

Комплексная система неразрушающего контроля

Ю.Н. Гавриш, В.М. Николаев, С.А. Огородников, Л.П. Фомин
*Научно-исследовательский институт электрофизической аппаратуры
им. Д.В. Ефремова, Санкт-Петербург, Россия*

В НПК ЛУЦ НИИЭФА им. Д.В. Ефремова на базе двух линейных ускорителей электронов модели УЭЛР-15-2Д-100 создана комплексная система неразрушающего контроля, предназначенная для контроля качества изготовления крупногабаритных изделий тяжелого машиностроения (атомного энергомашиностроения, судостроения, космического машиностроения и т.п.). Отличительной особенностью комплексной системы является то, что контроль изделий можно осуществлять как методом интроскопии, так и радиографическим методом. Использование интроскопического метода гарантирует высокую производительность контроля, особо важную в производственных условиях.

Разработанный в НПК ЛУЦ промышленный интроскоп обеспечивает пространственное разрешение не менее 1% и разрешение по плотности не хуже 3% для стальных изделий толщиной до 320 мм.

Таблица 1. Радиационные характеристики ускорительной системы неразрушающего контроля.

		Для интроскопа	Для радиографа
1	Энергия ускоренных электронов, МэВ	15	15
2	Средняя мощность дозы тормозного излучения на расстоянии 1м от мишени на центральной оси, без фильтра, Гр/мин	100	100
3	Полный угол раствора первичного щелевого и вторичного коллиматоров, град	17	
4	Полный угол конуса первичного коллиматора, град		15 ⁰
5	Асимметрия поля тормозного излучения не более, %		± 5
6	Ширина щели первичного коллиматора, мм	8	
7	Толщина контролируемого объекта, мм	до 320	до 600
8	Расстояние мишень - центр объекта, не более, м	8,57	
9	Расстояние мишень - детекторная линейка, не более, м	9,93	
10	Длина детекторной линейки, м	2,8	
11	Разрешение по плотности для толщин стали до 320мм, %	1	
12	Разрешение пространственное для толщин стали до320мм,	3	
13	Скорость перемещения контролируемого объекта, мм/сек.	1,8-30	
14	Полное перемещение контролируемого объекта, м	6,5	
15	Нестабильность дозы в течение 1 часа не более	4 %	4%
16	Эффективный диаметр фокусного пятна на мишени, мм не более	2,5	2,5
17	Время стабилизации пучка	5 сек.	5 сек.
18	Утечка тормозного излучения (вне угла коллиматора), %	0,1	0,1
19	Утечка нейтронного излучения в прямом направлении (вне угла коллиматора), % Зв/Гр	0,1	0,1
20	Утечка нейтронного излучения в других направлениях (вне угла коллиматора), % Зв/Гр	0,01-0,02	0,01-0,02
21	Средняя мощность дозы тормозного излучения на расстоянии 1 м от мишени на краях поля облучения, без фильтра, Гр/мин		45
22	Средняя мощность дозы тормозного излучения на расстоянии 1 м от мишени на центральной оси, после фильтра, Гр/мин		50
23	Средняя мощность дозы тормозного излучения на расстоянии 1 м от мишени на краях поля облучения, после фильтра, Гр/мин		40
24	Ослабление излучения в раздвижном коллиматоре		1:100
25	Пределы регулировки раздвижного коллиматора		0-15 ⁰

Учитывая наш многолетний опыт работы по контролю изделий атомного энергомашиностроения на Ижорском заводе, где проводится 100%-й контроль сварных швов, примерно 5% этих швов имеют толщину свыше 300 мм, т.е. практически все изделия можно контролировать методом интроскопии. В других отраслях промышленности значительную долю крупногабаритных изделий, очевидно, также можно контролировать методом интроскопии, оставляя на радиографический метод контроля лишь те изделия, которые обладают особенно большой толщиной (имеют толщину стенок свыше 320 мм).

Как отмечалось выше, комплексная система неразрушающего контроля создана на базе двух ускорителей модели УЭЛР-15-2Д-100. Один из них выполнен в варианте интроскопа, другой – в варианте радиографа. Излучатели ускорителей отличаются только конструкцией коллиматоров, которые формируют фотонный пучок тормозного излучения. Радиационные характеристики ускорительной системы неразрушающего контроля представлены в табл. 1.

Качество радиационного контроля для интроскопа при толщине просвечиваемых стальных изделий до 320 мм примерно существенно выше за счет применения мощного пакета математической обработки. При большой толщине изделий радиография имеет преимущества по выявляемости дефектов. Время экспозиции при просвечивании стали толщиной 450 мм в случае использования пленки, требующей получения дозы 2 рад, составляет 2,5 мин (толщина слоя половинного ослабления тормозного излучения в стали принята равной 33 мм).

Следует отметить, что радиограф с использованием линейного ускорителя на энергию 15 МэВ и мощность дозы 100 Гр/мин. позволяет просвечивать стальные изделия большей толщины (до 600 мм) с сохранением радиографической чувствительности лучше 1%. Однако время экспозиции в этом случае достигнет при толщине 500 мм достигнет 7,3 мин., а при толщине стали 600 мм – 60 мин.

Схема интроскопа представлена на рис.1, общий вид интроскопа – на рис. 2, общий вид излучателя радиографа – на рис. 3.

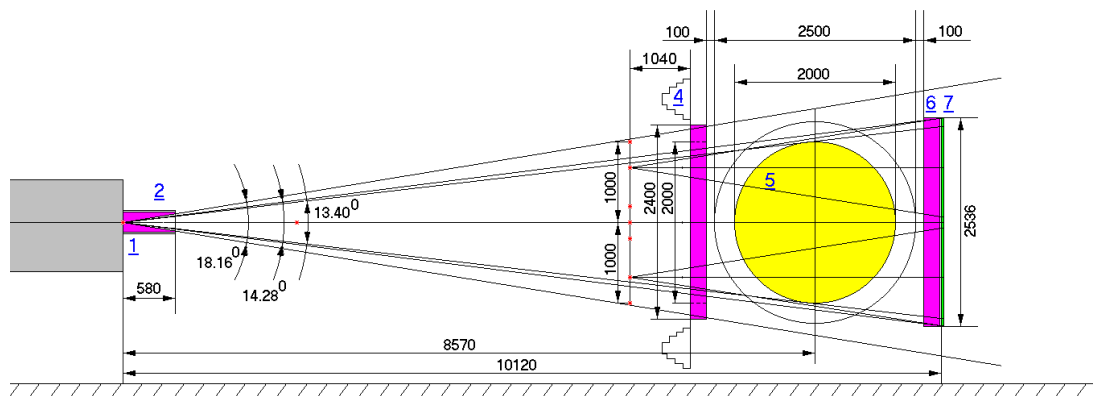


Рис. 1. Схема интроскопа для контроля изделий диаметром 2 м. 1 – излучатель; 2 – коллиматор излучателя № 1; 3 – коллиматор перед объектом № 2; 4 – устройство коррекции нелинейности детекторов; 5 – контролируемый объект; 6 – коллиматор после объекта № 3; 7 – детекторная линейка.

Особенности конструкции ускорителя модели УЭЛР-15-2Д-100

В ускорителе использована бипериодическая ускоряющая структура на стоячей волне с приосевыми ячейками связи. Применены омегаобразные ускоряющие ячейки. В качестве источника ВЧ-мощности используется низкочастотный клистрон КИУ-111. Климатрон и ускоряющее устройство «развязаны» ферритовым Y-циркулятором. Частота следования ВЧ-импульсов 100 1/с, длительность ВЧ-импульса 10 мкс. Для питания клистрона применен линейный импульсный модулятор с системой стабилизации напряжения на формирующей линии типа de-Qing. Используется задающий ВЧ-генератор на основе полупроводникового автогенератора и маломощного клистронного усилителя. Стабилизация частоты обеспечивается системой АПЧ на основе фазового дискриминатора или настройки на минимум отраженной мощности. Система ВЧ-питания и импульсные устройства модулятора клистрона расположены в блоке излучателя. Высоковольтный выпрямитель модулятора расположен в отдельном шкафу.

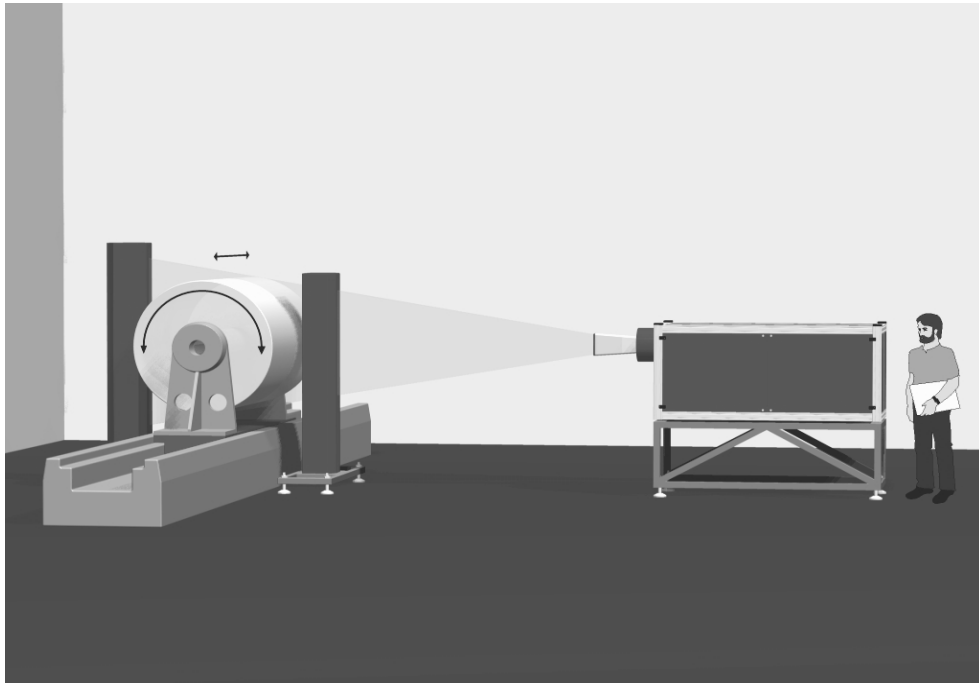


Рис. 2. Общий вид интроскопа.

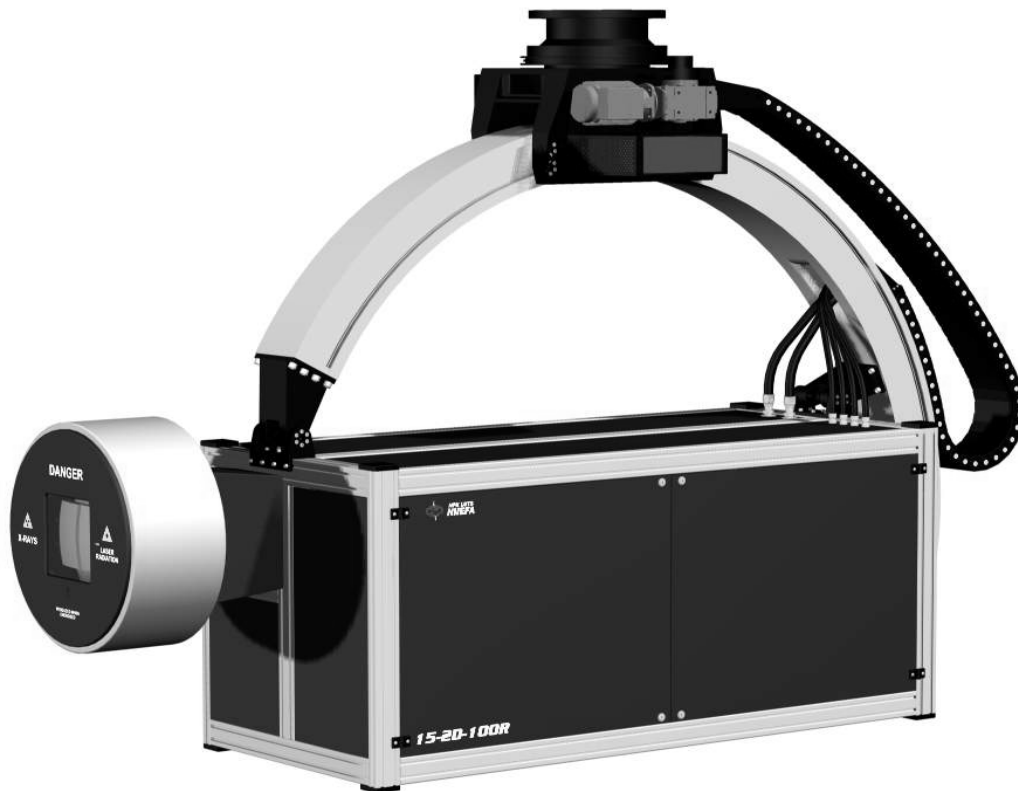


Рис. 3. Общий вид излучателя-радиографа.

Управление ускорителем обеспечивается компьютерной автоматической системой управления. Автоматизированная система управления комплексом неразрушающего контроля состоит из двух независимых компьютерных систем: управления радиографом и управления интроскопом. Каждая система управления работает в автономном режиме. Обе системы управления имеют единообразную архитектуру и используют одинаковые аппаратные средства. Системы управления построены по территориально-распределенному принципу на базе PC-совместимых контроллеров и панельного компьютера, выполненных в промышленном исполнении и объединенных в сеть посредством интерфейса RS-485. Центральный компьютер, расположенный на рабочем месте оператора, укомплектован цветным TFT жидкокристаллическим дисплеем и сенсорным экраном. На экране дисплея индицируется функциональная клавиатура, посредством которой осуществляется управление.

Начальная установка отдельных подсистем (выбор величины дозы, раствора пластин коллиматора и др.) производится в оконном режиме. В этом же режиме осуществляется визуализация измеряемых параметров подсистем. Центральный компьютер работает в среде WINDOWS 98.

Пользовательский интерфейс оператора разработан в объектоориентированной среде визуального программирования "DELPHI 4".

Непосредственное управление комплексом осуществляют PC-совместимые контроллеры, работающие в реальном масштабе времени в среде MS-DOS. Для расширения возможностей контроллеров в части ввода-вывода аналоговых и цифровых сигналов применяются специальные платы расширения.

Для сбора и передачи данных от удаленных подсистем (сигнализация, командирский ключ, блокировка дверей и т. п.) применяются микропроцессорные модули типа ADAM 4000 (RIO-7000). Наличие встроенных процессорных средств позволяет этим модулям осуществлять нормализацию сигналов, операции аналогового и цифрового ввода-вывода, передачу и прием данных ведущему контроллеру сети.

Центральный компьютер, PC-совместимые контроллеры и модули ADAM-4000 завязаны в одну сеть и используют для обмена промышленный интерфейс RS-485.

С целью защиты от внешних воздействий контроллеры, модули RIO-7000 (ADAM 4000), платы расширения и модули сопряжения располагаются в специальных боксах, обладающих повышенной защищенностью от электромагнитных полей.

Системы управления обеспечивают:

- информацию о состоянии систем ускорителя в данный момент;
- информацию о состоянии блокировок безопасности и блокировок, защищающих оборудование;
- управление ускорителем — включение/выключение;
- ввод ускорителя в заданный режим;
- контроль радиационных параметров: заданной и набранной дозы тормозного излучения, мощности дозы и времени экспозиции (в радиографе);
- отключение ускорителя после набора заданной дозы облучения или простоя заданного времени экспозиции (в радиографе);
- контроль величины сигналов, измеряемых системой детектирования (в интроскопе);
- управление и контроль системой перемещения контролируемого объекта (в интроскопе);
- управление и контроль системой перемещения излучателем (в интроскопе);
- ведение базы данных оперативного журнала;
- базы данных аварийных ситуаций;
- система управления автоматически отключает оборудование ускорителя при нарушениях режима работы какой-либо системы.

Управление положением излучателя радиографа осуществляется контроллерами сервоприводов MOVIDYN. Для управления приводами движения в вертикальной и горизонтальной плоскостях используются различные контроллеры. Управляющие сигналы на них подаются от ручного пульта управления приводами, на котором расположены два манипулятора. С их помощью меняются скорость и направление вращения каждого сервопривода. На пульте располагается также выключатель "Запрет движения", фиксирующий положение излучателя, и выключатель лазерного указателя.

Автоматизированная система управления интроскопом обеспечивает управление параметрами движения платформы перемещения контролируемого объекта:

- горизонтальной скоростью перемещения платформы,
- скоростью вращения и угловым положением объекта,
- устанавливает момент начала и окончания движения платформы.

Излучатели ускорителей, используемые в интроскопе и радиографе, различаются только коллимационными системами. Остальные блоки оборудования полностью идентичны.

Интроскоп. Размещение излучателя. Система коллиматоров

В интроскопе для получения изображения контролируемый объект послойно просвечивается веерообразным пучком тормозного излучения, для чего объект, установленный на передвижной платформе, медленно перемещается в направлении перпендикулярном оси веерообразного пучка, пересекая его. Детекторная линейка, расположенная за объектом, регистрирует фотоны тормозного излучения, прошедшие через контролируемый объект, преобразуя их в электрические сигналы, которые после предварительной обработки передаются в компьютер рабочей станции оператора. С помощью специальной программы визуализации на дисплее рабочей станции реконструируется теневое изображение объекта. Оператор с помощью программного набора функций обработки проводит детальный анализ изображения контролируемого объекта. При обнаружении дефекта он может выделить фрагмент с дефектом и увеличить этот фрагмент, определить размеры и координаты дефекта.

Веерообразный пучок формируется системой, состоящей из трех коллиматоров:

1. Коллиматора № 1, расположенного в излучателе, который состоит из двух частей: вольфрамового щелевого коллиматора, в котором размещена тормозная мишень, и свинцового диафрагмированного коллиматора. Между ними расположена ионизационная камера для мониторинга дозы тормозного излучения.
2. Коллиматора № 2, расположенного перед контролируемым объектом.
3. Коллиматора № 3, расположенного перед детекторной линейкой.

Излучатель интроскопа устанавливается на специальной раме, имеющей юстировочные устройства, с помощью которых можно с высокой точностью направить веерный пучок, сформированный коллиматором № 1 излучателя, таким образом, чтобы он свободно проходил через щели коллиматоров № 2 и 3. При этом величина сигнала на детекторной линейке должна быть максимальной, коллиматоры № 2 и 3 также имеют юстировочные домкраты.

В конструкции коллиматора № 2 предусмотрено устройство для коррекции нелинейности сигналов детекторов, состоящее из ступенчатого стального блока и устройства перемещения его по вертикали. Коррекция нелинейности проводится перед началом измерений контролируемого объекта. Ступенчатый блок перемещается вдоль щели коллиматора, при этом фиксируются величины сигналов каждого канала детекторной линейки. Данные, полученные при просвечивании стали различной толщины, учитываются при визуализации изображения.

Радиограф. Размещение излучателя. Система коллиматоров

Радиографический метод контроля осуществляется путем последовательного просвечивания контролируемого объекта (по частям) пучком тормозного излучения, который предварительно сформирован таким образом, чтобы размер просвечиваемого участка контролируемого объекта соответствовал размеру используемой рентгеновской пленки. Стандартный размер рентгеновской пленки — 300x400 мм. Поэтому в излучателе ускорителя-радиографа установлен круглый конусный коллиматор с углом конуса = 15° (первичный коллиматор), формирующий поле облучения. На расстоянии 1,8 метра от мишени получаем диаметр поля облучения равный 470 мм.

Для выравнивания интенсивности излучения по полю облучения предусматривается выравнивающий фильтр.

В излучателе размещен также коллиматор с раздвижными диафрагмами, обеспечивающий плавную регулировку поля облучения в двух взаимно перпендикулярных направлениях (вертикальном и горизонтальном) от 0° до 15° .

Для наведения пучка тормозного излучения на контролируемую область объекта излучатель должен иметь возможность свободно перемещаться по трем координатам. Это достигается, если подвесить излучатель на мостовом электрокране с телескопическим подъемником. Таким образом, обеспечивается горизонтальное перемещение излучателя в двух направлениях и вертикальное перемещение. Для монтажа излучателя на кране разработана специальная подвеска, которая предназначена для вращения излучателя в двух плоскостях — горизонтальной (от $+180^{\circ}$ (вправо) до -135° (влево)) и вертикальной (от $+45^{\circ}$ (вверх) до -95° (вниз)).

Основные массогабаритные характеристики системы неразрушающего контроля

Состав оборудования приведен в таблице:

Наименование оборудования	Длина (глубина), мм	Ширина, мм	Высота, мм	Масса, кг
Блок излучателя Высоковольтный выпрямитель	2668	880	920	1150
Блок термостатирования	602	802	1602	450
Коллиматор № 2	995	599	1800	300
Коллиматор № 3	900	1790	3950	3800
	1200	1790	1275	1800

В состав оборудования радиографа не входят коллиматоры № 2 и 3, и система компьютерного управления содержит устройства, относящиеся только к управлению собственно ускорителем. В то же время блок излучателя дополнен подвеской для закрепления излучателя на телескопической подвеске подъемного крана.