

УДК: 621.039.84

ГАММАРИД-192/120М ГАММА-ДЕФЕКТОСКОПЛАРИ УЧУН ИРИДИЙ-192 ИОНЛАШТИРУВЧИ НУР МАНБАЛАРИНИ ТАЙЁРЛАШ

Ашрапов Улуғбек Товфиқович

тех.ф.н., катта илмий ходим

Хўжаев Сайдахмад Сайдалиевич

к.ф.н., лаборатория мудир

Қарабеков Зиёд Исроилович

реактор хизмати бошлиғи

Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси Ядро физикаси институти

Насритдинов Зухритдин Бадритдинович

«VBM Engineering» МЧЖ директори

Аннотация. Турли буюмларни путур етказмай текшириши гамма-дефектоскопия усули учун Гаммарид-192/120М гамма-дефектоскопи ва иридий-192 (Ir-192) ёпиқ ионлаштирувчи нур манбаси кенг кўламда ишлатилади. Ҳозирги вақтда импорт ўрнини босувчи активлиги 50±120 кюри бўлган Ir-192 ионлаштирувчи нур манбаларини ишлаб чиқариши ва ясаи ҳамда уларни Гаммарид-192/120М гамма-дефектоскоплари билан комплектациялаш долзарб масаладир. Илмий тадқиқотларнинг мақсади ВВР-СМ ядро реакторида табиий иридий металл дискларни иссиқ нейтронлар билан нурлатиши усули ёрдамида нисбий активлиги юқори бўлган Ir-192 радионуклидинни (53 дан 126 Ки/г гача) олиши технологиясини ишлаб чиқиши, герметик Ir-192 ёпиқ ионлаштирувчи нур манбаларини тайёрлаш ва уларни Гаммарид-192/120М гамма-дефектоскоплари билан комплектациялаш ишларини амалга оширишидир. ВВР-СМ реакторининг вертикал каналларида табиий иридий дискларини нейтронлар билан нурлантириши орқали юқори активликка эга бўлган Ir-192 радионуклидинни олиши учун вертикал каналлардаги иссиқ нейтронлар оқимининг зичлиги ва уни вертикал каналлар ичида тақсимланиши термо-нейтрон датчик ТНД-2,0 ёрдамида ба-жарилди. Герметик Ir-192 манбаи тайёрланди. Ir-192 манбаи Гаммарид-192/120М гамма-дефектоскопи билан комплектация қилинди. Ir-192 манбаи Гаммарид-192/120М гамма-дефектоскопи билан биргаликда тест металл қувурнинг (диаметри 219 мм ва қалинлиги 8,0 мм) пайвандлаш сифатини икки девор орқали путур етказмай текшириши учун ишлатилди. Гамма-радиография учун «Kodak Industrex» АА400 рентген пленкалари, қўргошин экранлари, сезгирлик эталонлари, ДНС-2 денситометри ва турли дозиметрлар ишлатилди. Тест металл қувурнинг пайвандлаш сифатини путур етказмай текшириши натижаси шуни кўрсатдики, олинган гамма-радиография рентген расмлари сезгирлиги ва сифати бўйича Россия ва халқаро путур етказмай текшириши стандартлари талабларига тўлиқ мос келади.

Таянч тушунчалар: ядро реактори, нейтрон, нурлантириши, радионуклид иридий-192, ионлаштирувчи нур манба, гамма-дефектоскоп, путур етказмай текшириши.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ИСТОЧНИКОВ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ ИРИДИЙ-192 ДЛЯ ГАММА-ДЕФЕКТОСКОПОВ ГАММАРИД-192/120М

Ашрапов Улуғбек Товфиқович

к.тех.н., старший научный сотрудник

Хужаев Сайдахмад Сайдалиевич

к.х.н., заведующий лабораторией

Карабеков Зиёд Исраилович

начальник службы реактора

Институт ядерной физики Академии наук Республики Узбекистан

Насритдинов Зухритдин Бадритдинович

директор ООО VBM Engineering

Аннотация. Для неразрушающего контроля (НК) различных изделий широко используются гамма-дефектоскопы Гаммарид-192/120М с источниками ионизирующего излучения иридий-192 (Ir-192). В настоящее время разработка и изготовление отечественных импортозаменяющих источников Ir-192 активностью 50÷120 Ки и их комплектация с гамма-дефектоскопами Гаммарид-192/120М является актуальной задачей. Целью исследований является разработка технологии получения на ядерном реакторе ВВР-СМ радионуклида Ir-192 с высокой удельной активностью (от 53 до 126 Ки/г) методом облучения нейтронами металлических дисков природного иридия; разработка технологии изготовления герметичных источников ионизирующего излучения Ir-192 и их комплектации с гамма-дефектоскопами Гаммарид-192/120М. Для получения на реакторе ВВР-СМ радионуклида Ir-192 с высокой удельной активностью были определены плотности потоков тепловых нейтронов в вертикальных каналах реактора и распределение плотности потока тепловых нейтронов вдоль вертикальных каналов. При этом был использован малогабаритный термонейтронный датчик ТНД-2,0. Изготовлен герметичный источник Ir-192. Источник Ir-192 укомплектован с гамма-дефектоскопом Гаммарид-192/120М. Источник Ir-192 с гамма-дефектоскопом Гаммарид-192/120М был использован для неразрушающего контроля (НК) качества сварки тест образца металлической трубы (диаметр - 219 мм и толщина стенки - 8 мм) со сварным швом через две стенки. Для гамма-радиографии были использованы рентгеновские пленки типа «Kodak Industrex» АА400 со свинцовыми экранами, эталоны чувствительности, денситометр ДНС-2 и различные дозиметры. В результате НК тест-образца металлической трубы были получены рентгеновские снимки гамма-радиографии по чувствительности и качеству, соответствующие требованиям российских и международных стандартов по НК.

Ключевые слова: ядерный реактор, нейтроны, облучение, радионуклид иридий-192, источник ионизирующего излучения, гамма-дефектоскоп, неразрушающий контроль.

MANUFACTURING OF IONIZING RADIATION SOURCES OF IRIDIUM-192 FOR GAMMARID-192/120M GAMMA-DEFECTOSKOPI

Ashrapov Ulugbek Tovfikovich

PhD in Technical Sciences, Senior Researcher

Khuzhayev Saydahmad Saydalievich

PhD in Chemical Sciences, Head of Laboratory

Karabekov Ziyod Israilovich

Head of reactor service

Institute of Nuclear Physics, Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan

Nasritdinov Zukhritdin Badritdinovich

Director of «VBM Engineering» LLC

Annotation. Gamma-flaw detectors Gammarid-192/120M with ionizing radiation sources of iridium-192 (Ir-192) are widely used for nondestructive testing (NDT) of various products. Currently, the development and manufacturing of domestic import-substituting sources Ir-192 activity 50÷120 Ci and their complete set with Gammarid-192/120M gamma-flaw detectors is one of the topical issues. The aim of the research is to develop a technology for producing a radionuclide Ir-192 with a high specific activity (from 53 to 126 Ci / g) at a WWR-SM nuclear reactor by irradiating metal disks of natural iridium with neutrons, to develop a technology for manufacturing sealed sources of ionizing radiation Ir-192 and their complete set with gamma flaw detectors Gammarid-192/120M. To obtain the Ir-192 radionuclide with a high specific activity in the WWR-SM reactor, the flux densities of thermal neutrons in the vertical channels of the reactor and the distribution of the flux density of thermal neutrons along the vertical channels were determined. In this regard, a small-sized thermal neutron sensor TND-2,0 has been used. Tight source Ir-192 was made. Source Ir-192 with Gammarid-192/120M gamma flaw detector has been completed.

The source Ir-192 with Gammairid-192/120M gamma flaw detector was used for nondestructive testing (NDT) of the welding quality of a test sample of a metal pipe (diameter 219 mm and wall thickness 8.0 mm) with a weld through two walls. For gamma-radiography, "Kodak Industrex" AA400 type X-ray films with lead screens, groove standards, densitometer DNS-2 and various dosimeters have been used. As result of NDT of metal pipe sample, x-ray images of gamma-radiography in sensitivity and quality, corresponding to the requirements of Russian and international standards under NDT were obtained.

Key words: nuclear reactor, neutrons, irradiation, Ir-192 radionuclide, ionizing radiation source, gamma flaw detector, nondestructive testing.

Введение

В настоящее время в Республике Узбекистан в связи с вводом в эксплуатацию новых строительных объектов предприятий нефтегазодобычи активизируется деятельность лабораторий неразрушающего контроля (НК), использующих метод гамма-дефектоскопии сварных швов нефтегазопроводов и контроля качества технологических оборудований.

Для радиографического метода НК используются источники на основе радионуклидов Ir-192, Co-60 и Se-75. Источники Se-75, содержащие радионуклид Se-75 с более низкими гамма-энергиями $E_{\gamma} = 100 \div 400$ кэВ и периодом полураспада 119,8 суток, могут обеспечить неразрушающий контроль при просвечивании более тонких материалов (2,5÷3,0 мм) [1]. Источники Co-60, содержащий радионуклид Co-60 с гамма-энергиями $E_{\gamma} = 1,1732$ МэВ, $E_{\gamma} = 1,3325$ МэВ и периодом полураспада $T_{1/2} = 5,2313$ года, используется очень редко для НК толстостенных материалов (≥ 70 мм), т.к. трудно обеспечить радиационную защиту персонала при НК. Для радиографического НК качества различных толстостенных изделий (12÷70 мм) с различной технологией изготовления наиболее широкое применение нашли источники Ir-192 с радионуклидом Ir-192 с периодом полураспада $T_{1/2} = 74,2$ суток и активностью 50÷120 Ки.

Эффективная работа гамма-дефектоскопа Гаммарид-192/120М зависит от своевременного обеспечения его источником Ir-192 необходимой активности и утилизации отработавших срок службы источников Ir-192. Импортное зарубежное гамма-радиографов (Delta-880, Sigma-880, США; «Гаммарид 2010» или «УНИГАМ», Россия) с источниками Ir-192 связано с определенными

трудностями: выполнение требований, предъявляемых к перемещению и таможенной очистке источников Ir-192, оплаты валютных расходов по приобретению и доставке источников Ir-192 и утилизации источников Ir-192 после истечения срока их службы.

В настоящее время изготовление отечественных импортозамещающих источников Ir-192 активностью 50÷120 Ки и их комплектация с гамма-дефектоскопами Гаммарид 192/120М является актуальной задачей.

Получение радионуклида Ir-192 с высокой удельной активностью (от 53 до 126 Ки/г Ir) методом облучения природного иридия нейтронами реактора по ядерной реакции $Ir-191(n, \gamma)Ir-192$ зависит от многих факторов: величины плотности потока тепловых нейтронов в вертикальных каналах реактора; расположения вертикального канала в активной зоне реактора; непрерывности процесса облучения; времени облучения; режима нейтронного облучения и других.

Проведены ядерно-физические исследования по нейтронной активации металлических дисков природного иридия в вертикальных каналах реактора. Изучены: распределение плотности потока тепловых нейтронов по высоте вертикального канала реактора, выход наведенной активности радионуклида Ir-192, кадимевые отношения радионуклида Ir-192, вклад тепловых и резонансных нейтронов на процесс нейтронной активации природного иридия. Определены оптимальные режимы облучения в вертикальных каналах реактора упаковок природных иридиевых дисков. Разработаны методы радиохимической переработки облученных дисков природного иридия, изготовления гермети-

ных источников Ir-192, определения активности источника Ir-192, проверки герметичности источника Ir-192, вальцовки держателя с источником Ir-192 и зарядка держателя источника в радиационную головку гамма-дефектоскопа Гаммарид-192/120М.

Разработана специальная установка по радиохимической переработке упаковок дисков природного иридия и изготовления закрытого источника ионизирующего излучения Ir-192 с герметизацией источника Ir-192.

Для комплектации источника Ir-192 с

гамма-дефектоскопов Гаммарид-192/120М было разработано специальное устройство по вальцовке держателя источника с радиоактивным источником Ir-192 и соединения с гибким валом гамма-дефектоскопа Гаммарид-192/120М.

Основная часть

Природный иридий состоит из двух стабильных изотопов: Ir-191 (38,5%) и Ir-193 (61,5%) [2].

При облучении природного иридия нейтронами реактора происходят ядерные реакции, указанные в таблице 1 [3].

Таблица 1

Ядерные реакции облучения природного иридия нейтронами реактора

Ядерный переход	Ядерная реакция	Сечение активации, барн	Период полураспада, T _{1/2}	E _γ и E _β , МэВ
¹⁹¹ Ir → ¹⁹² Ir	(n, γ)	960	73,827 суток	E _γ : 0,296; 0,308; 0,317; 0,468; 0,589; 0,604; 0,612. E _β : 0,24; 0,54; 0,67.
¹⁹² Ir → ¹⁹² Pt	β ⁻ (95%)	-	-	-
¹⁹² Ir → ¹⁹² Os	Э.З. (5%)	-	-	-
¹⁹² Ir → ¹⁹³ Ir	(n, γ)	700	-	-
¹⁹³ Ir → ¹⁹⁴ Ir	(n, γ)	130	17,4 час	-

В процессе облучения природного иридия нейтронами реактора одновременно с ядерной реакцией Ir191 (n, γ) Ir 192 происходит также и ядерная реакция Ir192 (n, γ) Ir193, вследствие которой происходит выгорание радионуклида Ir-192 и уменьшение удельной активности радионуклида Ir-192.

Расчетные значения максимальной удельной активности иридия и время ее достижения при непрерывном облучении природного иридия при различных потоках тепловых нейтронов ядерного реактора приведены в таблице 2 [4].

Таблица 2

Расчетные значения максимальной удельной активности иридия и время ее достижения на ядерном реакторе

Плотность потока тепловых нейтронов, нейтрон/см ² · сек	10 ¹²	10 ¹³	10 ¹⁴	10 ¹⁵
Максимальная удельная активность радионуклида Ir-192, Ки/г Ir	21	170	660	10 ¹⁰
Время достижения максимальной активности, сутки	507	270	87	13

Из таблицы 2 видно, что при непрерывном облучении природного иридия нейтронами в течении 87 суток (2088 часов) и плотности потока тепловых нейтронов $1 \cdot 10^{14}$ нейтрон/ $\text{см}^2 \cdot \text{сек}$ можно достичь максимальной удельной активности Ir-192 равной 660 Ки/г.

Измеренные с помощью первичного при-

бора малогабаритного термонейтронного датчика ТНД-2,0, работающего в диапазоне плотности потоков нейтронов от $5 \cdot 10^{12}$ до $5 \cdot 10^{14}$ н/ $\text{см}^2 \cdot \text{с}$ [5, 6], и вторичного прибора потенциометра Р-4833 значения разности потенциалов в вертикальных каналах реактора сведены в таблицу 3.

Таблица 3

Значения разности потенциалов (в милливольтгах) в вертикальных каналах реактора ВВР-СМ, измеренные ТНД-2,0

Вертикальный канал	5-7	4-4	4-2	3-4	3-7	2
Расстояние точки измерения разности потенциалов ТНД от верха вертикального канала, см	мВ	мВ	мВ	мВ	мВ	мВ
10	8,0	11,1	10,3	10,0	10,0	6,0
15	10,2	11,1	14,2	11,1	12,6	8,0
20	13,7	14,1	18,5	13,9	16,4	10,4
25	16,2	17,1	22,0	16,7	19,8	12,1
30	18,4	19,8	25,3	19,2	22,1	13,5
35	20,0	21,3	27,0	20,5	23,8	14,1
40	21,1	22,0	28,6	21,21	25,0	14,1
45	20,0	22,0	28,0	21,0	24,4	14,1
50	18,6	21,0	25,8	20,0	23,0	13,0
55	16,0	18,8	23,0	19,0	20,0	12,0
60	15,5	15,2	22,0	16,4	19,9	11,6
65	13,2	13,0	15,4	14,2	16,2	10,2

Из таблицы 3 видно, что максимальное значение разности потенциалов наблюдается на расстоянии 35-50 см вниз от верхней точки каждого вертикального канала, т.е. в центре вертикального канала, где плотность тепловых нейтронов имеет максимальное значение.

Наведенная специфическая активность Ir-192 сильно зависит от толщины облучаемого образца. В таблице 4 показаны результаты экспериментов по определению влияния толщины облучаемого образца природного иридия на выход наведенной активности радионуклида Ir-192.

Из таблицы 4 видно, что с увеличением толщины диска иридия, уменьшается выход наведенной активности Ir-192. Например, при толщине облучаемого диска иридия 20 мкм выход наведенной активности Ir-192 уменьшается до 20%, а при толщине диска иридия 80 мкм, выход наведенной активности Ir-192 уменьшается до 78%, т.е. в результате самоэкранирования облучение нейтронами ири-

дия происходит в основном на поверхности иридиевого диска.

Исследование кадмиевых отношений показали, что радионуклид Ir-192 имеет высокие кадмиевые отношения, и доля резонансных нейтронов при нейтронной активации Ir-191 в суммарной плотности потока нейтронов составляет всего 12%, т.е. в основном на ~88% выход наведенной активности радионуклида Ir-192 получается за счет тепловых нейтронов (табл. 5).

Суть кадмиевого отношения можно определить следующим образом. Детектор, завернутый в кадмиевый чехол, плохо активируются тепловыми нейтронами, так как кадмий поглощает практически все тепловые нейтроны (сечение поглощения тепловых нейтронов кадмием составляет 2450 барн). Детектор без кадмиевого чехла активируется и резонансными, и тепловыми нейтронами.

$$RCd = A/A_p, \quad (1)$$

Таблица 4

Влияние толщины облучаемого образца природного иридия на выход наведенной активности радионуклида Ir-192

Условный номер вертикального канала	Толщина диска иридия, мкм	Масса диска иридия, г	Активность диска иридия, Ки	Активность в переводе на $m=1 \cdot 10^{-5}$ г, Ки	Выход наведенной активности Ir-192
2	0,5	$1,5 \cdot 10^{-5}$	$8,9 \cdot 10^{-6}$	$6,02 \cdot 10^{-6}$	1,0
	20	$4,7 \cdot 10^{-3}$	$9,1 \cdot 10^{-4}$	$1,93 \cdot 10^{-6}$	0,32
	60	$11,1 \cdot 10^{-3}$	$1,95 \cdot 10^{-3}$	$1,75 \cdot 10^{-6}$	0,29
	80	$19,7 \cdot 10^{-3}$	$2,69 \cdot 10^{-3}$	$1,36 \cdot 10^{-6}$	0,22
4-1	0,5	$1,5 \cdot 10^{-5}$	$2,6 \cdot 10^{-6}$	$1,75 \cdot 10^{-5}$	1,0
	20	$6,2 \cdot 10^{-3}$	$2,7 \cdot 10^{-3}$	$3,35 \cdot 10^{-6}$	0,19
	60	$13,1 \cdot 10^{-3}$	$5,05 \cdot 10^{-3}$	$2,91 \cdot 10^{-6}$	0,26
	80	$19,5 \cdot 10^{-3}$	$2,8 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-6}$	0,23

где: RCd – кадмиевое отношение, A – активность детектора без кадмия,

Ar – активность детектора с кадмием.

Из формулы 1 следует, что чем больше кадмиевое отношение, тем меньше доля резонансных нейтронов в суммарной плотности потока нейтронов [7].

В таблице 5 приведены значения кадмиевых отношений для Ir-192 в вертикальных каналах реактора ВВР-СМ. Из таблицы 5 видно, что при облучении нейтронами реактора образцов иридия с кадмиевым чехлом выход наведенной активности радионуклида Ir-192 существенно уменьшается.

Таблица 5

Значения кадмиевых отношений для радионуклида Ir-192

Образец иридия	Масса образца иридия, г	Условный номер вертикального канала	Активность радионуклида Ir-192, Бк	Кадмиевое отношение, RCd
Ir-191 без кадмия	$1,5 \cdot 10^{-5}$	2-6	$5,97 \cdot 10^5$	9,19
Ir-191 с кадмием	$1,5 \cdot 10^{-5}$	2-6	$2,66 \cdot 10^4$	
Ir-191 без кадмия	$1,5 \cdot 10^{-5}$	4-1	$3,98 \cdot 10^5$	12,69
Ir-191 с кадмием	$1,5 \cdot 10^{-5}$	4-1	$3,13 \cdot 10^4$	
Ir-191 без кадмия	$1,5 \cdot 10^{-5}$	2	$3,32 \cdot 10^5$	8,13
Ir-191 с кадмием	$1,5 \cdot 10^{-5}$	2	$1,67 \cdot 10^4$	

Таким образом, на выход наведенной активности радионуклида Ir-192 определенный вклад могут внести резонансные нейтроны и,

следовательно, появляется возможность увеличения наведенной активности за счет вклада резонансных нейтронов.

Учитывая все полученные данные, для увеличения специфической активности радионуклида Ir-192 была подготовлена специальная упаковка металлических дисков природного иридия для облучения тепловыми нейтронами в вертикальном канале реактора.

Иридиевые диски ($\varnothing=2,7$ мм, $h=0,2$ мм,

$m=31,7$ мг) вначале упаковывают в один ряд в алюминиевую фольгу, затем размещают вдоль цилиндра с углублениями, заворачивают в алюминиевую фольгу (рис. 1), загружают в вертикальный канал на расстоянии 35-50 см от верхней точки вертикального канала и облучают тепловыми нейтронами реактора.

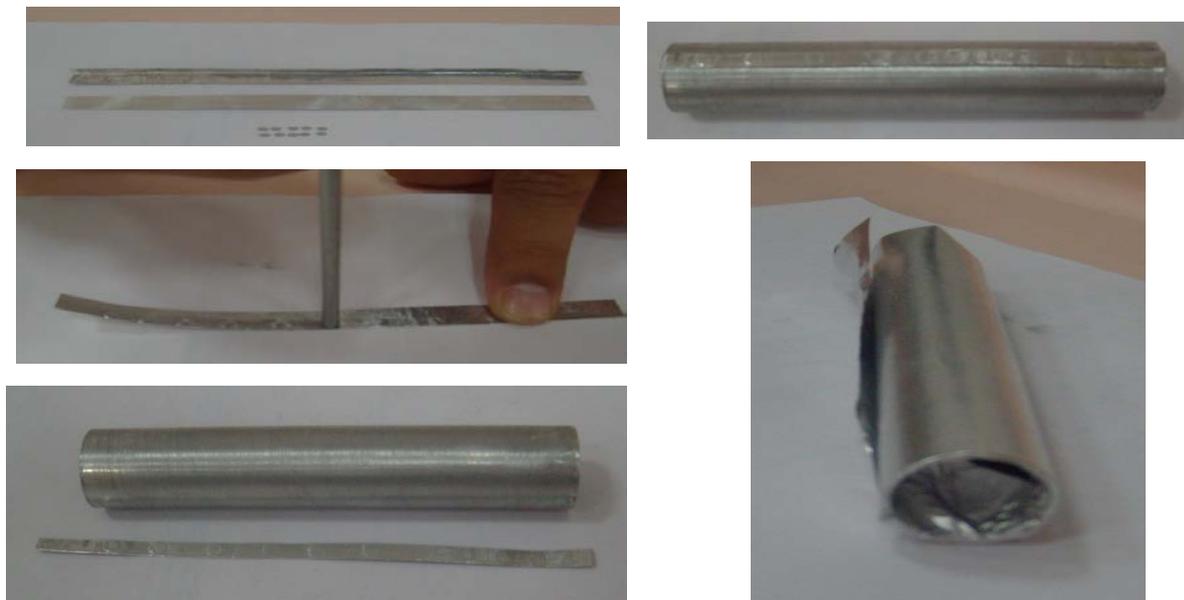


Рис. 1. Приспособление для упаковки дисков иридия

Облучение нейтронами реактора упаковок иридиевых дисков проводили в вертикальном канале реактора в блок-контейнере ЭК-10 с длиной 340 мм и диаметром 25 мм [8], установленном в центральной полой части

6-трубной тепловыделяющей сборки (ТВС) типа ИРТ-4М с низко-обогащенным (19,7% по U-235) ядерным топливом (рис. 2).

Конструкционная схема 6-трубной ТВС типа ИРТ-4М показана на рисунке 2.

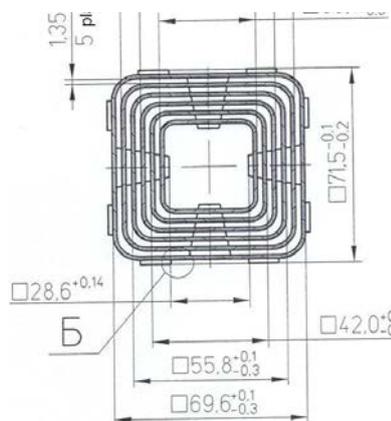


Рис. 2. Схема 6-трубной ТВС типа ИРТ-4М (вид сверху)

В «горячих камерах» реактора после завершения процесса облучения упаковок иридиевых дисков на специальном устройстве была проведена радиохимическая переработка облученных иридиевых дисков, которые были размещены в капсулу источника из нержавеющей стали, закрыта крышка и проведе-

ны герметизация капсулы источника аргонно-дуговой сваркой и проверка герметичности иммерсионным методом [9].

В защитной камере при помощи специального устройства (рис. 3) проведена вальцовка источника Ir-192 в держатель источника с гибким валом и зарядка в радиационную головку гамма-дефектоскопа Гаммарид-192/120М.

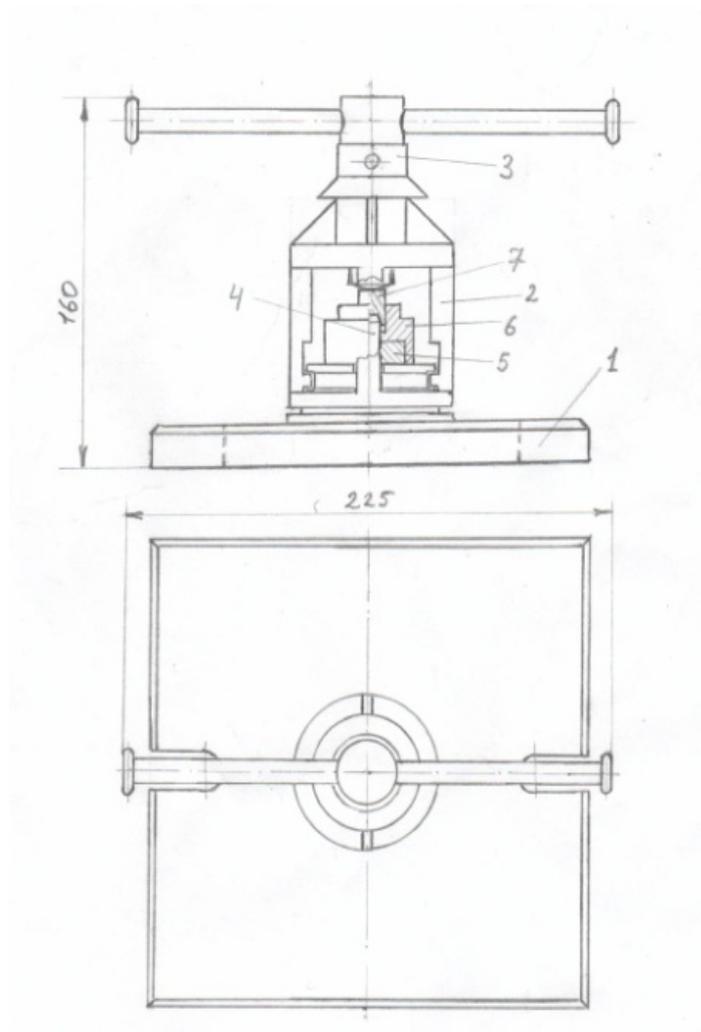


Рис. 3. Конструкционная схема устройства для вальцовки держателя источника

В защитной камере при помощи дистанционных манипуляторов на специальном устройстве по вальцовке держателя источника Ir-192 крышку держателя источника вальцевали в корпус держателя источника способом закручивания рукоятки устройства вокруг

своей оси, что обеспечивало вальцовку держателя источника с Ir-192.

Технологическая схема изготовления источника Ir-192 и его комплектация с гамма-дефектоскопом Гаммарид-192/120М приведена на рисунке 4.

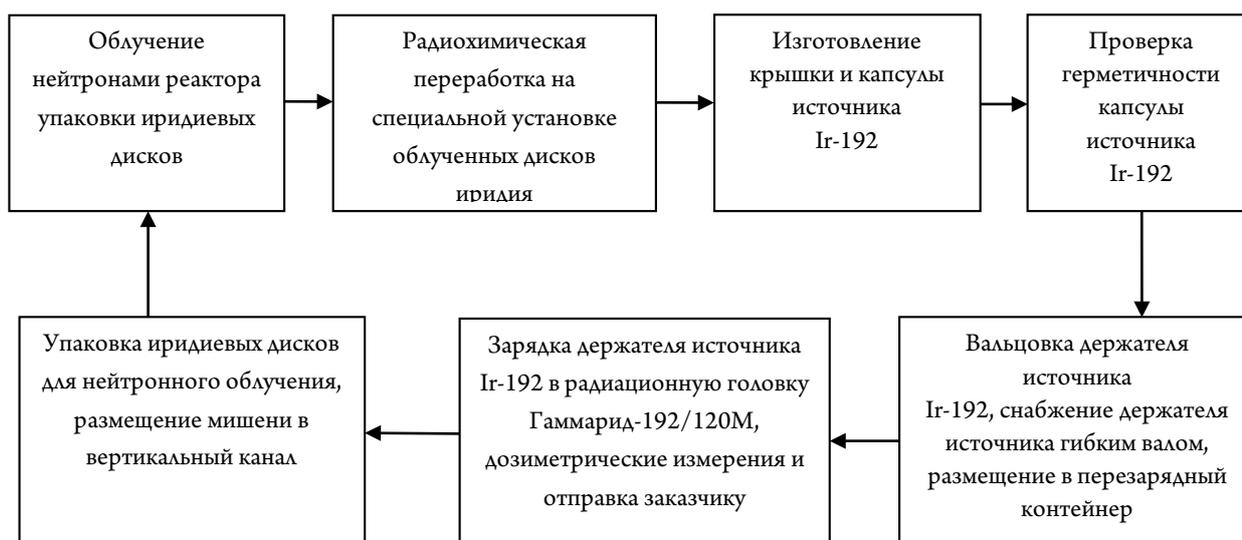


Рис. 4. Технологическая схема изготовления источника Ir-192 и его комплектации с гамма-дефектоскопом Гаммарид-192/120 М

В таблице 6 приведены основные технические характеристики опытного источника Ir-192 [10].

**Таблица 6
Основные технические характеристики опытного источника Ir-192 активностью 120 Ки**

	Наименование, характеристика и единица измерения	Данные
1	Рабочая поверхность	дно
2	Измеренное методом прямых измерений дозиметром, значение мощности экспозиционной дозы (МЭД) источника, А/кг	$4,8 \cdot 10^{-6}$
3	Измеренное методом прямых измерений дозиметром значение мощности экспозиционной дозы гамма-излучения на расстоянии 50 мм от поверхности радиационной головки с заряженным источником, А/кг (мР/час)	$3,58 \cdot 10^{-9}$ (50)
4	Доверительные границы суммарной погрешности результатов измерения мощности экспозиционной дозы источника при вероятности 0,95, в %	± 20
5	Дата измерения мощности экспозиционной дозы гамма-излучения источника	29.01.2014
6	Активность радионуклида Ir-92 в источнике, Бк	$4,44 \cdot 10^{13}$
7	Наружные размеры источника, мм	диаметр – 4,5 высота – 8,0
8	Размеры активной части источника, мм	диаметр – 3,0 высота – 4,5
9	Материал капсулы	сталь марки 12Х18Н10Т
10	Герметичность источника	герметичная капсула
11	Уровень радиоактивного загрязнения источника радиоактивными веществами при определении методом снятия мазка, в Бк	не более 185

В таблице 7 показаны основные результаты тестирования по НК образца металлической трубы диаметром 219 мм и толщиной

стенки 8,0 мм со сварным швом через две стенки, полученные гамма-дефектоскопом Гаммарид-192, заряженного источником Ir-192.

Таблица 7

Основные результаты гамма-радиографии тест-образца

Заводской номер Гаммарид-192/120М (номер источника Ir-192)	Радиационная толщина металла, мм	Время экспозиции, с	МЭД на поверхности радиационной головки с источником, мкЗв/сек	Чувствительность рентгеновского снимка согласно ГОСТ 7512-82, (по II классу чувствительности), мм	Оптическая плотность рентгеновского снимка, е.о.п.
1128 (01)	20,0	25	0,083	0,4	2,0

На рисунках 5 и 6 показаны рентгеновские снимки образцов сварных соединений трубопроводов различных диаметров, полученные гамма-дефектоскопом Гаммарид-192/120М с источником Ir-192.

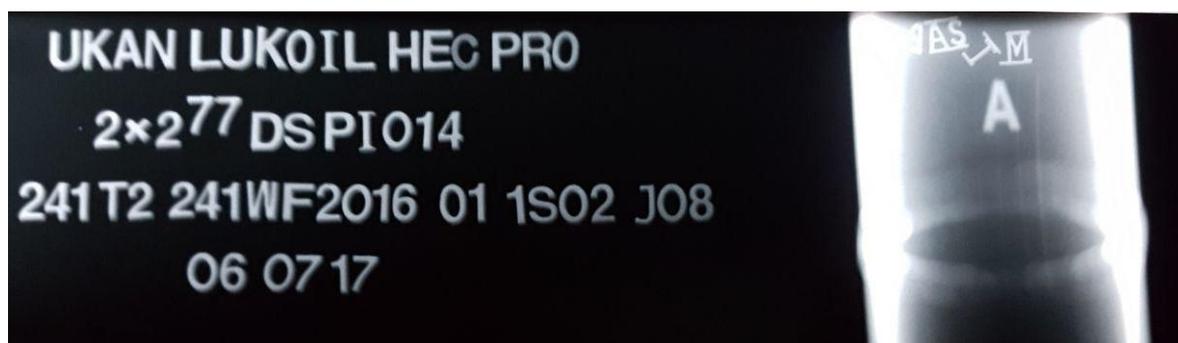


Рис. 5. Рентгеновский снимок образца сварного шва диаметром 50,8 мм, полученный при гамма-радиографии



Рис. 6. Рентгеновский снимок образца сварного шва диаметром 1120 мм, полученный при гамма-радиографии

Из рисунка 6 видно, что на образце сварного шва отчетливо видны скопления газовых пор и шлаковые включения.

Основные результаты гамма-радиографии тест-образца и рентгеновские снимки по чувствительности и качеству соответствуют требованиям ГОСТ-7512-82 «Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиографический метод» [11].

Выводы

1. Создана технология изготовления герметичных источников Ir-192 активностью 50÷120 Ки и их комплектации с гамма-дефектоскопами Гаммарид-192/120М с зарядкой источников Ir-192 в радиационные головки гамма-дефектоскопов Гаммарид-192/120М.

2. Определены оптимальные режимы облучения нейтронами реактора металлических дисков природного иридия с получением радионуклида Ir-192 с высокой специфической активностью (53÷126 Ки/г). Условия облучения иридиевых дисков в вертикальном канале реактора для изготовления источника Ir-192 активностью 50 Ки следующие: облучение упаковок иридиевых дисков в вертикальном канале реактора в блок-контейнере ЭК-10, расположенном в центральной полой части ТВС типа ИРТ-4М на расстоянии 35-50 см от верхней точки вертикального канала; эксплуатация реактора в режиме с периодическими остановками (3 суток работы реактора три раза в месяц) при номинальной мощности 10 МВт; плотность потока тепловых нейтронов $\sim 0,5 \cdot 10^{14}$ нейтрон/см²·сек; время облучения 550÷600 часов.

3. После завершения облучения нейтронами реактора упаковок иридиевых дисков проведена радиохимическая переработка облученных иридиевых дисков и изготовлен герметичный источник ионизирующего излу-

чения Ir-192, проведена герметизация и проверка герметичности источника Ir-192. Проведена комплектация источника Ir-192 с гамма-дефектоскопом Гаммарид-192/120М. Проведена вальцовка источника Ir-192 в держатель источника с гибким валом и зарядка в радиационную головку гамма-дефектоскопа Гаммарид-192/120М.

4. Гамма-дефектоскоп Гаммарид-192/120М с заряженным источником Ir-192 был использован для гамма-радиографии тест-образца металлической трубы со сварным швом диаметром 219 мм и толщиной стенки 8 мм через две стенки и получены рентгеновские снимки неразрушающего контроля, по чувствительности и качеству соответствующие требованиям ГОСТ-7512-82 «Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиографический метод».

5. Изготовленные источники Ir-192 активностью 50÷120 Ки вместе с гамма-дефектоскопами Гаммарид-192/120М были использованы для проведения гамма-радиографического метода неразрушающего контроля качества сварных швов трубопроводов и металлических конструкций в нефтегазовой отрасли энергетического комплекса. После истечения срока службы источники Ir-192 были разряжены и захоронены как радиоактивные отходы в ГУП «РПЗРО»..

6. Применение гамма-радиографического метода контроля с источником Ir-192, укомплектованного гамма-дефектоскопом Гаммарид-192/120М, показало высокую эффективность, и проведенные совместные работы с иностранными партнерами по неразрушающему контролю по американским стандартам ASME на строительстве тепловых электростанций и газоперерабатывающих заводов Республики Узбекистан получили международное признание [12].

Благодарность

Авторы выражают благодарность Юлдашеву Б.С., Махамову Ш.М., Байтелесову С.А. и Исаеву Ю.А. за содействие при выполнении исследований.

Источники и литература

1. Shilton M.G., Chem C.. *Safety Performance of Se-75 Radiography Sources // 12-th Asia-Pacific Conference on NDT. – 5-th–10-th Nov. – 2006. – Auckland, New Zealand, 6.*
2. Свойства элементов. Справочник. – М.: Металлургия, 1985. – С. 514.
3. Герасимов А.С., Зарицкая Т.С., Рудик А.П. Справочник по образованию нуклидов в ядерных реакторах. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – С. 484-495.
4. Левин В.И. Получение радиоактивных изотопов. – М.: Атомиздат, 1972. – С. 25.
5. Уваров И.И., Афанасьев П.Г., Злоказов С.Б. и др. Изменение чувствительности термонейтронных датчиков в интенсивных полях ионизирующего излучения. *Атомная энергия*, 1981, – т. 50, -№ 1. – С.57-58.
6. Злоказов С.Б. и др. Радиационные и термические испытания термонейтронных датчиков // *Атомная энергия*, 1981. – т. 51. – № 5. – С. 334.
7. Левин В.Е. *Ядерная физика и ядерные реакторы.* – М.: Атомиздат, 1979. – С.160-161.
8. Юлдашев Б.С., Ашрапов Т.Б., Мирзаев Н.М., Ашрапов У.Т. Контейнер для облучения образцов в реакторе // *Предварительный патент Республики Узбекистан № IDP04633.* – 2000.
9. Ашрапов У.Т., Эргашев Х.А., Махкамов Ш.М. Метод проверки герметичности источника ионизирующего излучения. // *Предварительный патент Республики Узбекистан № 4943.* – 1997.
10. Паспорт № 01/14 на опытный образец источника гамма-излучения закрытый с радионуклидом Иридий-192 // *ИЯФ АН РУз.* – 2014. – 4 с.
11. *Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиографический метод // ГОСТ-7512-82.* – М.: Изд. Стандартов, 1982. – 22 с.
12. Ashrapov U.T., Khujaev S.S., Khalikov U.A., Isaev Y.A. *Manufacturing of Ionizing Radiation Source of Iridium for Gamma-defectosopes of Gammarid-192/120M.. International scientific journal «Material Sciences. Nonequilibrium Phase Transformations».* – Sofia, Bulgaria. – V.2. – 2018. – P. 52-54.

Рецензент:

Нестеров В. П., к.тех.н., академик медико-технических наук России, главный специалист НПО № 59.17 АО «НИИТФА», Москва, Россия