

АНАЛИЗ ФИЗИЧЕСКИХ ОСНОВ НЕРАЗРУШАЮЩИХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ СУДОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

Наливайко А.В.¹, Сюсюка Е.Н.² Email: Nalivajko1136@scientifictext.ru

¹Наливайко Антон Викторович – студент,
кафедра информационных систем и технологий, факультет эксплуатации водного транспорта и судовождения;

²Сюсюка Елена Николаевна – кандидат технических наук, доцент,
кафедра физики, судомеханический факультет,
Государственный морской университет им. адмирала Ф.Ф. Ушакова,
г. Новороссийск

Аннотация: в статье приводится обзор наиболее используемых в судостроении и судоремонте неразрушающих методов контроля. Неразрушающий контроль используется для оперативной диагностики судовых технических средств во время плавания, а также для глубокой диагностики, прогнозирования дальнейших поломок. В первой части статьи описываются краткая история неразрушающего контроля, его развитие. Во второй части описаны физические основы магнитного, акустического, капиллярного, радиационного, токовихревого контроля.

Ключевые слова: неразрушающий контроль, акустический контроль, капиллярный контроль, радиационный контроль, токовихревой контроль.

ANALYSIS OF PHYSICAL FUNDAMENTALS OF NONDESTRUCTIVE METHODS CONTROL OF VESSEL TECHNICAL MEANS

Nalivajko A.V.¹, Sjusjuka E.N.²

¹Nalivajko Anton Viktorovich – Student,
DEPARTMENT OF INFORMATION SYSTEMS AND TECHNOLOGIES, FACULTY OF WATER TRANSPORT OPERATION AND NAVIGATION;

²Sjusjuka Elena Nikolaevna - PhD in Technical Sciences, Associate Professor,
DEPARTMENT OF PHYSICS, MARINE ENGINEERING FACULTY,
ADMIRAL USHAKOV STATE MARITIME UNIVERSITY,
NOVOROSIYSK

Abstract: the article gives an overview of the most nondestructive testing methods used in shipbuilding and ship repair. Nondestructive testing is used for operational diagnostics of shipboard technical means during navigation, as well as for deep diagnostics, predicting further breakdowns. The first part of the article describes a brief history of non-destructive testing, its development. The second part describes the physical foundations of magnetic, acoustic, capillary, radiation, eddy current control.

Keywords: nondestructive control, acoustic control, capillary control, radiation monitoring, eddy current control.

УДК 53.02

История неразрушающего контроля уходит своими корнями вглубь веков. Есть мнение, что впервые неразрушающий контроль упоминается в библейской книге Бытия. При описании процесса создания в Главе 1 шесть раз повторяется выражение «и увидел Бог, что это хорошо». Этот первый своеобразный «неразрушающий тест» в наши дни назвали бы термином **визуальный контроль**.

Нельзя назвать точную дату, когда неразрушающий контроль стал наукой. За много лет до того, как было использовано выражение «неразрушающий контроль», люди осматривали объекты, чтобы определить размер, форму и наличие визуальных дефектов поверхности, кузнецы «прислушивались» к металлу, определяя по звону его качество и пригодность. Во времена Древнего Рима для поиска трещин в мраморных плитах мастера использовали муку и масло. Этот тест можно считать прародителем **капиллярной дефектоскопии**. Врачи простукивали и прослушивали тела пациентов, пытаясь поставить правильный диагноз.

Американский ученый Роберт К. Макмастер, стоявший у истоков зарождения неразрушающего контроля как науки, называл человеческое тело «самым уникальным инструментом неразрушающего контроля». Зрение позволяет нам проводить визуальный контроль, слух позволяет принимать решения, основанные исключительно на специфике звука. Благодаря обонянию мы можем достаточно легко определить состояние различных продуктов, а благодаря нашим вкусовым рецепторам - определить их вкус. Осязание позволяет определить состояние поверхности различных объектов, а также их температуру.

Промышленная революция, начавшаяся в Великобритании в XVIII веке и охватившая затем всю Европу и Северную Америку, повлекла за собой и большое количество техногенных аварий и катастроф,

которые уносили большое количество человеческих жизней. Основные технологические достижения во время промышленной революции подразумевали использование энергии пара, для получения которого использовались новые виды топлива: уголь и нефть. Паровые котлы использовались достаточно широко, но основные термодинамические принципы еще не были полностью изучены. Только в Америке за пять лет с 1898 по 1902 год произошло 1600 взрывов: котлы взрывались на фабриках и заводах, тонули пароходы. Все эти трагические события привели к тому, что в 1915 году первое издание Американского общества инженеров-механиков котлов и сосудов под давлением опубликовало в своем журнале соответствующий кодекс котельных, который требовал проведения обязательного регулярного визуального контроля котлов.

С давних времен ученые-исследователи в области физики, математики, материаловедения, пытались проникнуть за грань материального, научиться с большой долей вероятности выявлять дефекты объекта и при этом не разрушать сам объект, предсказывать возможные разрушения.

Вторая мировая война стала переломным моментом в истории развития неразрушающего контроля. Основным методом по-прежнему остается визуальный контроль, но более широко начинают использоваться рентген, зеркала, эндоскопы. Для проверки военной техники начали широко использоваться флуоресцентные проникающие. Применение ультразвука для испытания материалов в ходе войны было ограничено, поскольку оборудование все еще находилось в стадии разработки. Первое эхо-импульсное оборудование было разработано примерно в 1942 году [1, 2].

Неразрушающий контроль — контроль надежности основных рабочих свойств и параметров объекта или отдельных его элементов/узлов, не требующий выведения объекта из работы либо его демонтажа.

Согласно ГОСТу 18353-79 различают следующие методы неразрушающего контроля: магнитный, электрический, вихретоковый, радиоволновой, тепловой, оптический, радиационный, акустический и молекулярный [3].

Методы неразрушающего контроля применяются во многих промышленных сферах производства: в строительстве, на железной дороге (для выявления дефектов рельс), в авиастроении, судостроении и судоремонте.

Так, в судостроении и судоремонте методы неразрушающего контроля используются для выявления дефектов судовых запчастей и механизмов, для проверки сварных швов и корпуса судна. Рассмотрим физические основы некоторых методов неразрушающего контроля.

Магнитный метод контроля.

Магнитная дефектоскопия основана на выявлении магнитных силовых линий, которые меняют свою траекторию, когда проходят через дефект. При отсутствии дефекта силовые линии распространяются параллельно, без изменения траектории. Применяется к деталям из ферромагнита.

Существует два способа магнитного контроля: индукционный и магнитно-порошковый, который в свою очередь делится на сухой и мокрый.

«При индукционном методе дефект обнаруживают с помощью специального устройства. Электромагнит имеет намагничивающую катушку. Между полюсами магнита, в прорезях которых расположены поисковые катушки, вращается диск. Изменение электродвижущей силы, свидетельствующее о наличии дефекта, определяют по отклонению стрелки чувствительных гальванометров».

При сухом способе используется магнитный порошок, который посыпают на исследуемую поверхность. В мокром способе деталь намагничивают и смачивают суспензией, в состав которой входит магнитный порошок, находящийся во взвешенном состоянии. На местах дефекта под действием магнитных силовых линий порошок скапливается на месте повреждения, образуя рисунок в виде полосок или цепи [4].

Акустический метод контроля.

Ультразвуковой дефектоскопия является одним из самых используемых методов акустического неразрушающего контроля. Ультразвуковые колебания – колебания с частотой более 20 кГц. На практике используются колебания с частотой от 0,5 до 10 МГц.

При этом методе контроля используется два пьезоэлектрических преобразователя, один из которых выполняет функции излучателя, а другой приемника.

Существует несколько видов ультразвуковой дефектоскопии: импульсный эхо-метод, метод звуковой тени, зеркально-теневой, эхо-зеркальный, и резонансный. Рассмотрим наиболее используемые методы.

Эхо-метод заключается в выявлении волн, отражающихся от дефекта. Посылаются короткие сигналы-импульсы, которые при отсутствии дефекта в детали отражаются в виде эхо-луча. Если же импульсу встречается дефект, то импульс отражается в виде сигнала на экране осциллографа.

Преимущества данного метода состоят в том, что он имеет высокую точность определения координат дефекта, его глубину.

Метод звуковой тени заключается в направлении ультразвука от излучателя к приемнику, расположенному строго противоположно по другую сторону исследуемой детали. Если на пути ультразвукового потока встречается дефект, то приемник регистрирует более слабый сигнал или же его отсутствие, чем на участке без дефекта.

Этот метод имеет преимущество перед эхо-методом, так как позволяет обнаружить дефекты, расположенные под наклоном.

Зеркально-теневого метод схож с теневым методом, только здесь преобразователь и генератор находятся на одной поверхности изделия, а не по разные стороны. В отличие от теневого метода, регистрируется не прямой поток волн, а поток, который отражается от второй поверхности изделия.

Этот метод получил применение в выявлении дефектов, расположенных в корне сварного шва [4, 5].

Капиллярный метод

Капиллярный метод дефектоскопии может быть цветным и люминесцентным.

Суть метода заключается в следующем: проникающую жидкость- индикаторный пенетрант - наносят на очищенную, сухую поверхность детали. Пенетрант под действием капиллярного эффекта заполняет всю полость трещины. Через некоторое время поверхность детали очищают от проникающей жидкости. При этом в трещинах жидкость остается. Затем на поверхность детали наносится проявитель, который вытесняет жидкость из трещин на поверхность (происходит своеобразное «впитывание» жидкости). В результате на поверхности мы получаем индикаторный рисунок, указывающий местоположение трещины.

При цветном способе образуется красный рисунок на местах дефекта, ширина которого на порядок больше, чем ширина трещины.

При люминесцентном способе образуется индикаторный рисунок, который можно наблюдать под действием ультрафиолетовых лучей [6].

Радиационные методы

Методы основаны на свойствах электромагнитных волн. Рентгеновские и гамма лучи имеют способность проникать через твердые тела, что позволяет обнаруживать внутренние дефекты деталей и выявлять дефекты сварных швов.

Данным методом возможно выявить дефекты, расположенные на глубине до 0,5 метра. Контроль осуществляется с помощью рентгеновских и гамма-дефектоскопов.

Существуют фотографический, визуальный и ионизационный вид радиационного контроля. Самым распространенным считается фотографический.

Фотографический метод радиационного контроля заключается в прохождении рентгеновских лучей на фотографическую пленку, которая расположена напротив дефектоскопа. Интенсивность лучей на фотопленке зависит от того, есть ли дефекты в детали. Лучи, проходящие через трещины и другие дефекты, ослабляются меньше лучей, проходящих через целый материал. В результате этого на фотопленке появляются темные пятна, которые дают понять место расположения дефекта.

Вихрековый метод.

Данный метод основан на анализе изменения электромагнитного поля вихревых токов под действием объекта, над которым ведется контроль.

Возбудителем вихревого тока здесь является катушка индуктивности, подключенная к источнику переменного тока. Переменный ток создает переменное магнитное поле вокруг катушки и наводит в ней ЭДС самоиндукции.

Во время контакта катушки с деталью, магнитное поле катушки возбуждает вихревые токи на площади, сопоставимые с формой катушки.

Вихревые токи детали создают собственное переменное магнитное поле, которое возбуждает в катушке ЭДС (стороннюю ЭДС). Складываясь, обе ЭДС самоиндукции в катушке и сторонняя ЭДС создают результирующее магнитное поле, которое на дефектных и бездефектных поверхностях имеет разную величину, и, измеряя его амплитуду и фазу, судят о наличии дефекта.

Комплект универсальных переносных средств диагностирования можно условно разделить на две группы: судовой комплект и береговой.

В первый входят: индикатор состояния подшипников, измеритель шума и вибрации, эндоскоп, цифровой термометр, толщиномер, пневмоиндиктор, индикатор количества воды в масле, набор дефектоскопических материалов, дистанционный инфракрасный измеритель температуры и прибор для измерения эффективности сжигания топлива.

В береговой комплект входят:

- Ультрафиолетовый облучатель, который используется в люминесцентной дефектоскопии для обнаружения трещин.

- Ультразвуковой дефектоскоп общего назначения – для выявления внутренних дефектов, определения их координат. Используются дефектоскопы ДУК-66ПМ, УД-24. С их помощью происходит контроль коленчатых, гребных и промежуточных валов; гребных винтов, баллеров рулей и т.д.

Также, с помощью ультразвуковых толщиномеров определяют толщину изношенной обшивки корпуса судна

- Портативный токовихревой дефектоскоп – контроль кромок пазов, отверстий.
- Магнитный дефектоскоп - используется для контроля резьбовых участков шпилек, штоков, поверхностных трещин в зубьях цилиндрических зубчатых колес крупного модуля.
- Магнитный толщиномер – для контроля толщины лакокрасочных покрытий. Измеряемая толщина покрытия на ферромагнитных материалах от 0 до 22 мм [6, 7].

Список литературы / References

1. *Hellier C.J.* Handbook of nondestructive evaluation. New York, NY: McGraw-Hill; 2001
2. *Cross, W.*, 1990. The Code — An Authorized History of the ASME Boiler and Pressure Vessel Code. New York, N.Y.: ASME International.ГОСТ 18353-79. Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов.
4. Технология и организация судоремонта Автор: *Малиновский М.А.* Издательство: Транспорт, 1973. Страниц: 264.
5. *Зоркин А.Я., Масленникова М.В., Ткаченко В.О., Филатов Г.Г.* В сборнике: Актуальные вопросы науки и техники сборник научных трудов по итогам III международной научно-практической конференции, 2016. С. 50-52.
6. *Пальчик К.Б.* Безразборные методы диагностики судовых машин и механизмов: учебное пособие. Новороссийск: МГА им. адм. Ф.Ф. Ушакова, 2010. 96 с.
7. *Маницын В.В* Технология ремонта судов рыбопромыслового флота. М.:Колос, 2009. 536 с.
8. Неразрушающий контроль деталей вагонов: учеб. пособие/ И.И. Лаптева, М.А. Колесников. Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2012.