

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Физические методы контроля»

ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

*Методические рекомендации к практическим занятиям
для студентов специальности 1-38 80 01 «Приборостроение»
очной и заочной форм обучения*



Могилев 2020

УДК 620.179.14
ББК 31.222
П 75

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Физические методы контроля» «24» апреля 2020 г.,
протокол № 7

Составители: канд. техн. наук, доц. В. Ф. Поздняков;
д-р техн. наук, проф. В. А. Новиков;
канд. техн. наук, доц. С. С. Сергеев;
канд. техн. наук, доц. А. П. Магилинский;
ст. преподаватель А. Н. Прудников

Рецензент канд. техн. наук, доц. С. В. Болотов

Методические рекомендации к практическим занятиям по дисциплине
«Приборы и системы неразрушающего контроля» предназначены для студентов
специальности 1-38 80 01 «Приборостроение» с профилем «Техника и
технологии неразрушающего контроля» очной и заочной форм обучения.

Учебно-методическое издание

ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Ответственный за выпуск	С. С. Сергеев
Корректор	И. В. Голубцова
Компьютерная верстка	Е. В. Ковалевская

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 16 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 07.03.2019.
Пр-т Мира, 43, 212022, Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2020

Содержание

Практическое занятие № 1. Разработка методики визуально-оптического контроля.....	4
Практическое занятие № 2. Расчет магнитостатического поля дефекта, расположенного в плоскопараллельной пластине, с учетом влияния границ раздела сред.....	9
Практическое занятие № 3. Изучение структуры и возможностей автоматизированных систем ультразвукового контроля.....	12
Практическое занятие № 4. Изучение структуры и возможностей современных средств цифровой радиографии.....	19
Практическое занятие № 5. Изучение структуры и возможностей акустико-эмиссионной системы.....	25
Список литературы.....	33

Практическое занятие № 1. Разработка методики визуально-оптического контроля

Цель занятия: получение практических навыков разработки инструкции на визуально-измерительный контроль промышленного объекта.

1.1 Область применения методики

В разделе в краткой форме производится анализ объекта контроля. Дается область применения инструкции. Приводится вид разделки, применяемой для сварного соединения, и вид сварного соединения.

1.2 Требования к квалификации персонала НК

Раздел должен содержать требования к квалификации персонала, проводящего визуальный и оптический контроль. Требования к квалификации персонала содержатся в СТБ ISO 9712 *Контроль неразрушающий. Квалификация и сертификация персонала в области неразрушающего контроля.*

1.3 Требования к используемой аппаратуре и инструменту

Раздел должен содержать перечень необходимых инструментов (с указанием типа и обеспечиваемой точности измерения), а также сведения о необходимости и периодичности поверки (калибровки) приборов и инструментов.

1.4 Подготовка к контролю

В разделе предоставляются информация о требованиях к подготовке поверхности контролируемого объекта. Обязательно указывается ширина подготавливаемой поверхности, а также требуемая шероховатость. Указывается порядок разметки сварного соединения.

В разделе также необходимо указать, какая должна быть освещенность при проведении визуального контроля объекта и с помощью каких средств она должна быть обеспечена, а также, какая чувствительность контроля будет обеспечена при данной освещенности по СТБ ИСО 970.

1.5 Проведение контроля и определение размеров дефектов

Раздел должен содержать порядок проведения контроля, т. е. с какой поверхности (наружной или внутренней) начинается осмотр сварного соединения, на какие участки сварного соединения, если это требуется, должно быть обращено особое внимание.

В разделе должны быть перечислены дефекты, а также их параметры (диаметр, глубина дефекта, протяженность, расстояние между дефектами и т. д.), требующие измерения после выявления.

1.6 Оценка качества изделия

В разделе перечисляются все возможные дефекты, которые могут быть обнаружены на данном объекте, с указанием конкретных предельных значений параметров. Все дефекты и их параметры должны быть описаны в подробной форме.

1.7 Оформление результатов контроля

В разделе приводится перечень оформляемых по результатам контроля документов (протоколов, журналов и другой отчетной документации). Необходимо указать, какие данные нужны в протоколе при его заполнении.

1.8 Нормативные требования

Основные положения СТБ 1133–98. Соединения сварные. Метод контроля внешним осмотром и измерениями. Общие требования.

Контроль внешним осмотром и измерениями предназначен для выявления и измерения поверхностных дефектов сварных соединений в соответствии с ГОСТ 3242 и определения качества сварных соединений по внешнему виду. Контроль внешним осмотром и измерениями должен производиться независимо от других разрушающих или неразрушающих методов контроля качества и всегда предшествовать им.

Контроль внешним осмотром и измерениями должен включать проверку:

- внешнего вида сварного соединения после сварки;
- размеров свариваемого узла, сборочной единицы и изделия после сварки на соответствие конструкторской документации;
- выполнения сварных швов в соответствии с конструкторской, технологической и нормативной документацией;
- наличия дефектов и их размеров в сварном соединении.

Сварные соединения должны предъявляться на контроль очищенными от шлака, брызг металла, окалины, продуктов коррозии и других загрязнений, препятствующих проведению контроля.

Освещенность контролируемых поверхностей сварных соединений должна быть достаточной для надежного выявления дефектов и соответствовать требованиям ГОСТ 23479 (СТБ ИСО 970).

К контролю внешним осмотром и измерениями допускаются операторы (дефектоскописты), прошедшие обучение, имеющие удостоверение на право проведения контроля внешним осмотром и измерениями и заключение медкомиссии в соответствии с СТБ ISO 9712–2016.

Дефекты сварных соединений, выполненных дуговыми способами сварки: трещины, прожоги, незаваренные кратеры, непровары, свищи, поры, раковины, шлаковые, металлические (вольфрамовые), оксидные и флюсовые включения; наплывы, натеки, подрезы, стартовые и финишные дефекты, поры, форма шва, незаваренные кратеры, смещение кромок, смещение вершины шва от центра линии соединения, неравномерность выпуклости, неравномерность ширины шва сварного соединения, нарушение длины и шага прерывистых швов, неровности поверхности шва, неправильный профиль сварного шва, нарушения величины нахлеста, пятна от коротких замыканий электрода на основном металле, наличие цветов побежалости на основном и металле шва.

Дефекты сварных соединений, выполненных способами контактной и стыковой сварки: трещины, прожоги, наружный и внутренний выплеск, раздавливание кромок при контактной сварке, нарушение размеров сварных точек, шага точечных швов и расстояния между рядами точек, нарушение величины вмятин от электрода при контактной сварке, отклонение соединяемых точек (шва) от центра оси соединяемых элементов, неправильное формирование величины выпуклости соединения при стыковой сварке, отсутствие сплавления при стыковой сварке.

При контроле внешним осмотром и измерениями подготовленных кромок под сварку необходимо проверять следующее:

- форму и размеры подготовленных кромок под сварку, которые должны соответствовать требованиям действующих стандартов на конкретные контролируемые изделия;
- свариваемые кромки и прилегающие поверхности, которые должны быть очищены до металлического блеска.

При контроле внешним осмотром в процессе сварочных работ необходимо проверять:

- качество валика шва перед нанесением последующего слоя;
- несплавление наплавленного металла с основным или между отдельными валиками сварного шва.

Внешний осмотр сварных соединений следует производить по всей длине сварного соединения и прилегающего к нему с обеих сторон основного металла шва на расстоянии не менее 20 мм.

При измерении конструктивных элементов и размеров швов сварных конструкций их величины должны соответствовать требованиям НД:

- при ручной дуговой сварке – ГОСТ 5264, ГОСТ 11534, ГОСТ 16037;
- при сварке в защитных газах – ГОСТ 14771, ГОСТ 23518, ГОСТ 16037;
- при сварке под флюсом – ГОСТ 11533, ГОСТ 8713, ГОСТ 16037.

Контроль измерением производится с помощью измерительного инструмента и шаблонов, обеспечивающих требуемую точность.

Производственные участки и рабочие места, на которых осуществляется контроль внешним осмотром и измерениями, должны удовлетворять требованиям действующих правил безопасности для предприятий и организаций

данной отрасли промышленности. Дополнительные требования по технике безопасности, производственной санитарии и пожарной безопасности устанавливаются технической документацией на контроль сварных изделий.

Оценку качества сварных соединений по результатам контроля внешним осмотром и измерениями следует производить в соответствии с нормами, указанными в НД на контроль конкретных сварных изделий.

Пример оценки сварного соединения в соответствии с ТКП 45–1.03–103–2009. Краны грузоподъемные. Капитальный, полнокомплектный и капитально-восстановительный ремонты. Правила выполнения.

Свариваемые кромки и прилежащие к ним зоны металла шириной не менее 20 мм должны быть очищены от ржавчины, грязи, масла и влаги.

Допускается смещение свариваемых кромок элементов в плоскости, перпендикулярной оси шва, в стыковых соединениях для элементов толщиной до 4 мм – не более 0,5 мм, от 4 до 10 мм – не более 1 мм, свыше 10 мм – не более $0,1 \cdot S$ мм (S – толщина элемента), но не более 3 мм.

При сборке стыков под одностороннюю сварку смещение нижних кромок относительно друг друга допускается не более чем на 0,5 мм для всех толщин.

Длина прихваток на несущих элементах металлоконструкции должна быть не менее 30 мм. Размер прихваток по высоте следует выполнять не менее $0,75 \cdot K$ (K – катет шва или толщина элементов, свариваемых встык).

Недопустимыми дефектами сварных швов, выявляемыми внешним осмотром, являются:

- трещины всех размеров и направлений;
- местные наплывы общей длиной более 100 мм на участке шва 1000 мм;
- подрезы глубиной более 0,5 мм при толщине наименее тонкого из свариваемых элементов до 20 мм включительно;
- подрезы глубиной более 3 % толщины наименее тонкого из свариваемых элементов при его толщине свыше 20 мм;
- поры в количестве более четырех на участке шва длиной 100 мм, при этом максимальный размер пор не должен быть более 1 мм при толщине свариваемых элементов до 8 мм и более 1,5 мм при толщине свариваемых элементов от 8 до 30 мм;
- скопления пор в количестве более пяти на 1 см^2 площади шва, при этом максимальный размер любой из пор не должен быть более 1 мм;
- незаваренные кратеры;
- прожоги и свищи.

В стыковых сварных соединениях разность высот гребешка и впадины поверхности шва в любом сечении по его длине не должна быть больше допуска на выпуклость шва. Частота чередования гребешка и впадины на единицу длины шва не регламентируется.

Задание

При выполнении задания на практическом занятии слушателям необходимо разработать методику по визуально-измерительному контролю заданного сварного соединения определенного объекта. Методика должна содержать следующие разделы:

- область применения инструкции;
- требования к квалификации персонала по неразрушающему контролю;
- требования к используемой аппаратуре и инструменту;
- подготовка к контролю;
- проведение контроля и определение размеров дефектов;
- оценка качества изделия;
- оформление результатов контроля.

Содержание отчета

1 Цель задания.

2 Методика визуально-измерительного контроля.

Методика должна содержать следующие разделы:

- область применения инструкции;
- требования к квалификации персонала по неразрушающему контролю;
- требования к используемой аппаратуре и инструменту;
- подготовка к контролю;
- проведение контроля и определение размеров дефектов;
- оценка качества изделия;
- оформление результатов контроля.

3 Выводы.

Контрольные вопросы

1 Чему равна зона зачистки основного металла при подготовке деталей под дуговую сварку?

2 Какая разрешающая способность визуального метода контроля?

3 Каковы требования к шероховатости поверхности контролируемого изделия?

4 Какая освещенность контролируемой поверхности должна быть обеспечена для уверенного обнаружения дефектов?

5 Какие дефекты однозначно не допускаются в сварных соединениях?

6 Что является нормируемым показателем при оценке качества сварного соединения?

7 Из каких нормативных документов берутся размеры выпуклости сварного шва?

8 Какой объем сварных соединений подвергается визуально-измерительному контролю?

9 Одинаковы ли нормы оценки стыковых сварных соединений и тавровых сварных соединений?

10 Каким инструментом необходимо пользоваться при измерении овальности обечайки сосуда?

Практическое занятие № 2. Расчет магнитостатического поля дефекта, расположенного в плоскопараллельной пластине, с учетом влияния границ раздела сред

Цель занятия: приобретение навыков расчетов сложных функциональных зависимостей, представления результатов расчетов в удобном для анализа виде.

В [9] для расчета суперпозиции тангенциальных составляющих и нормальной составляющей поля цилиндрического дефекта радиуса a , находящегося в намагниченной ферромагнитной пластине, получены формулы (1) и (2) в системе координат, приведенной на рисунке 2.1.

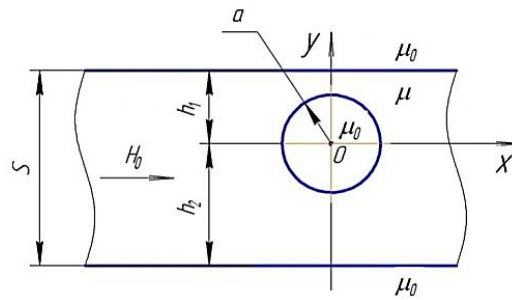


Рисунок 2.1 – Положение системы координат при выполнении расчетов

$$\begin{aligned}
 H_x(x, y) = H_0 + \frac{2\mu}{\mu+1} & \left[D_0 \frac{y^2 - x^2}{(y^2 + x^2)^2} + D \frac{2x \left(y - \frac{a^2}{2h_1} \right)^2 - x^2}{\left(x^2 + \left(y - \frac{a^2}{2h_1} \right)^2 \right)^2} + D' \frac{\left(y + 2h_2 + \frac{a^2}{2h_1} \right)^2 - x^2}{\left(\left(y + 2h_2 + \frac{a^2}{2h_1} \right)^2 + x^2 \right)^2} + \right. \\
 & + d' \frac{\left(y + 2s - \frac{a^2}{2h_1} \right)^2 - x^2}{\left(\left(y + 2s - \frac{a^2}{2h_1} \right)^2 + x^2 \right)^2} + M \frac{\left(y + \frac{a^2}{2h_2} \right)^2 - x^2}{\left(x^2 + \left(y + \frac{a^2}{2h_2} \right)^2 \right)^2} + m \frac{\left(y + 2h_2 - \frac{a^2}{2h_2} \right)^2 - x^2}{\left(\left(y + 2h_2 - \frac{a^2}{2h_2} \right)^2 + x^2 \right)^2} + \\
 & \left. + m_1 \frac{\left(y + 2h_2 - \frac{a^2}{2h_2} \right)^2 - x^2}{\left(\left(y + 2h_2 \right)^2 + x^2 \right)^2} + m_2 \frac{(y + 2s)^2 - x^2}{\left((y + 2s)^2 + x^2 \right)^2} \right]; \quad (1)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
H_y(x, y) = \frac{2\mu}{\mu+1} & \left[D_0 \frac{2xy}{(y^2+x^2)^2} + D \frac{2x\left(y - \frac{a^2}{2h_1}\right)}{\left(x^2 + \left(y - \frac{a^2}{2h_1}\right)^2\right)^2} + D' \frac{2x\left(y + 2h_2 + \frac{a^2}{2h_1}\right)}{\left(\left(y + 2h_2 + \frac{a^2}{2h_1}\right)^2 + x^2\right)^2} + \right. \\
& + d' \frac{2x\left(y + 2s - \frac{a^2}{2h_1}\right)}{\left(\left(y + 2s - \frac{a^2}{2h_1}\right)^2 + x^2\right)^2} + M \frac{2x\left(y + \frac{a^2}{2h_2}\right)}{\left(x^2 + \left(y + \frac{a^2}{2h_2}\right)^2\right)^2} + m \frac{2x\left(y + 2h_2 - \frac{a^2}{2h_2}\right)}{\left(\left(y + 2h_2 - \frac{a^2}{2h_2}\right)^2 + x^2\right)^2} + \\
& \left. + m_1 \frac{2x(y + 2h_2)}{\left((y + 2h_2)^2 + x^2\right)^2} + m_2 \frac{2x(y + 2s)^2}{\left((y + 2s)^2 + x^2\right)^2} \right], \quad (2)
\end{aligned}$$

$$\text{где } D_0 = a^2 H_0 \frac{\mu-1}{\mu+1} \mu; \quad D = \frac{D_0 \left(\frac{\mu-1}{\mu+1}\right)^2 a^2 \frac{1}{(2h_1 - a^2/2h_1)^2}}{1 - \left(\frac{\mu-1}{\mu+1}\right)^2 a^2 \frac{1}{(2h_1 - a^2/2h_1)^2}}; \quad D' = \frac{\mu-1}{\mu+1} D d' = \frac{\mu-1}{\mu+1} d;$$

$$M = \frac{D_0 \left(\frac{\mu-1}{\mu+1}\right)^2 a^2 \frac{1}{(2h_2 - a^2/2h_2)^2}}{1 - \left(\frac{\mu-1}{\mu+1}\right)^2 a^2 \frac{1}{(2h_2 - a^2/2h_2)^2}}; \quad m = \frac{\mu-1}{\mu+1} M;$$

$$m_1 = \frac{\mu-1}{\mu+1} D_0; \quad m_2 = \left(\frac{\mu-1}{\mu+1}\right)^2 D_0.$$

Формулы учитывают влияние на величину H_x и H_y не только напряженности намагничивающего поля, магнитной проницаемости материала объекта, радиуса дефекта, глубины его залегания, толщины плоскопараллельной пластины, но и границ раздела сред пластина – воздух и пластина–дефект.

Влияние границ раздела сред сказывается при расстоянии, равном 2...4 диаметрам дефекта, от дефекта до границы, а влияние толщины стенки – при диаметре дефекта более 10 % толщины.

Вышеприведенные аналитические зависимости наиболее точно описывают распределение полей рассеяния дефектов у поверхности ферромагнитного объекта.

Задание

Выполнить расчет суперпозиции тангенциальных составляющих полей и нормальной составляющей поля цилиндрического дефекта на поверхности плоскопараллельной пластины, используя данные таблицы 2.1.

Таблица 2.1 – Исходные данные для расчета

Номер варианта	H_0 , А/см	μ	a , мм	h_1 , мм	d , мм	h_2 , мм	S , мм
1	100	600	2	4	2a	4	8
2			3	4		5	9
3			2	3		7	10
4			3	4		7	11
5			2	3		9	12
6			3	5		8	13
7			4	6		8	14
8			2	3		12	15
9			3	5		3	8
10			3	5		4	9
11			3	5		5	10
12			2	4		7	11
13			4	6		6	12
14			3	4		9	13
15			3	4		10	14

Содержание отчета

1 Цель выполнения расчета.

2 Графическое изображение суперпозиции тангенциальных составляющих полей и нормальной составляющей поля цилиндрического дефекта на поверхности плоскопараллельной пластины.

3 Выводы.

Контрольные вопросы

1 Какая суперпозиция магнитных полей записывается на магнитную ленту, помещенную на поверхность намагниченной пластины с дефектом?

2 Какая суперпозиция магнитных полей записывается на магнитную ленту, помещенную на поверхность выпуклости шва, намагниченного поперек плоскости его симметрии?

3 Как направлено поле выпуклости шва на поверхности сварного соединения, намагниченного в поперечном направлении?

4 Как направлена тангенциальная составляющая поля внутреннего дефекта на поверхности намагниченной пластины по отношению к внешнему полю?

5 Между полюсами электромагнита располагается ферромагнитный образец. По какой формуле определяется напряженность магнитного поля внутри образца?

Практическое занятие № 3 Изучение структуры и возможностей автоматизированных систем ультразвукового контроля

Цель занятия: изучение структуры и функциональных возможностей современных автоматизированных систем ультразвукового контроля промышленных изделий.

Автоматизированный ультразвуковой контроль (АУЗК) является наиболее распространенным способом неразрушающего контроля в промышленном производстве изделий различного назначения (трубы, железнодорожные колеса, прутки и т. п.). Повышение требований к качеству, увеличение скорости основных технологических операций при производстве изделий, необходимость повышения информативности и достоверности контроля обусловили повышение уровня автоматизации и визуализации УЗК. Эффективность АУЗК также во многом зависит от согласованности с технологическим процессом изготовления изделий.

Современные установки АУЗК представляют собой сложные комплексы систем – механических, акустических, пневматических, гидравлических, электронных, связанных общим программным обеспечением.

Основные современные требования к установкам АУЗК могут быть сформулированы следующим образом.

1 Соответствие методики АУЗК требованиям УЗ-контроля, изложенным в нормативной технической документации на производство изделия.

2 Достоверность выявления дефектов при высокой скорости проведения контроля.

3 Высокая эксплуатационная надежность функционирования всех систем установки.

4 Удобная компоновка акустических блоков с УЗ-преобразователями, позволяющая до минимума сократить время калибровки акустической системы при перевалке оборудования на выпуск изделий другого типоразмера.

5 Воспроизводимость результатов калибровки при повторных испытаниях в динамическом режиме на имитаторе дефектов.

6 Развитая система визуализации процесса контроля и его результатов.

7 Запись и хранение всех А-сканов от обнаруженных дефектов.

8 Передача данных о результатах контроля каждого изделия в АСУ ТП цеха или завода.

Особенности и возможности автоматизированных систем рассмотрим на примере систем автоматизированного ультразвукового контроля с когерентной обработкой данных серии АВГУР, в которых визуализация изображений несплошностей выполняется по алгоритму проекции в спектральном пространстве, разновидностью метода синтезированной фокусированной апертуры FT-SAFT. В этом комплексе объединены возможности когерентной визуализации с синтезированной апертурой как при механическом, так и при электронном сканировании с применением метода C-SAFT – цифровой фокусировки антенны (ЦФА). Посредством этой технологии с возможностями точного механического сканирования удаётся преодолеть пространственные ограничения применения антенных решёток и добиться существенного повышения качества изображений. Разработка и применение приборов АУЗК с когерентной обработкой данных требует специального методического и программного обеспечения, связанного с появляющимися дополнительными возможностями и особенностями выполнения АУЗК. Использование таких приборов и систем дает возможность перейти от традиционной ультразвуковой дефектоскопии к ультразвуковой дефектометрии.

В зависимости от применяемых методик контроля и алгоритмов обработки данных выявление и определение геометрических размеров несплошностей выполняется или непосредственно по А-, В-, С-, D- сканам ультразвуковых эхосигналов, или по трехмерным изображениям несплошностей, полученным в процессе обработки ультразвуковых эхосигналов. Для получения изображений несплошностей используется когерентная и другие виды обработки эхосигналов [10].

Система состоит из следующих основных частей: управляющего компьютера (ноутбука), блоков системных, программного обеспечения, блока выносного, сканирующих устройств, системы подачи контактной жидкости, комплекта кабелей, преобразователей, ЗИП и принадлежностей. По запросу заказчика системы могут поставляться в различной комплектации.

В системы могут входить/входят блоки системные трех типов:

1) блоки системные БСВ.А5.2Ц (+Блок ультразвуковой БУЗ.ТОFD), БС.А5.2U (+ Блок ультразвуковой БУЗ.ТОFD), БС4-А5.2ПК-U – дефектоскопы, работающие с мультиплексированием сигналов от преобразователей;

2) блок системный ДУМ.СК26 – многоканальный дефектоскоп с числом каналов от 2 до 32;

3) блок системный БС.БРД-ЦТ – специализированный четырехканальный дефектоскоп для обнаружения дефектов в пластинах и оболочках при использовании волноводного эффекта распространения упругих волн (экспресс-режим).

Системы оснащаются устройствами сканирования, обеспечивающими перемещение преобразователей относительно поверхности объекта контроля. Устройством сканирования может быть как сканер, способный передвигать

преобразователи по объекту контроля, так и специальный стенд для контроля однотипных изделий. На устройстве сканирования могут быть установлены предусилитель и мультиплексор.

Блоки системные управляют сканирующим устройством и/или получают сигналы от датчика пути при проведении сканирования. Принятые ультразвуковые сигналы записываются с привязкой к положению сканирующего устройства относительно поверхности объекта контроля.

Конструктивное исполнение сканирующего устройства зависит от особенностей объекта контроля и предполагаемого метода контроля.

По количеству координат сканирования сканирующие устройства могут исполняться однокоординатными или двухкоординатными.

По наличию мультиплексирования сканирующие устройства могут исполняться с мультиплексированием аналоговых сигналов от преобразователей или без мультиплексирования аналоговых сигналов.

По наличию предусилителя после преобразователей сканирующие устройства могут исполняться с предусилителями или без предусилителей.

По способу управления сканирующие устройства могут исполняться с управлением от блока системного или с независимым управлением (в том числе сканеры, перемещаемые вручную).

По способу получения сигналов о положении сканирующие устройства могут исполняться с датчиками положения или с шаговыми двигателями с определением положения сканера по поданным командам.

Система может эксплуатироваться с контактными или иммерсионными, прямыми, наклонными или комбинированными, совмещенными или раздельно-совмещенными пьезоэлектрическими преобразователями (ПЭП).

Общий вид системы приведен на рисунке 3.1.

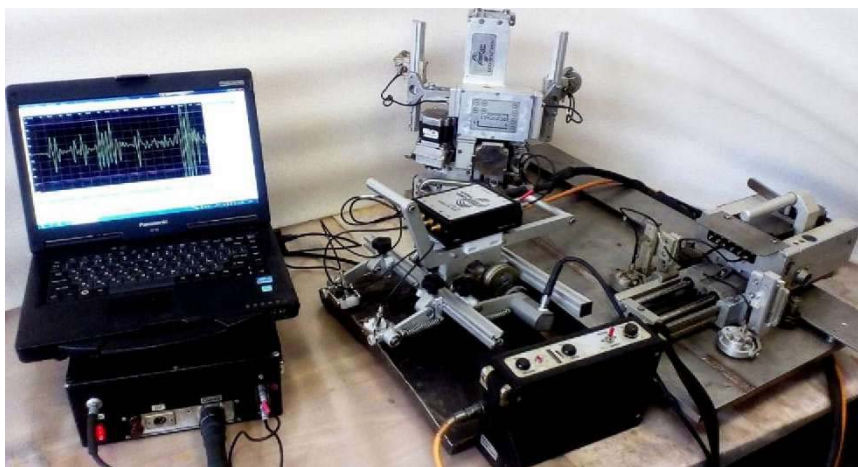


Рисунок 3.1 – Общий вид системы автоматизированного ультразвукового контроля АВГУР

В системе АВГУР автоматизированы следующие этапы проведения контроля:

- настройка и тестирование аппаратуры;
- процесс сканирования и слежения за качеством акустического контакта;
- обработка данных;
- выявление и определение характеристик несплошностей;
- формирование заключения по результатам контроля.

Для авторизованного доступа в программе регистрации данных предусмотрен доступ, предусматривающий выбор пользователя и ввод пароля для проведения процедуры контроля. Пример диалога выбора пользователя представлен на рисунке 3.2.

Имя пользователя, проводившего контроль, и его данные автоматически подставляются в соответствующие поля заключения по результатам контроля.

В базе данных хранятся записи с методическими параметрами, в которых задаются все параметры оборудования и алгоритмов, необходимые для проведения контроля. Затем в программе регистрации данных, перед началом проведения контроля, выбираются ранее заданные методические параметры и все параметры автоматически загружаются в текущий сеанс контроля. Пример диалога задания методических параметров представлен на рисунке 3.3.

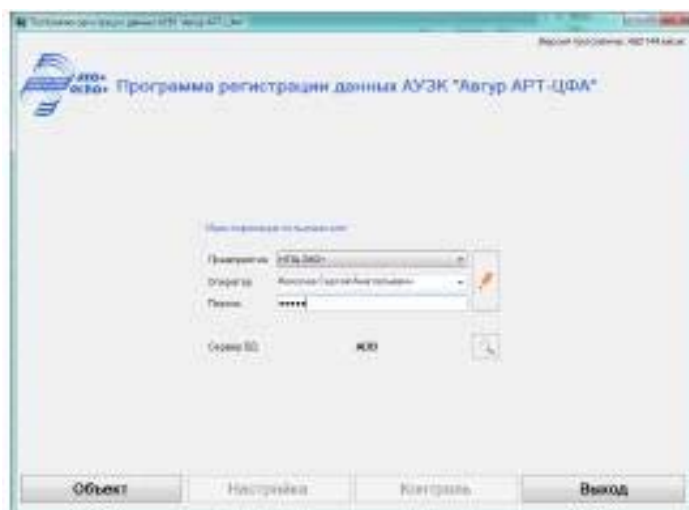


Рисунок 3.2 – Диалог выбора пользователя

Перед началом контроля для исключения возможности проведения контроля с неисправным оборудованием в программе регистрации данных предусмотрена процедура проверки оборудования (ультразвукового модуля и модуля управления сканером). При выявлении проблем с оборудованием программа не позволит оператору перейти на страницу настройки оборудования. Пример диалога проверки оборудования представлен на рисунке 3.4.



Рисунок 3.3 – Диалог задания методических параметров

Важное внимание уделено проверке качества акустического контакта. Алгоритм проверки качества акустического контакта призмы с поверхностью объекта контроля заключается в восстановлении изображения донной поверхности и автоматическом слежении за амплитудой донного сигнала. В процессе проведения контроля зеленым цветом помечаются участки с удовлетворительным качеством акустического контакта, красным – с неудовлетворительным. Алгоритм применим, если объект контроля, непосредственно под контактной площадкой призмы, имеет гладкую донную поверхность без конусных переходов и прочих неровностей.

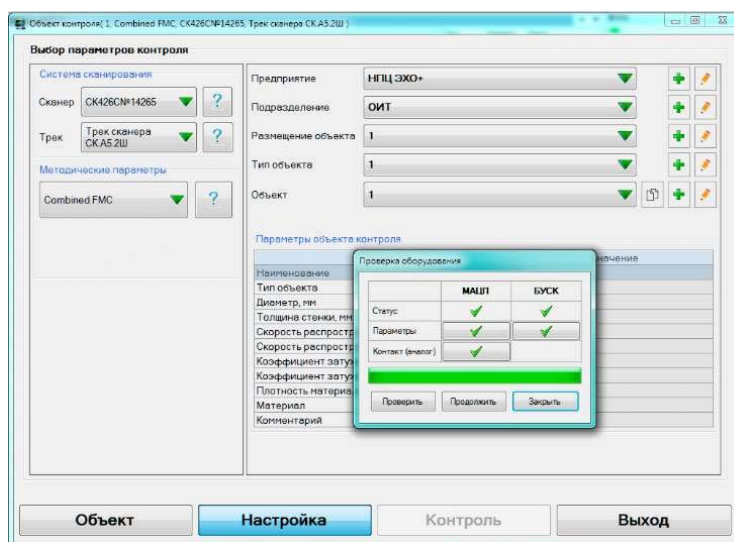


Рисунок 3.4 – Диалог проверки оборудования

Пример индикации качества акустического контакта в процессе проведения контроля представлен на рисунке 3.5.



Рисунок 3.5 – Индикация качества акустического контакта

В дальнейшем в процессе обработки зарегистрированных данных по вышеописанному алгоритму, формируется и сохраняется карта контакта, на которой цветом обозначены зоны с неудовлетворительным качеством акустического контакта. Подобная карта является приложением к заключению по результатам контроля.

Пример двумерной карты контакта представлен на рисунке 3.6.

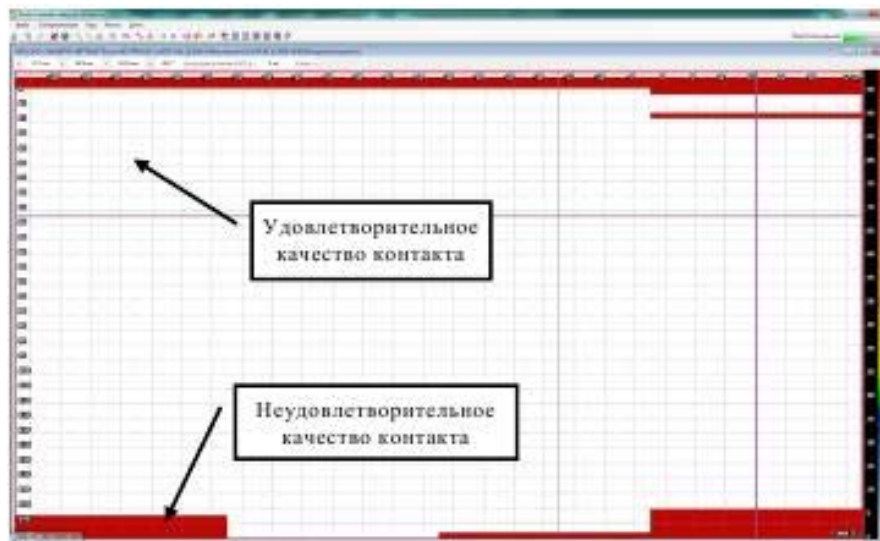


Рисунок 3.6 – Двумерная карта качества акустического контакта

Зарегистрированные в процессе контроля данные обрабатываются методом ЦФА. Если при проведении контроля использовалось несколько антенных решеток, то обработка применяется к данным, полученным каждой антенной решетки, последовательно.

Затем ко всем полученным изображениям последовательно применяется процедура автоматизированного поиска областей локализации несплошностей (ОЛН).

В таблице 3.1 представлено описание основных этапов алгоритма автоматизированного поиска ОЛН.

Таблица 3.1 – Основные этапы алгоритма автоматизированного поиска ОЛН

Номер	Название	Описание
1	Отсечка шума	Предназначена для удаления низкоамплитудного шума на изображении. Проверяется каждая точка изображения. Если амплитуда в этой точке ниже заданного уровня, то амплитуда приравнивается нулю. Уровень отсечки зависит от медианы и дисперсии исходного изображения
2	Фильтрация изображения	Предназначена для удаления высокоамплитудного шума на изображении. Производится путем сглаживания изображения эллиптическим фильтром. Длины полуосей и угол поворота эллипса задаются в параметрах алгоритма
3	Поиск локальных максимумов	В каждой плоскости фильтрованного изображения, полученного на предыдущем этапе, выполняется поиск локальных максимумов по маске в виде эллипса, которые могут соответствовать ОЛН
4	Поиск контуров	Для каждого локального максимума послойно рассчитываются размеры контура локализации несплошности по Z и по X. Проверяется каждая точка изображения. Если амплитуда в этой точке больше заданного уровня отсечки от локального максимума (по умолчанию – минус 6 дБ), то точка включается в контур
5	Объединение контуров	Выполняется объединение контуров в каждой плоскости изображения, если расстояние между ними меньше заданного
6	Удаление малых контуров	Удаляются контуры, размер которых менее 50 % размера элемента разрешения (размер точечного отражателя)
7	Поиск SD-контуров	Производится объединение контуров в соседних плоскостях в 3D-контуры, если расстояние между их максимумами меньше заданной величины, пропорциональной размерам элемента разрешения
8	Объединение 3D-контуров	3D-контуры объединяются, если расстояние между ними меньше заданного значения, пропорционально размерам элемента разрешения
9	Удаление малых 3D-контуров	3D-контур удаляется, если его размеры меньше заданного значения
10	Определение амплитуды и условных размеров дефекта	Максимум амплитуды определяется по исходному, неотфильтрованному изображению в области, ограниченной 3D-контуром
11	Удаление 3D-контуров несплошностей с низкой амплитудой	Удаляются 3D-контуры несплошностей с амплитудой ниже контрольного уровня
12	Определение типа несплошностей	Определяется превышение амплитудой несплошности контрольного и браковочного уровней и ее положение по толщине объекта контроля (наружная, внутренняя, подповерхностная). Также определяется, является ли несплошность объемной либо плоскостной
13	Сохранение списка найденных 3D-контуров несплошностей в базу данных	Все оставшиеся в результате работы алгоритма 3D- контуры несплошностей сохраняются в базу данных для текущего объекта контроля

В результате автоматического поиска ОЛН определяются следующие параметры для каждой несплошности:

- превышение браковочного уровня в дБ;
- расположение в объекте контроля по осям X , Y , Z в мм;
- условная протяженность в мм;
- протяженность по осям X , Y , Z в мм;
- тип несплошности.

После завершения поиска автоматически формируется заключение по результатам контроля. Данные УЗК в виде изображений и протокол работы программы автоматического поиска ОЛН могут быть использованы как приложение к заключению.

Задание

Провести сопоставительный анализ функциональных и метрологических особенностей ручного и автоматизированного ультразвукового контроля и сделать выводы. Изучить конструктивные особенности сканирующих устройств, имеющих в лаборатории акустического контроля на кафедре.

Содержание отчета

- 1 Цель выполнения.
- 2 Анализ функциональных и метрологических особенностей ручного и автоматизированного ультразвукового контроля.
- 3 Выводы.

Контрольные вопросы

- 1 Назовите основные преимущества механизированных и автоматизированных систем неразрушающего контроля.
- 2 Перечислите структурные составляющие типовых систем ультразвукового контроля.
- 3 Какие требования предъявляются к сканирующим устройствам в автоматизированных системах контроля?
- 4 Какие алгоритмы используются для распознавания типа дефекта и для дефектометрии?

Практическое занятие № 4. Изучение структуры и возможностей современных средств цифровой радиографии

Цель занятия: изучение современных средств и методов цифровой радиационной дефектоскопии.

Поиск новых средств и методов повышения объективности и надежности радиационного контроля был и остается одним из приоритетных направлений развития этого метода неразрушающего контроля. Огромные успехи, достигнутые в электронике и вычислительной технике, оказали воздействие на системы радиационного контроля промышленной продукции и, как следствие, привели к появлению полностью автоматизированных систем контроля.

Цифровую технику, используемую во многих системах радиационного контроля, удобно разделить на две основные группы: улучшения изображений и их анализа. И та и другая являются важными элементами автоматической оценки качества объекта контроля (ОК). Операция по улучшению изображения состоит в том, что входное изображение в результате обработки преобразуется в улучшенное изображение. При использовании операции анализа изображения входное изображение преобразуется в некоторую совокупность чисел. Эти числа могут быть значениями некоторого набора признаков, характеризующих изображение. Такими признаками могут быть площадь дефекта, его размеры и координаты и т. п.

Методы улучшения изображения связаны с тем, что при выделении информации, заключенной в световом изображении, например на рентгенограммах, наблюдатель не реагирует на некоторую ее часть (пороговый контраст, различимый глазом, $\approx 0,02 + 0,04$) и, следовательно, имеет место некоторая «избыточность» информации на рентгенограмме. Поэтому действительные возможности теневого изображения (в смысле извлечения максимального количества заключенных в нем сведений о просвечиваемом объекте) обычно реализуются не полностью. Ввиду этого вопросам повышения качества теневого изображения путем его коррекции в настоящее время уделяется достаточно большое внимание. Эффективность корректирующих процедур и их предельные возможности существенно зависят от соотношений между пороговыми характеристиками устройств, формирующих изображение, и характеристиками зрительного аппарата наблюдателя. Анализ докладов показывает, что достаточно высокая эффективность коррекции достигается за счет использования малощумящих средств, формирующих изображение, и низкоэнергетического рентгеновского излучения.

4.1 Перевод изображения на пленке в цифровую форму

Наиболее важными результатами оцифровки пленочных изображений являются корректировка изображений, количественный анализ и архивирование. Промышленные рентгеновские пленки используются для получения изображений с оптическими плотностями до 4 и иногда до 5. Кроме этого, рентгеновские пленки для НК характеризуются большим отношением сигнал/шум, определяемым стандартами EN 584, ISO 11699, ASTM E 1815–96. Преобразователь в цифровое изображение не только должен быть способен извлекать информацию из снимков с оптическими плотностями 4 или 5, но и не должен увеличивать шум изображения шумом собственного детектора. Он также

должен обладать очень высоким пространственным разрешением. Из-за большого диапазона энергии фотонов ($50 \div 12000$ кэВ), используемых в НК, при разработке требований к переводу изображения в цифровую форму было решено снизить требования по пространственному разрешению до нерезкости, создаваемой взаимодействием высокоэнергетического рентгеновского излучения с системой экран–пленка.

Так, преобразователь изображения на пленке в цифровую форму RADView Film Digitiser может обрабатывать все используемые в настоящее время форматы пленок шириной до 36 см и неограниченной длины с пространственным разрешением от 50 до 500 мкм. Пленка размером $36 \div 43$ см может быть обработана всего за 7 с.

Исходя из показателей качества изображения на рентгеновских пленках и из характеристик современных систем оцифровки изображений, были предложены три класса качества систем оцифровки.

Пользователь может выбрать класс систем исходя из задач оцифровки.

DS – улучшенная система, используемая для перевода изображения в цифровую форму без существенного ухудшения отношения сигнал/шум и пространственного разрешения. Область применения: цифровое архивирование пленок.

DB – система, допускающая некоторое ухудшение качества шифровки изображения. Область применения: цифровой анализ изображения и архивирование.

DA – основная система, допускающая снижение качества цифрового изображения и ухудшение пространственного разрешения при удовлетворении требований в соответствии со стандартами ISO 5579 и EN 444 при контроле класса А (основной метод).

Каталоги эталонных изображений на рентгенограммах, например ASTM E155 для отливок из легких сплавов и IIW ISO5817 для сварных швов, широко используются для обучения персонала по интерпретации рентгенограмм и для создания шкалы опасностей несплошностей в ОК. Новые детекторы, такие как РЭОП, люминесцентные платы, плоские панели детекторов и т. п., используемые в цифровой рентгенотехнике, во многих случаях заменяют рентгеновскую пленку

4.2 Радиоскопические цифровые системы

Главными преимуществами таких систем перед другими системами радиационного контроля являются экспрессность, простота оптимизации геометрии контроля, предпочтительность с точки зрения оцифровки изображений, техники безопасности и стоимости контроля. В этих системах в качестве детекторов используются:

- усилители яркости изображений;
- линейные дискретно-детекторные преобразователи;
- плоские панели детекторов с аморфным селеном (a-Se) и с аморфным

кремнием (a-Si);

– флюоресцентные экраны.

Системы с усилителями яркости изображений имеют диаметры входных экранов РЭОП от 40 до 400 мм с предельным разрешением примерно 10 пар линий/мм, твердотельную телевизионную камеру, компьютер, манипулятор. Цифровая часть таких систем позволяет улучшить отношение сигнал/шум в элементах выходного изображения путем интегрирования телевизионных кадров и запоминать изображение на жестком диске. По сравнению с обычной радиографией время контроля снижается в 5–7 раз.

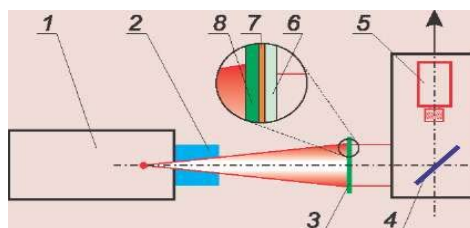
Плоский матричный детектор с покрытием из аморфного селена в сочетании с тонкопленочными транзисторами преобразует радиационное изображение непосредственно в цифровые сигналы без применения сцинтилляторов и люминофоров. Цифровое 14-битовое изображение размером 35÷43 см может наблюдаться в реальном времени на видеомониторе, передаваться по компьютерной сети, запоминаться и выводиться в виде твердой копии. При этом качество изображения приближается к качеству рентгенограммы на среднезернистой пленке.

Плоские матрицы из аморфного кремния используют сцинтиллятор, состоящий из иодида цезия или оксисульфида гадолиния, который преобразует падающее на него рентгеновское излучение в видимый свет. Световые фотоны преобразуются матрицей из аморфного кремния в электрический сигнал. Прогресс в технологии изготовления таких преобразователей и современное программное обеспечение позволили настолько улучшить отношение сигнал/шум в выходном изображении за счет суммирования по кадрам, что качество выходного изображения приблизилось к изображению, полученному с помощью a-Se-матриц. Эти матрицы менее чувствительны к условиям окружающей среды, что позволяет использовать их в полевых условиях. При одиночном снимке быстродействие a-Si-матрицы примерно в 4 раза выше, чем a-Se-матрицы.

В настоящее время разработано устройство плоской панели на основе конвертора из $Gd_2O_2S:Tb$, сочлененного с матрицей a-Si фотодиодов и тонкопленочными транзисторами. Размер окна 28 x 40 см, размер элемента изображения 127 мкм, цифровые уровни серого 14 бит, линейность по уровням серого от 40 до 400 кВ, динамический диапазон 3500:1 и более, время формирования кадра с его корректировкой 2,6 с, вес 9 кг, а также плоский матричный преобразователь на основе аморфного кремния (a-Si) фирмы General Electric. Вариант DXR-500 с размером элемента изображения 100 мкм при пространственной частоте 5 пар линий/мм имеет значения функции передачи модуляции свыше 20 %. Преобразователь обладает линейной характеристикой в широком диапазоне экспозиций: от менее чем 1 мР до более чем 60 мР при напряжении на трубке 80 кВ.

4.3 Высокоэнергетическая радиоскопия

Преобразователь с площадью входного экрана из $\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S:Tb}$ $0,48 \text{ м}^2$, размером элемента изображения $0,64 \text{ мм}$, который может использоваться в высокоэнергетической цифровой рентгентехнике. Пространственное разрешение преобразователя, полученное на линейном ускорителе на энергию 8 МэВ , примерно равно $0,5 \text{ пар линий/мм}$, а чувствительность радиационного контроля составляет 2% при просвечивании 30 см бетона, быстродействие – 9 кадров/с . Схема радиационно-телевизионной установки на основе этого преобразователя представлена на рисунке 4.1. Установка предназначена для контроля ракетных двигателей на твердом топливе, контейнеров.



1 – ускоритель; 2 – коллиматор; 3 – экран; 4 – зеркало; 5 – ПЗС-камера; 6 – конвертор $\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S:Tb}$; 7 – полистироловый слой; 8 – танталовый усиливающий экран

Рисунок 4.1 – Схема радиационно-телевизионной установки на основе входного экрана из $\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S:Tb}$

4.4 Люминесцентные платы

Компьютерная рентгенография с использованием слоя активированного европием галогенида бария (CR) начала применяться в практике контроля около 15 лет назад. Такой фотостимулированный фосфор способен запоминать (накапливать) часть поглощенной в нем энергии рентгеновского излучения, а также под действием света He-Ne-лазера испускать люминесцентное излучение, интенсивность которого пропорциональна поглощенной энергии. Фотоны люминесцентного излучения преобразуются в электрический сигнал, кодирующийся для получения цифрового изображения.

Итак, сканирующее устройство RADView CR Tower фирмы Agfa позволяет получать цифровое изображение с пластин размером $20 \div 25$ и $35 \div 43 \text{ см}$. Пластина в кассете, размещенная во входном устройстве сканера, внутренним механизмом изымается из кассеты и транспортируется в блок сканирования для получения цифрового изображения. Остаточное скрытое изображение на пластине стирается, она перемещается обратно в кассету, готовая к новой экспозиции.

4.5 Методы анализа изображений

Разработанные системы и методы позволили автоматизировать процесс анализа теневых изображений при просвечивании алюминиевых отливок для классификации их дефектов с целью разбраковки отливок.

Почти во всех известных системах автоматического распознавания дефектов в алюминиевых отливках придерживаются общей начальной стратегии:

- сегментируют возможные дефектные области теневых изображений;
- создают бездефектное эталонное изображение этих областей;
- строят разностное изображение, вычитая полученное эталонное изображение из исходного.

Далее перечислены наиболее важные проблемы, стоящие перед системами автоматического обнаружения дефектов в серийно изготавливаемых отливках:

- обнаружение очень малых дефектов, обладающих незначительным контрастом на рентгеновских снимках;
- обнаружение больших дефектов, имеющих низкую плотность почернения на радиограммах, замаскированных изображением элементов отливок.

Первая проблема связана с размером элемента цифрового изображения, вторая – с размером ядра обрабатывающего изображение фильтра и качеством данных, полученных системой при ее управляемом обучении. Разработанный авторами «обучаемый медианный фильтр (TMF)» устраняет все слабые стороны существующих методов автоматического распознавания дефектов литья по радиационным изображениям.

Задание

Проанализировать преимущества и недостатки цифровой радиографии и компьютерной топографии и обосновать выбор рентгеновских аппаратов.

Содержание отчета

- 1 Цель выполнения.
- 2 Преимущества и недостатки цифровой радиографии и компьютерной топографии и обоснование выбора рентгеновского аппарата.
- 3 Выводы.

Контрольные вопросы

- 1 Какие детекторы применяются для цифровой радиографии?
- 2 Из каких частей состоят системы цифровой радиографии?
- 3 Назовите преимущества цифровой радиографии с помощью запоминающих пластин.
- 4 Как подбирается время экспозиции пластин?

Практическое занятие № 5. Изучение структуры и возможностей акустико-эмиссионной системы

Цель занятия: изучение структуры и функциональных возможностей современных диагностических акустико-эмиссионных систем.

Средства АЭ-контроля по их сложности можно разделять на системы и приборы. Системы АЭ являются многоканальными сложными устройствами, представляющими собой совокупность аппаратных средств, вычислительных устройств и специализированного программного обеспечения и включающие как специализированные процессоры, так и универсальные ЭВМ.

Приборы производственного применения обычно регистрируют один-два параметра АЭ, они имеют относительно простую конструкцию и несложны в эксплуатации. Эти приборы используют, как правило, для контроля однотипных конструкций и процессов. Для контроля других объектов или процессов требуется перестройка схемы. Примером могут служить акустические течеискатели.

Системы АЭ-контроля – наиболее сложная аппаратура в рассматриваемой области. Принципиальные отличия систем: многоканальность – 4 ... 48 и более каналов; использование ЭВМ для обработки информации. Системы АЭ представляют собой развитие многофункциональных приборов АЭ и они построены по блочному принципу[11].

По своей структуре аппаратура АЭ внешне представляется весьма простой (рисунок 5.1).

Каждая АЭ-система содержит:

- преобразователи АЭ;
- предварительные усилители (предусилители) и основные усилители;
- средства идентификации и обработки сигналов, включая пороговые устройства, устройства выделения и измерения параметров сигналов АЭ, устройства регистрации и представления информации (блоки обработки сигналов АЭ);
- контроллеры.

В состав аппаратуры АЭ могут входить неспецифические элементы, блоки, каналы:

- ЭВМ;
- параметрические каналы, передающие информацию о нагрузке (давлении, усилии и др.), температуре и другую необходимую информацию, сопровождающую АЭ-контроль;
- датчики регистрации вспомогательных физических величин и другое оборудование с учетом особенностей использования;
- средства измерения вспомогательных параметров;
- каналы связи (радио и/или телефонные);
- телеметрические каналы, а также различного рода приспособления;
- кабельные линии.

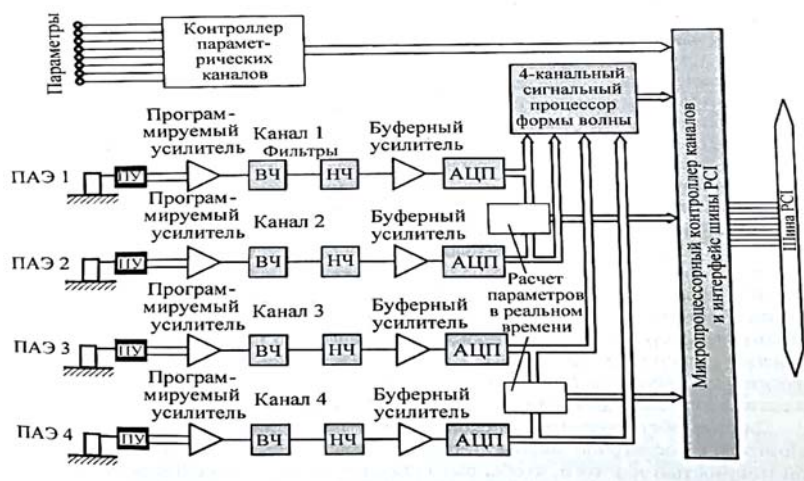


Рисунок 5.1 – Блок-схема 4-канального модуля системы АЭ

Совокупность элементов: преобразователь АЭ – кабель, соединяющий ПАЭ с предусилителем – предусилитель – кабель, соединяющий предусилитель с основным блоком – основной усилитель – блоки предварительной обработки АЭ-сигнала образует АЭ-канал.

Назначение предусилителя заключается в приеме сигнала АЭ от преобразователя, подготовке сигнала для передачи в основной блок для дальнейшей обработки. Предусилитель должен быть электрически согласован с преобразователем АЭ, с которым он соединен небольшим, не более 1 ... 1,5 м, отрезком радиочастотного кабеля. Цель такого электрического согласования заключается в максимизации передаваемой энергии сигнала АЭ и обеспечении увеличения отношения сигнал/шум.

Для уменьшения электрической емкости цепи, соединяющей ПАЭ с предусилителем, последний иногда размещают непосредственно в корпусе преобразователя. В таком случае преобразователь АЭ называют интегральным, т. е. интегрированным (совмещенным) с предусилителем.

Как правило, расстояние между ПАЭ (с предусилителем) и основным блоком должно быть достаточно большим – до нескольких десятков метров. Это связано с необходимостью обеспечения безопасности персонала при проведении объектов с использованием повышенного давления. При выполнении АЭ-контроля протяженных объектов (больших сосудов, трубопроводов и т. д.) расстояние между указанными элементами АЭ-канала также велико и может достигать сотен метров.

Данное обстоятельство предопределяет необходимость выполнения усилителя с достаточно малым выходным импедансом и обладающим достаточной мощностью для того, чтобы была обеспечена передача сигнала АЭ в основной блок для дальнейшей обработки. Вместе с развитием цифровой техники возможно будет выполнять полную предварительную обработку сигнала АЭ сразу после преобразователя, выделив необходимые параметры либо преобразовав сигнал АЭ в цифровую форму и обеспечив передачу сигнала в основной блок уже в цифровой форме. Это значительно повысит

помехоустойчивость и гибкость аппаратуры.

Существенным для построения оптимального приемника является необходимость априорного знания формы сигнала АЭ или его частотной характеристики. Поскольку каждый единичный импульс АЭ является индивидуальным, построение оптимального приемника практически невозможно. Можно говорить только о построении приемника, позволяющего наилучшим образом выделять некоторый класс сигналов АЭ. Поскольку аппаратура АЭ применяется для решения широкого круга задач, специальных мер по оптимизации приема сигналов АЭ в настоящее время не проводится. В связи с этим в большинстве приборов АЭ диапазон частот выбран равным от 20 ... 100 кГц до 2 ... 3 МГц.

В настоящее время наиболее распространенным диапазоном частот при АЭ-контроле компактных объектов (например, сосудов) является диапазон 100 ... 200 кГц, а для контроля трубопроводов – диапазон 10 ... 60 кГц.

Электромагнитные помехи имеют более широкий спектр частот и методами частотной фильтрации от них избавиться невозможно. Поэтому применяют экранирование элементов аппаратуры АЭ (преобразователей, кабельных линий, усилителей и др.), снижают уровень помех конструктивными и схемными решениями. Эффективным средством борьбы с электромагнитными помехами является выполнение ПАЭ и предусилителя по дифференциальной схеме. В борьбе с сетевыми помехами, распространяющимися по воздуху, помогает запираание усилителей во время действия помехи. Для этого в приборах должны быть специальные блоки.

В современных АЭ-системах для управления сбором, накоплением, представлением и анализом данных широко используются процессоры (мини-или микрокомпьютеры) и периферийные устройства. Это существенно усложняет аппаратуру АЭ, однако соответствует современным тенденциям использования вычислительной техники в радиоэлектронных устройствах. Следует подчеркнуть, что в АЭ-аппаратуре принципиально невозможно обходиться без применения вычислительных устройств, поскольку АЭ-сигнал является случайным по природе сигналом и прием, обработка сигналов и представление информации возможно только с использованием ЭВМ.

Блок обработки сигналов использует цифровой сигнальный процессор и обеспечивает полную обработку сигнала – усиление, частотную фильтрацию, оцифровку и вычисление параметров АЭ-сигналов. Проводится буферизация данных и передача их через системный модуль в блоки, которые содержат также цифровые сигнальные процессоры и являются интеллектуальными контроллерами системных модулей. Они выполнены в виде плат, устанавливаемых в слоты компьютера.

В большинстве случаев АЭ-системы используют программируемые, в том числе и цифровые, частотные полосовые фильтры, цифровую регулировку усиления, фиксированные и плавающие уровни порогов, режим автоматической проверки работоспособности электронных каналов и ПАЭ. Системы измеряют более 10...12 параметров АЭ-сигналов в широком динамическом диапазоне,

имеют малое потребление электроэнергии, сетевое и аккумуляторное питание.

АЭ-системы I класса, используемые для диагностики производственных объектов, имеют развитое программное обеспечение. Оно, как правило, включает программные средства, которые обеспечивают сбор данных, фильтрацию, корреляционную обработку (главным образом, для выявления утечек), обнаружение и фильтрацию электромагнитных помех (в том числе от высоковольтных линий электропередачи), локализацию дефектов с учетом затухания сигналов, автоматическую кластеризацию и определение характеристик кластеров, программу постобработки.

В настоящее время для АЭ-контроля промышленных объектов используется большая номенклатура приборов и систем. Они отличаются числом входных каналов, их частотными диапазонами и некоторыми другими параметрами в соответствии с типом используемых в них электронных плат. Рассмотрим модели серийно выпускаемых и сертифицированных промышленных АЭ-систем российского и зарубежного производства: DISP, SAMOS (Physical Acoustics Corporation, США), Малахит (НПФ «Диатон», Россия), A-Line 32D («Интерюнис», Россия), Valen AMSY-5 (Vallen System GmbH, Германия).

В аппаратуре фирмы PAC система PCI-2 построена на 2-канальных платах PCI-2. Данная система имеет выраженную направленность на научные исследования и содержит высокоскоростные 18-битные аналогово-цифровые преобразователи, способные работать на частотах до 40 МГц. АЭ-системы DiSP позиционируются как системы, одинаково хорошо подходящие и для исследований, и для промышленного использования. Эти системы построены на 4-канальных платах PCI/DSP-4 (16 бит, 10 МГц), которые спроектированы на основе синхронных цифровых сигнальных процессоров (DSP), регистрирующих как параметры сигналов АЭ, так и их форму.

Системы SAMOS, ориентированные на промышленное применение, построены на 8-канальных платах PCI-8 (16 бит, 1 МГц), имеют две модификации – PCI-8HF с диапазоном входных частот от 1 до 400 кГц и PCI-8LF 4 с диапазоном от 500 Гц до 20 кГц и преимущественно используются для анализа импульсных шумов звукового диапазона.

Кроме многоканальных (от 16 до 80 каналов) АЭ-систем, которые выпускаются на базе полноформатных переносных и промышленных компьютеров, фирмами-изготовителями выпускаются портативные (2...4-канальные) версии АЭ-систем. Фирмой PAC выпускаются microDiSP (от 4 до 8 каналов) и microSAMOS (от 8 до 24 каналов), обладающие меньшими габаритами и работающие совместно с ноутбуком через интерфейс PCMCIA, а также 2-канальные приборы PocketAE-2, построенные на базе карманного компьютера.

Отечественный производитель фирма «Диатон» в настоящее время выпускает спектр АЭ-приборов, в частности, систему Малахит AC-15 А. Это многоканальная (от 2 до 80 каналов) система комплектуется 2-, 12-, 18- и 40-канальными блоками и имеет интерфейс связи с управляющим компьютером по USB 2.0. АЭ-система Малахит AC-14А имеет 2 канала, расширяется до

четырёх блоков (8 каналов). Работает в автономном режиме (регистрация интегральных параметров АЭ) или совместно с компьютером по интерфейсу USB 1.1 как универсальная АЭ-система.

АЭ-система AMSY-5 (фирма Vallen Systeme GmbH) выполнена на современных высокопроизводительных интегральных микросхемах FPGA-DSP, которые способны выполнять до 420 млн операций в секунду и предназначены для определения АЭ-параметров в реальном масштабе времени. АЭ-система AMSY-5 имеет аналогово-цифровой преобразователь разрядностью 18 бит при частоте дискретизации 40 МГц, обеспечивает скорость регистрации АЭ-сигналов более 30 тыс. АЭ-событий в секунду. Она имеет светодиодную индикацию на передней панели, которая дает информацию о состоянии системы: пересечение порога, повреждение кабеля (отсутствие подсоединения предусилителя к системе), включение режима калибровки, очистки/заполнения буфера, активация/блокировка режима регистрации и т. д. При включении системы она автоматически определяет количество подключенных блоков AMSY-5, количество каналов и предлагает подходящие настройки. Несколько блоков AMSY-5 могут быть объединены в одну систему до 254 полностью независимых каналов.

Приборы и системы АЭ в настоящее время бурно прогрессируют, поэтому представленные данные условны и носят временный и ограниченный характер.

АЭ-системы традиционной архитектуры A-Line 32D (PCI-8), входящие в семейство A-Line 32D, выпускаемые фирмой «ИНТЕРЮНИС», представляют собой 8-канальные платы регистрации и обработки АЭ-данных (16 бит, 2 МГц).

Эти платы могут быть установлены в персональный или промышленный компьютер различной конфигурации. Данные АЭ в системах A-Line 32D (PCI-8) передаются с преобразователей АЭ через предусилители по коаксиальному кабелю на центральный блок сбора и обработки данных в аналоговом виде.

Наравне с развитием АЭ-систем традиционной архитектуры выпускаются многоканальные модульные АЭ-системы распределенного типа с цифровой передачей данных. Примером таких систем (до 96 каналов) являются Лель /A-Line 32D (DDM)/ (фирма «ИНТЕРЮНИС»). Основная особенность данных систем – размещение всей регистрирующей и вычислительной части не в компьютере, а в специальном модуле АЭ – устройстве, которое устанавливается непосредственно на объекте контроля. В системах Лель /A-Line 32D (DDM)/ передача преобразованных в цифровую форму АЭ-сигналов с вычисленными АЭ-параметрами, для отображения на основном блоке сбора данных (компьютере), осуществляется по последовательному высокоскоростному цифровому каналу передачи данных, позволяющему повысить помехоустойчивость системы АЭ и увеличить расстояние, на которое можно отнести преобразователи АЭ от основного вычислительного блока.

К основным задачам модуля сбора и формирования АЭ-параметров системы Лель /A-Line 32D (DDM)/ относят: прием акустических сигналов от преобразователей АЭ; измерение их энергетических и временных параметров;

формирование информационных посылок и цифровая передача данных по линии связи на блок сбора и обработки данных.

Модуль сбора и формирования АЭ-параметров представляет собой единое устройство, в состав которого входят:

- малошумящий предусилитель;
- переключаемые фильтры;
- усилитель с регулируемым коэффициентом усиления;
- аналогово-цифровой преобразователь;
- блок формирования АЭ-параметров, построенный на цифровом сигнальном процессоре (DSP) фирмы ANALOG DEVICES и микросхеме ПЛИС фирмы ALTERA;
- три параметрических канала;
- цифровое приемо-передающее устройство;
- двухцветный индикатор питания модуля, наличия опроса по линии и прихода АЭ-сигналов;
- встроенный блок питания.

Электрический сигнал, поступающий на вход модуля сбора и формирования АЭ-параметров, очень слабый (на уровне единиц, десятков единиц микровольт) и несет в себе не только полезную информацию, но и данные о посторонних шумах (механические и электромагнитные помехи). Эти шумы отличаются от полезного сигнала уровнем частот и амплитудой. Поэтому для их выделения и удаления используется метод частотной фильтрации, который в модуле сбора и формирования АЭ-параметров реализован в виде предусилителя и переключаемых низкочастотных (НЧ) и высокочастотных (ВЧ) фильтров. Предусилитель имеет фиксированный коэффициент усиления и усиливает не только полезный сигнал, но и посторонние шумы, а переключаемые фильтры позволяют устанавливать полосу частот фильтрации сигнала от помех для каждого материала, из которого сконструирован объект исследования.

После предварительной обработки полезный сигнал поступает на вход основного усилителя. Регулировка его коэффициента усиления, необходимая для адаптации входного сигнала к шкале АЦП, осуществляется аттенуатором. После усиления аналоговый сигнал поступает на АЦП, где преобразуется в цифровую форму. Коэффициент усиления и значения шкалы АЦП также могут задаваться оператором через ЭВМ.

Далее полезный сигнал, уже в виде цифрового кода, поступает на блок формирования АЭ-параметров, который представляет собой микросхему со встроенным сигнальным процессором DSP фирмы ANALOG DEVICES и ПЛИС фирмы ALTERA. Запуск блока формирования АЭ-параметров происходит при превышении сигналом порога дискриминации, который, в свою очередь, устанавливается оператором с помощью ЭВМ перед либо во время эксперимента индивидуально для каждого измерительного канала.

Блок формирования АЭ-параметров регистрирует:

- время регистрации АЭ-сигнала;
- время регистрации максимальной амплитуды АЭ-сигнала;

- время окончания АЭ-сигнала;
- энергию АЭ-сигнала;
- число превышений порога дискриминации.

Вышеописанная обработка полезного сигнала справедлива для всех каналов измерительной линии. Информационные посылки от каждого канала поступают на блок сбора и обработки данных, где они подвергаются окончательному преобразованию.

Следует отметить, что на последнем в линии канале к оставшемуся свободным разъему модуля сбора и формирования АЭ-параметров подсоединяют терминатор линии, который является согласованной нагрузкой для данной линии. Такая нагрузка обладает следующими полезными свойствами: бегущая волна, приходящая из линии, полностью поглощается в согласованной нагрузке, поэтому отражение волны обратно в линию отсутствует; входной импеданс линии, нагруженной на согласованную нагрузку, равен волновому сопротивлению линии. Согласованной нагрузкой в терминаторе выступает нагрузочный резистор [12].

Блок сбора и обработки данных построен на базе индустриального компьютера. В состав данного блока входят: платы контроллеров АЕС-DDM; основной и дополнительный блоки питания; панель для подключения линий модулей сбора и формирования АЭ-параметров с индикацией состояния линий.

Контроллер АЕС-DDM служит для управления и обработки данных, полученных с помощью информационных посылок с измерительных каналов, объединенных в линию. Количество линий в акустико-эмиссионной системе A-Line 32D определяется количеством плат контроллеров, установленных в блоке сбора и обработки данных. Конструктивно также предусматривается непосредственная установка плат контроллеров в корпус ЭВМ, что позволяет использовать в качестве вычислительного центра любой персональный компьютер.

Дополнительные блоки питания, входящие в состав блока сбора и обработки данных, используются для подачи напряжения питания (48 В) в измерительную линию. Данные блоки представляют собой платы управления питанием. На каждую плату приходится по две измерительной линии.

Не менее важную роль в акустико-эмиссионной системе контроля Лель /A-Line 32D (DDM)/ играет панель для подключения измерительных линий. Данная панель встроена в корпус блока сбора и обработки данных и содержит разъемы для подключения линий и индикацию их состояния: два светодиода зеленого и красного цвета для каждой линии. Управление состоянием индикаторов осуществляется с помощью контроллера АЕС-DDM.

В АЭ-системе обработка и анализ акустических сигналов осуществляются математическим обеспечением программы A-Line 32D.

Задание

Провести анализ функциональных возможностей современных систем акустико-эмиссионного контроля промышленных объектов и сделать выводы.

Изучить конструктивные особенности структурных составляющих системы контроля, имеющейся в лаборатории неразрушающего контроля.

Содержание отчета

- 1 Цель выполнения.
- 2 Анализ функциональных возможностей современных систем акустико-эмиссионного контроля промышленных объектов.
- 3 Выводы.

Контрольные вопросы

- 1 Что относится к техническим средствам АЭ-контроля?
- 2 Как классифицируются средства акустико-эмиссионного контроля?
- 3 Что является параметрами и техническими характеристиками аппаратуры?
- 4 Назовите основные структурные элементы аппаратуры АЭ.
- 5 Каково назначение основных структурных элементов аппаратуры АЭ?

Список литературы

- 1 **СТБ ЕН 970–2003.** Контроль неразрушающий сварных соединений. Визуальный метод. – Минск: Госстандарт, 2003. – 10 с.
- 2 **СТБ ИСО 6520–1–2004.** Сварка и родственные процессы. Классификация дефектов при сварке металлов. Ч. 1. Сварка плавлением. – Минск: Госстандарт, 2004. – 21 с.
- 3 **СТБ 1133–98.** Соединения сварные. Метод контроля внешним осмотром и измерениями. Общие требования. – Минск: Госстандарт, 1999. – 10 с.
- 4 **ГОСТ 8713–79.** Сварка под флюсом. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры. – Москва: Из-во стандартов, 1990. – 66 с.
- 5 **ГОСТ 5264–80.** Ручная дуговая сварка. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры. – Москва: Изд-во стандартов, 1996. – 62 с.
- 6 **ГОСТ 14771–76.** Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры. – Москва: Изд-во стандартов, 1992. – 60 с.
- 7 **ГОСТ 16037–80.** Соединения сварные стальных трубопроводов. Основные типы, конструктивные элементы и размеры. – Москва: Изд-во стандартов, 2000. – 23 с.
- 8 **ТКП 45–1.03–103–2009.** Краны грузоподъемные. Капитальный, полнокомплектный и капитально-восстановительный ремонты. Правила выполнения. – Минск: Стройтехнорм, 2009. – 78 с.
9. **Шур, М. Л.** Магнитостатическое поле дефекта, расположенного в плоскопараллельной пластине / М. Л. Шур, В. Е. Щербинин // Дефектоскопия. – 1977. – № 3. – С. 92 – 96.
- 10 **Новокрещенов, В. В.** Неразрушающий контроль сварных соединений в машиностроении : учебное пособие для академ. бакалавриата / В. В. Новокрещенов, Р. В. Родякина; под науч. ред. Н. Н. Прохорова. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва: Юрайт, 2017. – 274 с.
- 11 **Иванов, В. И.** Акустико-эмиссионная диагностика : справочник / В. И. Иванов, В. А. Барат. – Москва : Спектр, 2017. – 368 с.
- 12 **Кравченко, Е. Г.** Методы контроля качества в машиностроении: учебное пособие / Е. Г. Кравченко. – Старый Оскол: ТНТ, 2017. – 132 с.