного окончания монтажа. Задвижки испытывают до их установки на трубопроводе.

При низких температурах наружного воздуха или при отсутствии воды на месте на вновь вводимых в эксплуатацию тепловых сетях (по согласованию с эксплуатирующей организацией) вместо гидравлических испытаний на плотность проводят пневматические согласно правилам СН 298-65.

При испытании тепловых сетей на плотность применяют пружинные манометры класса точности не ниже 1,5 с диаметром корпуса не менее 150 мм, шкалой на номинальное давление около $4/3$ измеряемого и ценой деления $0,1 \text{ кгс/см}^2$. использование манометров с просроченными пломбами не допускается. Для простукивания сварных швов на стыках используют молоток с закругленным бойком массой не более 1,5 кг, с ручкой длиной не более 500 мм.

При обнаружении дефектов, требующих для их устранения значительного времени, испытания прекращают, а при температуре наружного воздуха ниже 1°C немедленно опорожняют трубопровод и проверяют, не осталась ли в нижних точках вода. Результаты испытаний считаются удовлетворительными, если во время их проведения не произошло падения давления по манометру и не обнаружены признаки разрыва, течи или увлажнения сварных швов, корпусов и сальников арматуры, фланцевых соединений и т.п.

Пневматические испытания проводят на участках длиной не более 1000 м. при прокладке трассы вне населенных пунктов разрешается в виде исключения испытывать участки длиной 3000 м. величина испытательного давления при пневматических испытаниях равна рабочему давлению сети с коэффициентом 1,25, но не ниже 16 кгс/см^2 ($0,16 \text{ МПа}$) для подающих и 10 кгс/см^2 ($0,1 \text{ МПа}$) для обратных трубопроводов.

Результаты предварительных испытаний считаются продолжительными, если при тщательном осмотре труб не обнаружено никаких дефектов в сварных швах, нарушения целостности трубопроводов и утечек. Длительность предварительных испытаний определяется временем, необходимым для тщательного осмотра труб. Выявленные при осмотре дефекты должны быть устранены после снятия избыточного давления в трубопроводе. Окончательные испытания пневматическим способом выполняют после завершения монтажа.

Трубопровод считают выдержавшим окончательное пневматическое испытание, если за время испытания не обнаружено нарушения его целостности, а величина падения давления не превышает допустимую величину.

Испытание тепловых сетей на герметичность (плотность) проводят по отдельным отходящим по источника тепла магистралям. Эти магистрали испытывают целиком или по частям в зависимости от наличия оперативных

средств транспорта и связи между дежурным персоналом источника тепла и бригадой, проводящей испытания, а также от их численности. При испытаниях тепловые пункты потребителей и водоподогревательные установки источника тепла отключают. Температура воды в трубопроводах в этот период не должна превышать 40°C, а давление должно быть равно рабочему давлению с коэффициентом 1,25, но не ниже 16 кгс/см² (0,16 МПа). Необходимое давление обеспечивается сетевым насосом источника тепла. Предварительно открывают одну или несколько перемычек между подающим и обратными трубопроводами в конце сети из расчета, чтобы расход воды через эти перемычки обеспечивал работу сетевого насоса на ниспадающей части его характеристики.

ТЕМА 7 СИСТЕМЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

7.1 Причины недостатков в работе вентиляции

Причинами недостаточной эффективности вентиляционных систем могут быть ошибки в техническом задании на проектирование вентиляции; недостатки или ошибки, допущенные при проектировании; некачественный монтаж вентиляционных устройств; неправильная эксплуатация действующих установок.

Основными недостатками при проектировании вентиляции являются:

- применение общеобменной вытяжки в тех случаях, когда местная вентиляция вполне осуществима;
- нерационально организованный воздухообмен;
- неудачное расположение местных отсосов (высоко подвешенные вытяжные зонты;
- применение пылегазоприемников несоответствующего типа (оборудование стационарных электросварочных постов вытяжными зонтами, под которыми должен находиться и рабочий вместо устройства различного вида вытяжных панелей и отсосов, отклоняющих выделяющиеся вредности в сторону от рабочего);
- устройство излишне больших рабочих проемов в вытяжных шкафах, отсутствие козырьков, фартуков.

Перечисленные недостатки ведут к снижению эффективности и затруднению эксплуатации вентиляционных установок. Неправильно или неудовлетворительно выполненный монтаж вентиляционных установок часто является причиной их недостаточной эффективности, а иногда ведет к преждевременному выходу их из строя.

7.2 Назначение и виды испытаний вентиляции

По своему назначению испытания могут быть предпусковые и контрольные.

Предпусковые испытания производятся один раз после окончания монтажа вентиляционных установок и механической обкатки оборудования, производимой монтажной организацией.

Контрольные испытания проводятся периодически для проверки состояния установок в процессе их эксплуатации.

В зависимости от характера и объема проводимых измерений испытания могут быть технические и санитарно-гигиенические.

Технические испытания проводятся для выявления полной технической характеристики вентиляционных установок. При этих испытаниях определяются:

1 объемы удаляемого и подаваемого воздуха, скорости движения воздуха в отдельных частях установок, равномерность распределения объемов воздуха по воздуховодам, процент утечки воздуха через неплотности в воздуховодах и других элементах установок;

2 давления, развиваемые вентиляторами, и распределение давлений в воздуховодах;

3 теплопроизводительность калориферов;

4 производительность фильтров.

При санитарно-гигиеническом обследовании необходимо установить, в какой степени вентиляционная система обеспечивает:

1 заданный метеорологический режим в помещении и на рабочих местах (температура, влажность, и подвижность воздуха);

2 чистоту воздуха в помещениях (содержание в воздухе вредных газов и пыли в допустимых пределах);

3 чистоту, необходимую температуру и влажность поступающего в помещение воздуха;

4 эффективность очистки воздуха, удаляемого из помещения в атмосферу.

7.3 Приборы для испытаний вентиляционных устройств

7.3.1 Приборы для измерения давлений воздуха

Приборы для измерения давлений классифицируются по следующим признакам: род измеряемой величины, принцип действия и класс точности.

Первый признак определяет, какое давление измеряет прибор – атмосферное, абсолютное, избыточное или вакуум. Для измерения атмосферного давления применяют барометры; избыточного давления – манометры и микроманометры; давлений, меньших атмосферного, – вакуумметры; для измерения абсолютного давления необходимо иметь барометр и манометр или барометр и вакуумметр.

По принципу действия приборы для измерения давления делятся на жидкостные, пружинные, электрические и комбинированные.

7.3.2 Приборы для измерения температуры и определения относительной влажности воздуха

При испытании вентиляционных установок температуру воздуха и жидкостей от -40 до +60°C измеряют тарированными ртутными или спиртовыми термометрами с ценой деления 0,5; при температурах выше 60°C допускается применять термометры с ценой деления 1.

7.3.3 Приборы для измерения лучистого тепла

Лучистая энергия, переходя в тепло, нагревает тело. Интенсивность потока лучистой энергии измеряется в Вт/см². Наиболее близкими к таким телам

веществами являются сажа и платиновая чернь. Приборы для измерения интенсивности облучения называются актинометрами.

7.3.4 Приборы для измерения частоты вращения

Частоту вращения электродвигателей, вентиляторов и других механизмов измеряют счетчиками оборотов или тахометрами.

ТЕМА 8 ИСПЫТАНИЕ И НАЛАДКА ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ. МЕТОДЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОМПРЕССОРОВ.

8.1 Испытание вентиляционных устройств. Подготовка к испытаниям

До начала предпусковых испытаний систем вентиляции производится ознакомление с проектными материалами, чертежами и пояснительными записками. После этого осматриваются вентиляционные установки и проверяется:

- соответствие монтажа вентиляционного оборудования, изготовления и монтажа воздуховодов, каналов, вентиляционных камер и шахт требованиям СНиП;
- надежность крепления вентиляционного оборудования, воздуховодов и др. элементов установок;
- наличие приспособлений, фиксирующих положение дросселирующих устройств, и возможность их использования;
- наличие контрольно-измерительной аппаратуры;
- состояние герметичности дверей и люков;
- выполнение предусмотренных проектом мероприятий по борьбе с шумом;
- выполнение требований проекта по взрывоопасности, противопожарных правил, норм и инструкций;
- наличие порядковой маркировки всех смонтированных вентиляционных установок;

При осмотре составляется подробная дефектная ведомость, которая передается монтажной организации для устранения всех дефектов к началу испытаний.

8.2 Определение температуры и влажности воздуха, перемещаемого по воздуховодам

Температуру и влажность воздуха измеряют в воздуховодах калориферов, оросительных камер, воздушных душей и воздушнотепловых завес, а также в воздуховодах, по которым воздух подается в помещения или выбрасывается в атмосферу. При измерениях следует учитывать, что распределение температур в поперечном сечении воздуховода часто бывает неравномерным. В тех случаях, когда предполагается равномерное распределение температуры в воздуховоде, ее измеряют термометром. Для этого в стенке воздуховода высверливают отверстие, в которое вставляют термометр, закрепленный в резиновой или корковой пробке.

Средняя температура воздуха определяется по формуле:

$$t = (t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n) / n, \text{ где}$$

где t_1, t_2, t_3, t_n – температура в 1, 2, 3, ..., n-й точке.

Для измерения относительной влажности воздуха при обычном равномерном распределении ее в воздуховоде пользуются способом, указанным выше для определения температуры с той лишь разницей, что в стенке воздуховода просверливают два отверстия, в одно из которых вставляется сухой термометр, в другое – мокрый.

Среднее влагосодержание определяется по формуле:

$$d_{cp} = (d_1 + d_2 + d_3 + \dots + d_n) / n,$$

где d_1, d_2, d_3 – влагосодержание в 1, 2, 3, ..., n-й точке.

8.3 Определение содержания в воздухе вредных газов и паров

Оценка эффективности вентиляционных установок не может быть полной без анализа воздуха на содержание в нем вредных газов и паров.

Для отбора проб воздуха существует много разнообразных методов. Наиболее употребительные из них аспирационный и вакуумный методы.

Аспирационный метод основан на просасывании определенного объема воздуха через ту или иную поглотительную среду. Чтобы пропустить максимальный объем воздуха за возможно короткий срок, прибегают к большим скоростям просасывания. Иногда эта скорость не должна превышать 10-60 л/ч, а в некоторых случаях может достигать до 6000 л/ч.

Вакуумный метод позволяет отбирать пробу в очень короткий промежуток времени (доли секунды), что очень важно при определении концентрации токсических газов, выделяющихся с резкими колебаниями их количества во времени. Конец трубки вносят

Экспресс-анализ воздуха на содержание в нем некоторых часто встречающихся газообразных и парообразных вредных веществ (сероводорода, окиси углерода, хлора, и т.д.) может выполняться работниками, с помощью универсальных газоанализаторов типа УГ и ГХ.

8.4 Определение содержания пыли в воздухе

Концентрация пыли в мг/м^3 определяется *гравиметрическим методом*, - определенный объем запыленного воздуха просасывается через фильтр, задерживающий пыль. Количество пыли вычисляется по разности массы фильтра до и после просасывания через него воздуха.

Концентрация пыли в воздухе, мг/м^3 , подсчитывается по формуле

$$K = 1000 g_n / V,$$

g_n – количество уловленной пыли, мг;

V – объем пропущенного через фильтр воздуха при температуре 20°C и атмосферном давлении 760 мм.рт.ст., м^3 .

$$V = \frac{293 p V_t}{(273 + t) 101.325};$$

где V_t – количество воздуха, измеренное при температуре t в месте отбора проб и при барометрическом давлении, л.

8.5 Определение частоты вращения колеса вентилятора

Частота вращения колеса вентилятора обычно определяется при замере тахометром частоты вращения вала вентилятора или вала электродвигателя (при установке колеса вентилятора на валу электродвигателя).

При измерениях частоты вращения колеса вентилятора счетчиком оборотов необходимо одновременно пользоваться и секундомером. Предварительно записывают показание прибора n_1 . Затем острие или резиновую вставку наконечника шпинделя прижимают к лунке в центре торца вращающего вала, и одновременно включают секундомер. Через 30-60с наконечник счетчика оборотов резким движением отнимают и снимают показания счетчика n_2 . Зная время замера t , с, среднюю частоту вращения, мин^{-1} , определяют по формуле:

$$n = \frac{n_2 - n_1}{t} \cdot 60;$$

Если лунки у вала механизма нет, подсчет оборотов вала производят с помощью насадка, имеющего вид небольшого шкивка.

8.6 Санитарно-гигиеническое обследование состояния воздушной среды в помещениях.

При обследовании определяют воздух в воздухе помещения и в приточном воздухе содержание газов, паров, аэрозолей или пыли, температуру, относительную влажность и подвижность воздуха, а также интенсивность теплового облучения.

Санитарно-гигиеническое обследование проводится в различные периоды в зависимости от вида выделений: вредных газов и паров – в холодный период; пыли – в любой период года; тепла – в теплый период. На постоянных рабочих местах отбор проб воздуха производится из зоны дыхания работающих, а на рабочих площадках и в проходах – на отметке 1,5 м от пола.

При неудовлетворительных санитарно-гигиенических условиях в обследуемых помещениях обслуживающая их вентиляция должна быть подвергнута испытаниям и наладке.

Следует проводить мероприятия по уменьшению влияния производственных вредностей.

8.7 Диагностирование технического состояния компрессоров

Работоспособность компрессора характеризуется параметрами технического состояния. Различают:

1 функциональные параметры (производительность, конечное давление, потребляемую мощность, КПД).

2 ресурсные параметры, характеризующие долговечность технических систем компрессора (износостойкость наиболее изнашиваемых деталей, давление и расход масла).

В технической диагностике параметры делят на структурные и диагностические. Структурные отражают состояние элементов компрессора (износ, внутреннее напряжение, микро и макро дефекты).

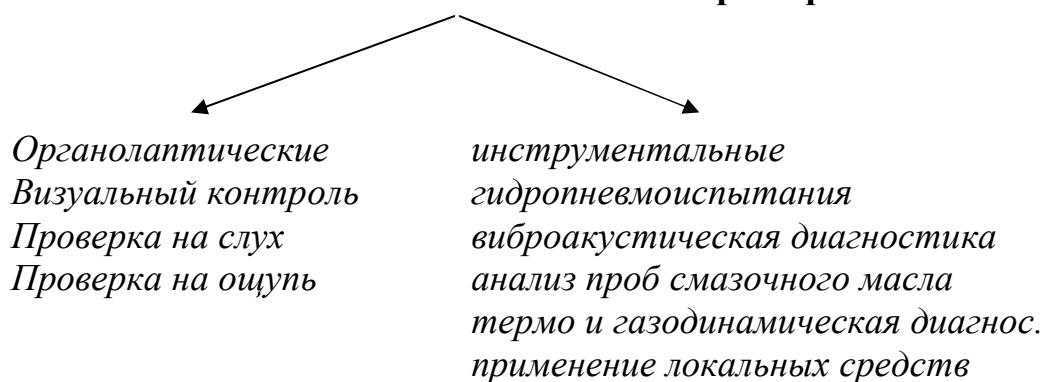
Диагностические параметры характеризуют структурные параметры по установленным между ними зависимостями.

Составной частью процесса диагностирования является *дефектация* – оценка технического состояния машин и их деталей по результатам измерений и контроля структурных параметров.

При гидропневмоиспытаниях выявляются трещины, пористости, неплотности прилегания сопрягаемых поверхностей и неподвижных разъемных соединений, неплотности корпусных деталей.

Виброакустическая диагностика основывается на сочетании двух последовательно выполняемых операций: регистрации вибраций и их анализе для выделения полезной диагностической информации.

Классификация методов диагностирования параметров технического состояния компрессоров.



Техническая диагностика на основе анализа проб смазочного масла находит широкое применение при оценке работоспособности компрессорного оборудования, используемого при транспортировке природного газа. Анализируется содержание в масле железа, меди, олова, свинца, марганца и др. элементов.

Железо, марганец – характеризует изнашивание деталей цилиндропоршневой группы, основным материалом для которых являются чугуны; медь, олово – характеризуют изнашивание кривошипно-шатунного механизма, вкладышей подшипников, бронзовых втулок.

Таблица 8.1 – Методы выявления дефектов материала деталей компрессоров.

Основные методы	Диагностический параметр или принцип диагностирования	Разновидности методов и их различия
1	2	3
Гидропневмоиспытания	Проникновение жидкости в поры материала под давлением	Гидроиспытания корпусных деталей на прочность и плотность. Пневмоиспытания корпусных деталей на герметичность.
Магнитные	Магнитные поля рассеивания, возникающие вокруг дефектов	Магнитопорошковый феррозондовый, магнитографический и др. Для выявления поверхностных и подповерхностных дефектов в стальных и чугунных деталях.
Капиллярные	Капиллярное проникновение жидкостей в поверхностные дефекты	Люминесцентный и цветной методы для выявления поверхностных дефектов в деталях из немагнитных материалов.
Радиационные	Изменение прозрачности материала в местах нарушения сплошности материала	Рентгеновское и гамма просвечивание. Для выявления небольших раковин, пор, коррозионных повреждений.
Ультразвуковые	Отражение и рассеивание ультразвуковых волн на дефектах	Теневой метод, эхо-метод, резонансный метод для выявления раковин, пор, расслоения в деталях несложной формы.
Электромагнитные	Изменение электрической проводимости материалов из-за наличия дефектов	Наиболее распространены накладные и проходные преобразователи, выявляются поверхностные и подповерхностные дефекты, толщины.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Гетьман А. Ф. Неразрушающий контроль и безопасность эксплуатации сосудов и трубопроводов давления / А. Ф. Гетьман, Ю. Н. Козин. – М.: Энергоатомиздат, 1997. – 288 с.
- 2 Госселин С. Оптимизация порядка проведения контроля трубопроводов и оборудования на основании концепции риска. Передача методики контроля на АЭС Украины. / С. Госселин, Б. Гор, 1999. – 87 с.
- 3 ГОСТ 26-2044-83. Швы стыковых и угловых сварных соединений сосудов и аппаратов, работающих под давлением. Методика ультразвукового контроля.
- 4 Государственные строительные нормы Украины ДБН В.2.5-20-2001. газоснабжение. Инженерное оборудование зданий и сооружений. Госстрой Украины. – Киев, 2001.
- 5 Заславский В. А. , Каденко И. Н. Роль и место методов неразрушающего контроля для обеспечения надежности и долговечности сложных систем с высокой ценой отказа// Информационно рекламный бюллетень «Неразрушающий контроль». 1999.-№1.-С. 15-22.
- 6 Ключев В. В. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий. / В. В. Ключев. – М. : Машиностроение, 1986. – 488 с.
- 7 Лопаткин В. И. Методы неразрушающего контроля за рубежом// Проблемы безопасности полетов - 1986 .№6. 58-65 с.
- 8 Технічна діагностика і ресурс конструкцій після довготривалої експлуатації // Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів. – Київ – Львів: Центр «Леотест - Медіум». / О. П. Остап, В. М. Учанін, І. М. Андрейко, І. Р. Маковійчук. – 1999. С. 3-8.
- 9 Правила обследования, оценки технического состояния, паспортизации и проведения планово-предупредительных ремонтов газопроводов и сооружений на них. Зарегистрировано в Минюсте Украины 13 ноября 1998г. №723/3163. – К.,1998. – 61с.
- 10 Прохопович В. Е. НК как инструмент для реализации ресурсосберегающих технологий // В мире неразрушающего контроля. / В. Е. Прохопович, Г. Д. Петров. – 1999. – № 4. С. 10 – 13.
- 11 Сварка и резка в промышленном строительстве. В 2-х т., Т.2. /Под ред. Б. Д. Малышева -3-е изд. перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1989. – 400 с.
- 12 Сідак В. С. Інноваційні технології в діагностиці та експлуатації систем газопостачання: Навч. Посібник. / В. С. Сідак. – Харків: ХНАМГ, 2006. – 227 с.
- 13 Справочник по наладке и эксплуатации водяных тепловых сетей / В. И. Манюк, Я. И. Каплинский, Э. Б. Хиж, А. И. Манюк, В. К. Ильин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1982. – 215 с.
- 14 Троицкий В. А. Применение визуального и вихретокового методов неразрушающего контроля для оценки дефектоскопии сварных элементов конструкций, эксплуатируемых в космосе // Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів. / В. А. Троицкий, В. И. Загребельный. – Київ-Львів: Центр «Леотест-Медум». – 1999. – С. 117-118.
- 15 Эксплуатация и ремонт подземных газопроводов. – М.: Стройиздат, 1981. – 320 с.
- 16 Bush S. A review of Nuclear Piping Failures at their use in Establishing the reliability of Piping Systems // Service Experience in Fossil and Nuclear Power Plants. ASME 1999. - PVP - Vol. 392.-P. 137-155.
- 17 Everline C. Probabilistic Risk Assessment Examples from the South Ukraine NPP In-Depth Safety Assessment. -1998.
- 18 Gosselin S., Fleming K. Evaluation of Pipe Failure Potential via Degradation Mechanism Assessment // Proceedings of ICON 5: 5th International Conference on Nuclear Engineering. Poster 2641-1997.10 p.
- 19 Kadenko I., Zaslavskii V., Sakhno N. Application of the complex NDT approach for inspection of NPP power system // Proceedings of International Symposium on Nondestructive Testing Contribution to the Infrastructure Safety Systems in the 21 -st Century.-Torres, RS, 22-26 November-Brazil. 1999.- 4 p.
- 20 Risk - Informed Inservice Inspection Evaluation Procedures. EPRITR-106706, 1996.
- 21 Technical Elements of Risk - Informed Inservice Inspection Programs for Piping. NUREG 1661. Draft Repoit-1999.

Навчальне видання

ГАПОНОВА Людмила Вікторівна

**ТЕХНІЧНА ДІАГНОСТИКА СИСТЕМ
ТЕПЛОГАЗОПОСТАЧАННЯ І ВЕНТИЛЯЦІЇ**

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

*(для студентів 4 курсу всіх форм навчання
спеціальності 192 - Будівництво та громадянська інженерія)*

(рос. мовою)

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *К. А. Алексанян*

План 2016, поз. 2 Л

Підп. до друку 10.03.2017. Формат 60 x 84/16

Друк на різнографі. Ум. друк. арк. 4,85

Тираж 50 пр. Зам. №

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,

вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002

Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017.