

ОБЗОР МИРОВОГО РЫНКА ПРИБОРОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ. ГАММА-ДЕФЕКТОСКОПИЯ

Чепайкин Иван Алексеевич
НИЯУ МИФИ,
г. Москва

OVERVIEW OF THE GLOBAL MARKET OF NON-DESTRUCTIVE CONTROL DEVICES. GAMMA FLAW

I. Chepaykin

Annotation

The article is devoted to analysis of the market gamma radiography – the method of non-destructive testing, the principle of operation is based on the exposure of the controlled object to the film as a result of exposure to gamma radiation. Presented and analyzed the table of recommended use cases non-destructive testing methods. It analyzes the global and Russian markets gamma radiography. Formulated market trends change gamma radiography in Russia and the action to be taken for the development of this market.

Keywords: nondestructive testing, gamma flaw, gamma radiography, NDT, radiation sources, defects in welds.

Аннотация

Статья посвящена анализу рынка гамма-радиографии – методу неразрушающего контроля, принцип работы которого основан на экспонировании контролируемого объекта на пленку в результате воздействия гамма-излучения. Приведена и проанализирована таблица рекомендуемых сценариев использования методов неразрушающего контроля. Проанализирован глобальный и Российский рынки гамма-радиографии. Сформулированы тенденции изменения рынка гамма-радиографии в России и действия, которые необходимо предпринять для развития этого рынка.

Ключевые слова:

Неразрушающий контроль, гамма-дефектоскоп, гамма-радиография, NDT, ИИИ, дефекты сварных швов.

Введение

Надежности и долговечности таких ответственных объектов, как атомные и тепловые электростанции, электронные приборы и космические ракеты, надводные и подводные корабли, самолеты и вертолеты, тысячекилометровые магистральные трубопроводы, в значительной мере способствуют неразрушающие методы дефектоскопии, позволяющие осуществлять не только выборочный контроль, но и сплошную проверку серийной продукции.

1. Методы и приборы неразрушающего контроля (NDT-методы) промышленной продукции.

1.1. Методы неразрушающего контроля (NDT-методы).

Промышленная дефектоскопия – это тестирование изделий на наличие дефектов, определение плотности/однородности материала с применением методов неразрушающего контроля (Non-Destructive Testing – NDT). Так, проверяют материалы (металлы, бетон, стекло, керамику), запчасти, сварочные швы.

Различают следующие основные методы неразруша-

ющего контроля:

1. Радиография: при помощи рентген-излучения или гамма-излучения (Gamma-ray; с использованием гамма-излучающих источников ионизирующего излучения – изотопов Ir-192, Co-60, Se-75, Yb-169, Cs-137);
2. Ультразвуковой контроль;
3. Акустический контроль;
4. Магнитопорошковый контроль;
5. Капиллярный контроль проникающими веществами;
6. Вихретоковый контроль;
7. Визуальный контроль;
8. Другие специфические методы (например, метод ферромагнитного числа, гидростатического давления и др.).

Краткое описание методов неразрушающего контроля [1]:

◆ Рентген-радиография (X-RAY) – дефектоскопия изделий при помощи двумерных рентген-снимков в стационарных условиях; в основном тестируют заводские продукты.

◆ Гамма-радиография – дефектоскопия изделий при помощи двумерных снимков в полевых условиях; в основном тестируют трубы и сварные швы нефтегазовой

и атомной отрасли.

◆ Ультразвуковой контроль – дефектоскопия материалов при помощи ультразвуковых волн (например, сплавов металлов, цемента, дерева, композитов).

◆ Магнитопорошковый контроль – выявление легких повреждений в изделиях из ферромагнитных материалов (с низкой проводимостью) путем намагничивания внешним полем.

◆ Капиллярный контроль – диагностика поверхностей всех непористых материалов.

◆ Визуальный контроль – плановый визуальный осмотр различного оборудования, труб на предмет работоспособности, с использованием оптических приборов или видеоаппаратуры.

◆ Вихретоковый контроль – определение дефектов в проводящих материалах методом электромагнитной

индукции.

◆ Метод ферромагнитного числа – определение наличия повреждений в изделиях из стали путем вычисления специального показателя, Ferrite Number.

◆ Контроль под гидростатическим давлением – Выявление утечки в трубах и других изделиях, путем заполнения изделия жидкими веществами.

1.2. Области применения NDT-методов.

В табл. 1. приведены рекомендуемые сценарии применения методов неразрушающего контроля [2].

Из таблицы №1 следует, что:

1. В случаях, когда дефект определяется в объеме, используется либо радиография, либо ультразвуко-

Таблица 1/1.

Рекомендуемые сценарии применения методов неразрушающего контроля.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ:

1 - все, или наиболее стандартные техники позволят найти дефект в практически любых условиях.

2 - одна или несколько стандартных техник позволят найти дефект при определённых условиях.

3 - Специальные техники, условия и/или квалификация персонала необходимы для нахождения дефекта.

Дефекты и методы неразрушающего контроля, наиболее пригодные для их выявления	Визуальный контроль	Капиллярный контроль	Магнитно-порошковый контроль	Вихретоковый контроль	Радиография	Ультразвуковой угловой	Ультразвуковой прямой	Акустический	Ультразвуковой толщиномерный
Эксплуатационные дефекты:									
Вызываемый трением износ (локальный)	1	2	2		1	2	2		2
Износ перегородки (диффузора) радиатора	1			2					
Трещины от усталости материала, дополненные коррозией	3	2	1		3	1		1	
Коррозия (щель)	1								3
Общая - однородная				3	2		2		1
Питинговая коррозия (в виде раковин)	1	1	3		1	3	3	2	3
Выборочная	1	1	3						3
Ползучесть металла (первичная)									
Эрозия (разъедание)	1				1	3	2		2
Трещины от усталости материала	3	1	1	2	2	1		1	
Разъедание (тюбинг радиатора)	2			2					2
Горячие трещины		2	2		2	3		2	
Деструктивная гидрогенизация		2	2		3	2		2	
Межкристаллические трещины (от внешнего воздействия и коррозии)						3			
Внутрикристаллические трещины (от внешнего воздействия и коррозии)	3	2	1	3	2	2		2	

Таблица 1/2.

Рекомендуемые сценарии применения методов неразрушающего контроля.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ:

1 - все, или наиболее стандартные техники позволят найти дефект в практически любых условиях.

2 - одна или несколько стандартных техник позволят найти дефект при определённых условиях.

3 - Специальные техники, условия и/или квалификация персонала необходимы для нахождения дефекта.

Дефекты и методы неразрушающего контроля, наиболее пригодные для их выявления	Визуальный контроль	Капиллярный контроль	Магнитно-порошковый контроль	Вихретоковый контроль	Радиография	Ультразвуковой угловой	Ультразвуковой прямой	Акустический	Ультразвуковой толщиномерный
<i>Сварочные дефекты:</i>									
Прожиги	1				1	2			3
Трещины	3	1	1	2	2	1	3	1	
Чрезмерное/несоответствующие уплотнение	1				1	2	3		3
Примеси (шлак, вольфрам...)					1	2	3	3	
Недостаточное сплавление	2				2	1	2	2	
Недостаточное проникание	2	1	1	2	1	1	2	2	
Неточное совмещение	1				1	2			
Нахлест	2	1	1	3		3			
Пористость	1	1	3		1	2	3	3	
Вогнутость	1				1	2	3	3	3
Поднутрение	1	2	2	3	1	2	3	3	
<i>Дефекты формы продукта:</i>									
Разрыв (ковка)	3	1	1	2	2	2	2	1	
Корольки (застывшие брызги металла) (литье)	3	1	1	3	1	2	2	3	
Трещины (все формы продукта)	3	1	1	2	2	2	3	1	
Горячая трещина (литье)	3	1	1	2	2	2	3	3	
Примеси (все формы продукта)			2	2	1	2	3	3	
Расслоение (пластины/трубы)	3	2	2			3	1	3	1
Напуск (ковка)	3	1	1	3	2		3	3	
Пористость (литье)	1	1	2		1	3	3	3	
Швы (арматурные трубы)	3	1	1	2	3	1	2	3	

вые/акустические методы.

2. Если дефект определяется на поверхности, то применяют методы визуального, капиллярного, магнитно-порошкового либо вихретокового контроля (в зависимости от целей анализа). Иногда совмещают методы, например, при исследовании износа изделия может подойти визуальный метод (поверхностный), а в случае более сложного анализа может потребоваться радиографический контроль. Коррозия лучше всего определяется магнитопорошковым и ультразвуковым методом.

3. Если рассматривать эксплуатационные дефекты, сварочные дефекты и дефекты формы продукта, то радиография наиболее актуальна при диагностике сварочных дефектов.

4. Радиография лучше других методов позволяет определить неточность совмещения, примеси, определенные виды коррозии и эрозии, прожиги и др.

Рентген-радиография позволяет получить более высокое качество анализа, по сравнению с гамма-радио-

графией, но рентген-оборудование значительно дороже и недостаточно мобильно (из-за больших габаритов и работы от электросети).

В случае необходимости радиографического исследования в стационарных условиях часто используется рентген-оборудование, в полевых – гамма-дефектоскопы. Основную конкуренцию гамма-дефектоскопам (в полевых условиях) составляют ультразвуковые/акустические методы контроля. Если допустим поверхностный анализ, то применяются такие методы, как визуальный, магнитопорошковый, вихретоковый, капиллярный методы контроля.

1.3. Радиографический метод (гамма-дефектоскопы).

Просвечивание материалов, изделий и конструкций гамма-излучением радиоактивных изотопов позволяет выявить в них скрытые пороки (нарушение сплошности или однородности), а также отклонения в форме и размерах деталей и механизмов, не доступных внешнему осмотру и непосредственному измерению.

В гамма-дефектоскопах используются закрытые источники излучения, представляющие собой радиоактивное вещество, заключенное в герметичную металлическую оболочку (ампулу), исключающую непосредственный контакт радиоактивного вещества с внешней средой.

Выявление дефектов при этом основано на различном ослаблении излучения, проходящего через бездефектные участки просвечиваемого объекта и участки, имеющие дефекты, например, раковины, поры, посторонние включения и т.п. Излучение, прошедшее через такие участки, имеет, таким образом, теневое изображение скрытого строения контролируемого объекта.

Радиографическому контролю подвергаются изделия с различной технологией изготовления (литые, сварные, паянные, кованные, прессованные, штампованные, клепанные и др.) для определения в них возможных пороков в виде раковин и участков, плотность или химический состав которых отличны от плотности или химического состава основного материала.

Для просвечивания промышленных изделий гамма-излучением радиоактивных изотопов применяются специальные аппараты, которые называются гамма-дефектоскопами. Гамма-дефектоскоп, в общем случае, представляет собой радиационно-защитное устройство с источником гамма-излучения, системой управления выпуском и перекрытием пучка излучения, системой сигнализации о положении источника и затвора и средствами ориентации пучка излучения относительно объекта контроля. В комплект гамма-дефектоскопа входят, также,

вспомогательное оборудование и принадлежности (транспортные тележки, штативы для крепления радиационной головки, контейнеры для безопасного транспортирования и перезарядки источников излучения и др.)

Выпускают гамма-дефектоскопы двух видов:

- ◆ Гамма-дефектоскопы универсальные, шлангового типа. В них источник излучения подается к месту контроля по шлангу-ампулопроводу.
- ◆ Гамма-дефектоскопы, предназначенные для фронтального и панорамного просвечивания (ампула не выходит за пределы радиационной головки).

В аппаратах шлангового типа пучок излучения формируется с помощью сменных коллимирующих головок. Защитные блоки радиационных головок, контейнеры и коллиматоры гамма-дефектоскопов изготавливают из свинца, сплавов на основе вольфрама, обедненного урана или их комбинаций [3].

Гамма-дефектоскопы для контроля качества промышленных изделий позволяют достичь необходимые характеристики выпускаемой продукции, повысить надежность работы деталей, механизмов, конструкций и установок, предотвратить возможность возникновения аварий, сократить брак и тем самым расход материалов путем корректировки технологических процессов на основе результатов просвечивания.

Многие гамма-дефектоскопы полностью автономны, т.е. не требуют подведения энергии извне, что обеспечивает их успешное использование при отсутствии электроэнергии, например, в полевых и монтажных условиях, при ремонтно-восстановительных работах.

Благодаря своей компактности гамма-дефектоскоп позволяет проникать в такие труднодоступные места, как корабельные отсеки с узкими лазами, междудонное пространство корпуса корабля, сложные переплетения трубопроводов и т.п.

По своей простоте в использовании, гамма-дефектоскопы значительно превосходят аппаратуру, применяемую при других методах неразрушающего контроля.

Гамма-дефектоскопы должны изготавливаться трех классов:

Р – переносные гамма-дефектоскопы, общая масса рабочих блоков которых не превышает 30 кг;

М – передвижные гамма-дефектоскопы, помещенные на колесах, тележке и т.п., передвижение которых по ровной горизонтальной поверхности требует усилия не более 300 Н (33 кгс);

Ф – стационарные гамма-дефектоскопы, прочно установленные или имеющие ограниченные возможности

движения при применении усилия более 300 Н (33 кгс) [4].

Основной частью гамма-дефектоскопа является радиационная головка, в которой находится источник гамма-излучения. Чаще всего радиационная головка, экранирующая излучение источника, выполнена или из обедненного урана, или из вольфрама, то есть, из материалов с максимальным поглощением гамма-излучения.

2. Объем и структура мирового рынка приборов и услуг неразрушающего контроля.

2.1. Мировой рынок гамма-дефектоскопов.

Дополнительным толчком к росту рынка послужил переход на новые, более многофункциональные и дорогие приборы, в том числе гамма-дефектоскопы. По мнению многих экспертов, ультразвуковые методы неразрушающего контроля могли бы заменить 50% современной гамма-радиографии, еще 25% можно заменить современными рентген-методами неразрушающего контроля [2]. К сдерживающим факторам можно отнести нехватку кадров, обученных технологически сложным методам неразрушающего контроля, и высокая стоимость таковых. Цены на гамма-дефектоскопы начинаются от 15 тысяч долларов без учета транспортных расходов и без учета стоимости источника ионизирующего излучения.

Прогноз соотношения оборота от продажи всего оборудования для неразрушающего контроля к обороту от продажи радиографического оборудования, в т.ч. и рентген оборудования [5] на 2020 год представлен на (рис. 1).

Соотношение оборота от продажи всего оборудования для неразрушающего контроля к обороту от продажи радиографического оборудования. Прогноз на 2020 г.

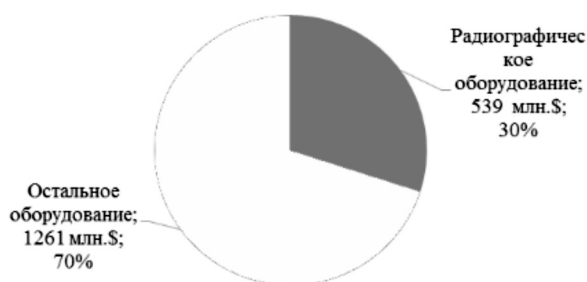


Рисунок 1. Соотношение оборота от продажи всего оборудования для неразрушающего контроля к обороту от продажи радиографического оборудования. Прогноз на 2020 г.

Таким образом, если рассматривать обороты от реализации оборудования неразрушающего контроля, то приборы для радиографии занимают около 30% рынка,

причем в этом сегменте явный перевес в сторону рентген-оборудования (в стоимостном выражении). На данный момент, мировой объем продаж гамма-дефектоскопов и комплектующих не превышает 75 миллионов долларов (около 14% от продаж другого радиографического оборудования).

2.2. Компании производители гамма-дефектоскопов.

Непосредственно на рынке гамма-дефектоскопов, кроме российских производителей (ЗАО ЭМИ, НИИТФА) существуют, как минимум, 7 производителей гамма-дефектоскопов (QSA, SPEC, INC, NTP, BRIT, DDYG, KBFI-UNIO Ltd).

Список компаний производителей гамма-дефектоскопов представлен ниже:

1. ЗАО "ЭМИ" <http://www.jssemi.ru/>
2. АО "НИИТФА" <http://www.niitfa.ru/>
3. Dandong Yangguang Instrument Co., Ltd (DDYG) <http://www.ddyg.com/en/product/>
4. Source Production & Equipment Company Inc. (SPEC) <http://www.spec150.com/>
5. QSA-GLOBAL <http://www.qsa-global.com/>
6. Board of Radiation & Isotope Technology (BRIT) <http://www.britatom.gov.in/>
7. INDUSTRIAL NUCLEAR COMPANY (INC) <http://www.ir100.com/>
8. NTP Radioisotopes SOC Ltd <http://www.ntp.co.za/>
9. KBFI-UNIO Ltd. <http://www.kbfiunio.hu/en/>

Лидером является компания QSA-GLOBAL, занимая порядка 45-50% мирового рынка производства гамма-дефектоскопов.

2.3. Рынок гамма-дефектоскопов в России. Тенденции изменения рынка.

В России в эксплуатации находятся от 500 до 600 гамма-дефектоскопов. Ситуация такова, что более 80% гамма-дефектоскопов работают только благодаря продлению срока службы (рис. 2).

Это, в основном, гамма-дефектоскопы, выпущенные на заводе "Балтиец" (г. Нарва) до 1991 года. Наиболее популярная модель гамма-дефектоскопа, эксплуатируемая на данный момент – "Гаммарид-192/120". Средний возраст гамма-дефектоскопов в России 20 лет, в то время как рекомендуемый срок службы максимум 15 лет. В связи с чем, совсем скоро эксплуатирующие организации начнут передавать на утилизацию гамма-дефектоскопы, продление срока эксплуатации которых более не представляется возможным, и, или покупать новые гамма-дефектоскопы, или переходить на другие методы неразрушающего контроля.

Соотношение современных гамма-дефектоскопов к устаревшим в РФ.

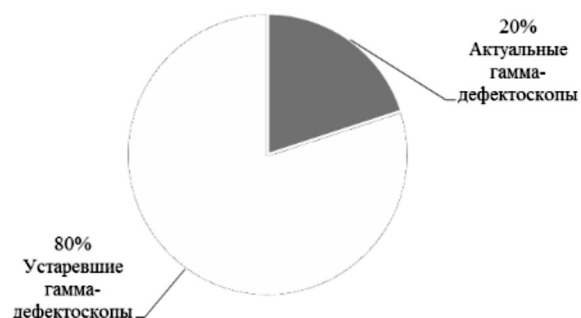


Рисунок 2. Соотношение современных гамма-дефектоскопов к устаревшим в РФ.

Российский рынок гамма-дефектоскопов представлен множеством моделей, обладающими характеристиками, позволяющими выбрать модель под любые задачи и условия работы.

Наиболее актуальные производимые модели гамма-дефектоскопов российского производства и их характеристики представлены в **табл. 2**.

Из этого списка лишь 2 модели не содержат в себе обедненный уран, а это значит, что их можно транспортировать и приобретать без лицензии, при условии, что транспортировка и покупка/продажа не включает в себя источник ионизирующего излучения. Обе эти модели отличаются компактностью, а также малым диапазоном толщин контролируемого металла (сталь), что может подойти не всем. Немаловажным является тот факт, что транспортировать гамма-дефектоскоп можно любым типом транспорта. Стоимость услуг спецавтотранспорта зависят от расстояния, и в России, учитывая расстояния между Москвой, где находятся оба производителя гамма-дефектоскопов, и заказчиками, могут достигать сотни тысяч рублей. Обе эти модели отличаются компактностью, а также малым диапазоном толщин контролируемого металла (сталь).

Заключение

Надежность оборудования находится в тесной зависимости от вопросов оптимизации конструктивно-технологических решений и совершенствования методов и средств неразрушающего контроля, одним из которых является радиографический. Радиографический метод контроля реализуется комплексом средств контроля в виде параметрического ряда гамма-дефектоскопической аппаратуры, который отличают: мобильность, надежность, радиационная безопасность, адаптированность к

Таблица 2.

Наиболее актуальные производимые модели гамма-дефектоскопов российского производства.

Модель гамма-дефектоскопа	ИИИ основе радионуклида	Диапазон толщин металла (сталь), мм.	Масса РГ, кг.	Материал биологической защиты
"РИД-Se 4P"	Se-75 (до 120 Ки)	3-30	7	Обедненный уран
"RID-Se4UM P" (Exertus Light)	Se-75 (до 120 Ки)	3-30	6	Обедненный уран
"RID-Se4WM P" (Exertus Light W)	Se-75 (до 120 Ки)	3-30	8	Вольфрам
"Exertus Dual 120"	Ir-192 (до 160 Ки) Se-75 (до 100 Ки)	3-70	22	Обедненный уран
"Exertus Vox 100"	Co-60 (до 100 Ки)	30-200	185	Обедненный уран
"RID - Co/400" (Exertus Vox 400)	Co-60 (до 400 Ки)	30-200	320	Обедненный уран
"Exertus Selen Circa 100"	Se-75 (до 100 Ки)	3-30	9	Вольфрам
"Гаммарид 2010P"	Ir-192 (до 150 Ки) Se-75 (до 200 Ки)	5-60	20	Обедненный уран
"УНИГАМ P"	Ir-192 (до 300 Ки) Se-75 (до 200 Ки)	5-70	20	Обедненный уран и вольфрам
"Стапель 5Se75Ir192" еИ1.570.243	Ir-192 (до 5 Ки) Se-75 (до 80 Ки)	5-80	11	Обедненный уран
"Стапель 5Se75Ir192" еИ1.570.243 - 02	Ir-192 (до 25 Ки) Se-75 (до 120 Ки)	5-80	15	Обедненный уран

широкому климатическому диапазону, простота в эксплуатации и возможность контроля изделий с большими радиационными толщинами (например, по стали: Se–75 до 40мм, Ir–192 до 80мм, Co–60 до 200 мм).

Для успешной конкуренции на мировом рынке гамма-дефектоскопической аппаратуры отечественным производителям, с одной стороны, необходимо добиваться снижения стоимости аппаратуры и ИИИ за счет увеличения количества производимых аппаратов, с другой стороны стремиться к уменьшению влияния человеческого фактора на результаты контроля благодаря автоматизации процессов собственно контроля и оформления его результатов. Кроме того представляется немаловажным фактором успешной конкуренции на мировом рынке метрологическая аттестация гамма-дефектоскопической аппаратуры [6]. Также необходимо развивать рынок услуг по проведению неразрушающего контроля, с использо-

ванием гамма-дефектоскопов. Судостроительные компании, компании нефтегазового комплекса и предприятия атомной отрасли во многом не могут отказаться от использования гамма-дефектоскопов, ввиду специфики их деятельности и уникальности данного метода неразрушающего контроля.

Препятствием на пути развития гамма-дефектоскопии является необходимость получения лицензий, обучения специалистов, и множество других вопросов, решение которых требует много ресурсов. Так как большинство гамма-дефектоскопов содержит в себе обедненный уран, продавать и оказывать услуги по гамма-дефектоскопии могут только компании, имеющие на это лицензию. Рынок неразрушающего контроля ежегодно растет, необходимо развивать его и на территории России, ведь от этого зависит надежность оборудования, в отношении которого проводится неразрушающий контроль.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГУП "Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора в России" "Система неразрушающего контроля. Виды (методы) и технология неразрушающего контроля. Термины и определения". Справочное пособие. М., 2003.
2. Radiation Source Use and Replacement: Abbreviated Version [Электронный ресурс] // Committee on Radiation Source Use and Replacement; Nuclear and Radiation Studies Board; Division on Earth and Life Studies; National Research Council. 2008. URL: <http://www.nap.edu/read/11976/chapter/11>.
3. Гамма-дефектоскоп [Электронный ресурс] // URL: www.weldzone.info/technology/control/607-gamma-defektoskop.
4. ИПК издательство стандартов "Гамма-дефектоскопы. Общие технические условия (с Изменениями N 1, 2)". ГОСТ 23764-79. М., 1979.
5. Industrial Radiography Market worth 539.0 Million USD by 2020 [Электронный ресурс] // marketsandmarkets.com. 2016. URL: <http://www.marketsandmarkets.com/PressReleases/industrial-radiography.asp>
6. Разработка и совершенствование методов неразрушающего контроля конструкций тепловых двигателей [Электронный ресурс] // Вэй Дунбо. М., 2004. URL: <http://www.dissercat.com/content/razrabotka-i-sovershenstvovanie-metodov-nerazrushayushchego-kontrolya-konstruktsii-teplovyykh>

© И.А. Чепайкин, (ivan.chepaikin@gmail.com), Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики».

