

ИНЖЕНЕРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ

УДК 621.039.84

КАЛИБРОВКА РАДИОИЗОТОПНОГО ПРИБОРА

© 2023 г. У. Т. Ашрапов^a, *, И. И. Садиков^a, И. М. Камилов^a, Ш. Р. Маликов^a

^a Институт ядерной физики Академии наук, Ташкент, 100214 Республика Узбекистан

*E-mail: ashrapov@inp.uz

Поступила в редакцию 15.11.2022 г.

После доработки 03.02.2023 г.

Принята к публикации 09.02.2023 г.

В статье приведены данные о радиоизотопных приборах, в том числе радиоизотопном уровнемере — радиоизотопном индикаторе уровня нефтяного кокса и радиоизотопном плотномере. В статье описаны методы калибровки радиоизотопного плотнмера Gammapiot (Endress + Hauser AG, Швейцария). Для комплектации радиоизотопного плотнмера использовали источник ионизирующего излучения типа ^{137}Cs ГСs7.021.1 с активностью $3.06 \cdot 10^9$ Бк (82.7 мКи), герметичность которого проверяли иммерсионным методом с 8% ортофосфорной кислотой в качестве иммерсионной жидкости. Для калибровки радиоизотопных плотномеров были изготовлены стенды имитаторы и жидкие имитаторы различной плотности на основе смеси растворов трибромметана и этилового спирта. Радиоизотопные плотномеры были откалиброваны для низкой плотности эмульсии пульпы, средней плотности эмульсии пульпы и высокой плотности эмульсии пульпы. В калиброванных радиоизотопных плотномерах при достижении нижнего предела плотности пульпы в блоке детектирования появляется выходной электрический сигнал на разъеме “0–5 мА”, а при достижении верхнего предела плотности пульпы появляется выходной электрический сигнал на разъеме “4–20 мА”.

Ключевые слова: радиоизотопный измеритель уровня, радиоизотопный плотномер, источник ионизирующего излучения, имитаторы жидкости, стенд имитатора, калибровка

DOI: 10.56304/S2079562922050566

1. ВВЕДЕНИЕ

В народном хозяйстве широко применяются радиоизотопные приборы (радиоизотопные плотноммеры, толщиноммеры, уровнемеры, гамма-весы, гамма-реле, пожарные извещатели). Их главные преимущества — бесконтактность, точность, надежность и измерение в онлайн режиме. Радиоизотопные приборы обеспечивают быстрое, непрерывное измерение уровня или плотности технологических продуктов и преобразование полученного значения плотности или уровня в выходной токовый сигнал, а также контроль сигнализации при выходе основного параметра за пределы заданного диапазона и регистрацию полученных результатов. Радиоизотопный метод позволяет определять плотность или уровень агрессивных и вязких сред, а также жидкостей, находящихся под высоким давлением или температурой, где применение других типов приборов практически невозможно. Основным недостатком является возможность возникновения негативных последствий от неправильной эксплуатации и неправильного обращения с источником радиоактивного излучения.

В Институте ядерной физики АН РУз (ИЯФ АН РУз) разработан и эксплуатируется на Ферганском

и Бухарском Нефтеперерабатывающих заводах радиоизотопный индикатор уровня нефтяного кокса для технологического контроля уровня нефтяного кокса (пены) в коксовых камерах и сигнализацию уровня жидкой серы в цистернах.

В комплект деталей радиоизотопного индикатора нефтяного кокса входят: блок гамма-источников БГИ-75 (БГИ-45, Э-1М) с источником ^{137}Cs ГСs7.021.4 активностью до $6.1 \cdot 10^{10}$ Бк (1.65 Ки); блок детектирования в корпусе; электронный распределительный блок; кабель коаксиальный РК-75-7-27 ($L = 100$ м); имитаторы кокса и пены; комплект ЗИП; паспорт; техническое описание и инструкция по эксплуатации.

Gammapiot (Endress + Hauser AG, Швейцария) — радиоизотопный плотномер, предназначенный для бесконтактного измерения плотности пульп и жидких сред в трубопроводах с целью контроля содержания кислот в трубопроводах и содержания сыпучих материалов (руды) в весовых воронках и бункерах. В производственных линиях Акционерного Общества “Навоийская горно-металлургическая комбинат” (АО НГМК) для определения плотности суспензии эмульсионной



Рис. 1. Радиоизотопный индикатор уровня нефтяного кокса: блок источников излучения (БГИ-45), электронный распределительный блок, блок детектирования, имитаторы пены и кокса.

пульпы используются радиоизотопные плотнометры Gammapirot (Endress + Hauser AG, Швейцария).

2. ПРИНЦИП РАБОТЫ РАДИОИЗОТОПНЫХ ПРИБОРОВ

В радиоизотопном индикаторе уровня нефтяного кокса источник источника гамма-излучения ^{137}Cs установлен с одной стороны коксовой камеры, а с диаметрально противоположной стороны на том же уровне установлен детектор излучения. Радиоизотопный индикатор уровня нефтяного кокса работает на основе ослабления потока гамма-излучения при прохождении гамма-излучения через объект контроля (коксовую камеру). Поток излучения от источника ^{137}Cs проходит через объект контроля (коксовую камеру) и поступает в детектор, где преобразуется в последовательность выходных электрических сигналов, которые по соединительному кабелю подаются на электронный щитовой блок. В блоке электронной щитовой происходит набор импульсов за определенный промежуток времени а количество набранных импульсов дает информацию о содержимым реактора (газ, пена, или кокс), которая отображается на светодиодах на лицевой панели и выводится в виде токового сигнала на разъемы “0–5 мА” и “4–20 мА” (в дальнейшем на самописец) и в виде дискретного сигнала на разъем с обозначением “Выход Реле”.

На рис. 1 показан радиоизотопный индикатор уровня нефтяного кокса [1].

Принцип работы радиоизотопного плотнометра Gammapirot (Endress + Hauser AG, Швейцария) основан на измерении ослабленного пучка гамма-излучения от источника ионизирующего излучения после его прохождения через измеряемый продукт. В блоке детектирования пучок гамма-из-

лучения преобразуется в электрические сигналы, которые по коаксиальному кабелю передаются в блок обработки и анализа информации. В блоке обработки и анализа информации через определенный интервал времени возникает набор электрических импульсов, который дает информацию о плотности измеряемого продукта.

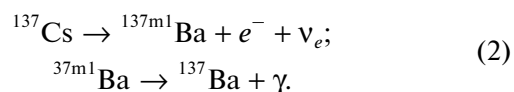
Интенсивность энергетически однородного пучка γ -квантов, прошедшего через слой жидкости, определялась по формуле:

$$I = I_0 e^{-\mu \rho h}, \quad (1)$$

где: I_0 — интенсивность γ -излучения на поверхности слоя; μ — массовый коэффициент ослабления пучка γ -лучей; ρ — плотность измеряемой жидкости; h — толщина слоя жидкости.

Блок источника излучения заряжается источником ионизирующего излучения ^{137}Cs или ^{60}Co . Источник ионизирующего излучения Co-60 с радионуклидом ^{60}Co имеет период полураспада $T_{1/2} = 5.2133$ г. и жесткую энергию гамма-излучения ($E_\gamma = 1.1732$ МэВ, $E_\gamma = 1.3325$ МэВ), поэтому используются в редких случаях, поскольку блок источника гамма-излучения должен иметь большую массу из свинцовой защиты для обеспечения защиты от гамма-излучения персонала. Однако использование источника ионизирующего излучения ^{137}Cs с радионуклидом ^{137}Cs , обладающим средней энергией гамма-излучения ($E_\gamma = 661.7$ кэВ) и большим периодом полураспада ($T_{1/2} = 30.05$ лет), является наиболее приемлемым для загрузки в блок источника излучения радиоизотопного плотнометра.

В результате бета-распада радионуклида ^{137}Cs образуется изомер $^{137\text{m1}}\text{Ba}$ ($T_{1/2} = 2.552$ мин), который с вероятностью 94.4% превращается в стабильный изотоп ^{137}Ba по схеме [2]:



В радиоизотопном плотнометре гамма-излучение от источника ^{137}Cs поступает в технологический трубопровод с эмульсией пульпы через коллиматор блока источника излучения и регистрируется блоком детектирования, установленным на противоположной симметричной стороне трубопровода. В блоке детектирования поток гамма-излучения источника ^{137}Cs преобразуется в последовательность статистически распределенных импульсов со средней частотой следования в зависимости от плотности измеряемой пульпы, а плотность эмульсионной пульпы отображается на дисплее блока обработки и анализа информации.

Импортирование в Республику Узбекистан радиоактивного источника ^{137}Cs для радиоизотопного плотнометра связано с некоторыми трудностями

ми, такими как получение лицензии на импорт-ирование источника из-за рубежа, использования, хранения и утилизации его после истечения срока службы. В связи с этим зарядка блока источника излучения импортного радиоизотопного плотномера, источником ^{137}Cs типа ГСs7.021.1, который имеется в ИЯФ АН РУз, калибровка радиоизотопного плотномера в лабораторных условиях, монтаж и наладка готовых радиоизотопных плотномеров в производственной технологической линии гидрometаллургического завода АО НГМК является актуальной научно-технической задачей.

Целью исследований является разработка методов контроля герметичности источника ^{137}Cs , зарядка источника ^{137}Cs типа ГСs7.021.1 в блок источника излучения радиоизотопного плотномера Gammapilot, разработка методики лабораторной калибровки радиоизотопного плотномера, а также проведение работ по монтажу и наладки откалиброванных радиоизотопных приборов в подразделениях АО НГМК.

3. МЕТОДЫ, РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Испытание на герметичность закрытого источника ионизирующего излучения ^{137}Cs

Каждый радиоактивный источник ионизирующего излучения должен пройти контроль герметичности (испытание на герметичность) после истечения срока службы и продление срока службы для дальнейшей эксплуатации [3, 4]. Проверка герметичности источника ^{137}Cs типа ГСs7.021.1 проводилась в специальном защитном боксе, исключающем переоблучение персонала.

Следующие методы проверки герметичности источника были использованы:

1. Иммерсионный метод. Радиометрический метод проверки герметичности любого типа источника с капсулой из нержавеющей стали обычно проводится при погружении источника в иммерсионную жидкость на один час, для чего завод изготовитель рекомендует использовать 10% раствор азотной кислоты (HNO_3), нагретый до $60^\circ\text{--}90^\circ\text{C}$. К сожалению, этот метод нельзя использовать для проверки герметичности источников с истекшим сроком службы, поскольку использование раствора HNO_3 может вызвать коррозию капсулы радиоактивного источника. Источник ионизирующего излучения должен быть полностью погружен в иммерсионную жидкость, которая не воздействует на материал капсулы, но эффективно растворяет радиоактивное вещество. Такой иммерсионной жидкостью может быть 10%-й водный раствор трилона Б (2-водный раствор динатриевой соли этилендиаминтетрауксусной кислоты)

или 8%-й водный раствор ортофосфорной кислоты [5].

Источник ^{137}Cs загружали в иммерсионную жидкость H_3PO_4 и выдерживали при комнатной температуре в течение 1 ч, после чего измеряли активность экстракта с помощью гамма-спектрометра.

Активность иммерсионной вытяжки измеряли по методике измерения удельной активности гамма-излучающих радионуклидов в счетных пробах на полупроводниковом гамма-спектрометре Canberra с германиевым детектором, программа Genie-2000 (США) для количественного анализа гамма-спектров радионуклиды и гамма-бета-спектрометр "РАДЭК" МКГБ-01 (Россия). Активность (A) измеренного кислотного экстракта рассчитывают по следующей формуле:

$$A = A_c \frac{N_1}{N_2}, \quad (3)$$

где A_c — активность контрольного раствора с радионуклидом ^{137}Cs с известной активностью; N_1 — скорость счета кислотного экстракта; N_2 — скорость счета контрольного раствора.

Активность всех радионуклидов, перешедших в фосфорную кислоту, не превышала 185 Бк (5 нКи), что и требовалось для соблюдения требуемых нормативов [6, 7].

2. Вакуумно-жидкостный (пузырьковый) метод. Источник погружается в жидкость (этиленгликоль, спирт, или вода) в вакуумной камере, где создается вакуум 15–25 кПа. Отсутствие пузырьков в течение 1 мин свидетельствует о герметичности источника.

3. Радиометрический метод мазка. С поверхности источника ^{137}Cs брали влажные и сухие мазки тампоном, смоченным водой и раствором азотной кислоты. При проверке герметичности источника активность радионуклидов на тампоне не превышала 185 Бк (5 нКи), что свидетельствует о герметичности источника.

Таким образом, источник ^{137}Cs типа ГСs 7.021.1 был испытан на герметичность тремя различными методами и сертифицирован как годный к дальнейшей эксплуатации.

Зарядка источника ^{137}Cs в блок источника излучения

Источник ^{137}Cs типа ГСs7.021.1 диаметром 8 мм, высотой 12 мм и активностью $3.06 \cdot 10^9$ Бк (82.7 мКи) использовали для зарядки в блок источника излучения.

На рис. 2 показан механизм блокировки блока источника излучения.

Для зарядки источника ^{137}Cs в блоке источника излучения гнездо источника в затворе блока ис-



Рис. 2. Блок источника излучения (а) и затвор блока источника излучения (б).

точника излучения было увеличено. Гнездо затвора блока источника излучения, имевший диаметр 7 мм и глубину 10 мм, был увеличен до диаметра 10 мм и глубины 13 мм, что позволило зарядить источник ^{137}Cs .

На рис. 3 представлена схема работы блока источника излучения.

Монтаж свинцового экрана перед коллиматором

Для удовлетворения требований производителя радиоизотопного плотномера [8] активность источника ^{137}Cs типа ГСs7021.1 (активность 82.7 мКи) была снижена в 10 раз с помощью защитного экрана из металлической свинцовой пластины толщиной 15 мм. Толщину свинцового экрана определяли дозиметрическим методом измерения мощности экспозиционной дозы (МЭД) от источника ^{137}Cs со следующими этапами:

А. Блок источника излучения с источником ^{137}Cs типа ГСs7.012.8 (активность 8.56 мКи) располагали на расстоянии 45 мм с одной стороны пустого стенда моделирования, а с противоположной стороны стенда на расстоянии 100 мм был установлен блок детектора. При положении коллиматора “открыто” дозиметрическим сцинтилляцион-

ным геологоразведочным прибором СРП-88Н был измерен МЭД гамма-излучения в трех точках измерения вдоль блока детектирования (точка № 1 – расстояние 0 мм от начала детектора, точка № 2 – на расстоянии 200 мм от начала детектора, и точка № 3 – на расстоянии 400 мм от начала детектора).

Б. Блок источника излучения с источником ^{137}Cs типа ГСs7.021.1 (активность 82.7 мКи) располагали на расстоянии 45 мм с одной стороны пустого имитационного стенда, а с противоположной стороны стенда на расстоянии 100 мм устанавливался блок детектирования. При положении коллиматора “открыто” дозиметрическим прибором СРП-88 Н измеряли МЭД гамма-излучения в трех точках измерения вдоль блока детектирования, как это описано в этапе А.

В. Коллиматор блока источника с источником ^{137}Cs типа ГСs7.021.1 (активность 82.7 мКи) был закрыт свинцовым экраном различной толщиной (5, 10, 15, 20, 25 мм), а пустой стенд располагали на расстоянии 45 мм от коллиматора. Детекторный блок располагался на расстоянии 100 мм от пустого стенда. После положения коллиматора “открыто” дозиметрическим прибором определял МЭД гамма-излучения вблизи блока детектирования в трех точках измерения, как это описано в пунктах А и Б. Толщину свинцового экрана подбирали таким образом, чтобы измерения МЭД имели одинаковое значение в случае А и В.

Результаты дозиметрического контроля МЭД источников ^{137}Cs приведены в табл. 1.

Как видно из табл. 1 (замеры №№ 7, 8 и 9), при наличии свинцового (Pb) экрана толщиной 15 мм перед коллиматором на блоке источника излучения с источником ^{137}Cs типа ГСs7.021.1 (активность 87.2 мКи) значение средней дозы МЭД составляет 6.6 мкЗв/ч, что равно среднему значению дозы от источника ^{137}Cs источник типа ГСs7.012.8 активностью 8.56 мКи (замеры №№ 1, 2 и 3), т.е. свинцовый экран толщиной 15 мм полностью поглощает пучок гамма-излучения и сни-

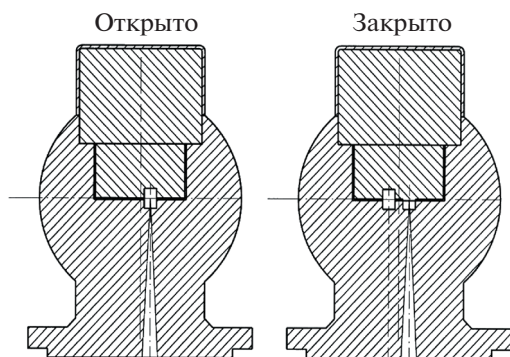


Рис. 3. Устройство для блокировки источника излучения.

Таблица 1. Результаты дозиметрического контроля МЭД источников ^{137}Cs

Номер измерения	Источник ионизирующего излучения ¹³⁷ Cs, мКи	Точка измерения (расстояние от начало сцинтилляционного кристалла детектора, мм)	Мощность экспозиционной дозы, мкЗв/ч
1	ГCs7.012.8 (8.56)	1 (0)	6.6
2		2 (200)	7.6
3		3 (400)	5.6
			Среднее ~ 6.6
4	ГCs7.021.1 (87.2)	1 (0)	32
5		2 (200)	30.1
6		3 (400)	30.7
			Среднее ~30.9
7	ГCs7.021.1 (87.2) с свинцовым экраном тол- щиной 15 мм перед коллиматором	1 (0)	6.4
8		2 (200)	6.8
9		3 (400)	6.5
			Среднее ~ 6.6

жает интенсивность гамма-излучения ИИИ ^{137}Cs типа ГCs7.021.1 в 10 раз.

Дозиметрический контроль гамма-излучения на расстоянии 0 м от поверхности блока источника излучения показал, что МЭД составляет 55 мкЗв/ч (55 мкГр/ч), а на расстоянии 1.0 м МЭД составляет 0.5 мкЗв/ч (0.5 мкГр/ч). Согласно санитарным нормативным требованиям [3], в радиоизотопных устройствах, предназначенных для эксплуатации в производственных условиях, МЭД на поверхности (0 м) блока источника гамма-излучения с любым типом источника не должна превышать 100 мкГр/ч, а на расстоянии 1.0 м, она не должна превышать 3 мкГр/ч, поэтому не требуется дополнительная свинцовая защита на поверхности блока источника гамма-излучения.

Изготовление жидкостных имитаторов и калибровочных стенов

Петролейный эфир, бензин, бензол ($\rho = 650\text{--}860\text{ г/дм}^3$), водно-спиртовые растворы ($\rho = 870\text{--}950\text{ г/дм}^3$), серно-винные растворы ($\rho = 960\text{--}1010\text{ г/дм}^3$), серно-водные растворы ($\rho = 960\text{--}1830\text{ г/дм}^3$) и растворы Туле ($\rho = 1840\text{--}2000\text{ г/дм}^3$) могут использоваться для калибровки радиоизотопных плотномеров [9].

Для калибровки радиоизотопного плотномера использовали жидкие имитаторы на основе смеси трибромметана (бромформа) и этанола по стандарту [10]. Для приготовления жидких имитаторов трибромметан (CHBr_3), стабилизированный

резорцином, и этиловый спирт ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) смешивали в стеклянных емкостях емкостью 5.0 л. В табл. 2 представлено соотношение компонентов в жидких имитаторах.

Каждый отдельный калибровочный стенд был изготовлен из металлического листа, размеры которой соответствовали диаметру технологической трубы и толщины ее стенки. Имитационные стенды в виде квадратных емкостей были изготовлены путем сварки квадратных стальных заготовок. Стенды имитаторы в виде трубы были изготовлены из

Таблица 2. Соотношение компонентов в жидких имитаторах

Значение плотности, г/дм ³	Состав имитатора, в % от общего объема	
	бромформа	этиловый спирт
800	0.5	99.5
1000	10.0	90.0
1200	19.5	80.5
1400	29.0	71.0
1600	38.5	61.5
1800	48.0	52.0
2000	57.5	42.5
2200	67.0	33.0
2400	76.5	23.5
2600	86.0	13.0
2800	95.6	4.5

Таблица 3. Результаты калибровки радиоизотопного плотномера № Р 9007001064 FHX-40

Плотность жидкого имитатора, г/см ³	Фактическая плотность при температуре 25°С, г/см ³	Плотность, измеренная радиоизотопным плотномером, г/см ³
1.188	1.255	1.2033
1.415	1.415	1.4151
1.730	1.735	1.7288

цельной металлической трубы в соответствии с технологическим параметром трубопровода. Каждый металлический стенд имел входной и выходной патрубки с резьбовыми крышками. Жидкие имитаторы заливали в стенды и закрывали крышками. Также, был изготовлен стенд из отрезки композитной трубы диаметром 420 мм и высотой 22 мм, а жидкие имитаторы были размещены в трех пластиковых емкостях объемом 10 л каждая. Толщины стендов имитаторов точно соответствовали размерам технологических труб. Лабораторными стеклянными ареометрами предварительно определяли плотность жидких имитаторов.

Метод калибровки радиоизотопного плотномера

В начале располагали блок источника излучения с источником ¹³⁷Cs в положение “закрыто”, а стенд имитатор с жидким имитатором располагали на расстоянии 45 мм от него. Далее на расстоянии 100 мм от центра стенда имитатора с жидким имитатором размещали блок детектирования. В соответствии с инструкцией по эксплуатации радиоизотопного плотномера блок детектирования радиоизотопного плотномера был соединен соединительным кабелем с блоком обработки и анализа информации и подключен к электрической сети. Перед измерениями жидкий имитатор выдерживали 30 мин, чтобы учесть флуктуацию, далее проводили калибровку радиоизотопного плотномера течение 30–45 мин. Программное обеспечение блока обработки и анализа информации радиоизотопного плотномера поз-

воляет проводить калибровку по девяти точкам измеряемой плотности. Однако, мы калибровали радиоизотопный плотномер по трем различным точкам плотности эмульсии пульпы (верхний уровень, средний уровень и нижний уровень), что было достаточно для оптимальной калибровки радиоизотопного плотномера. В результате калибровки была достигнута точная калибровка радиоизотопного плотномера, т.е. количество возникающих в детекторе электрических импульсов (частота), которые передаются в блок обработки и анализа информации, соответствует измеренной плотности имитатора жидкости.

Таким образом, радиоизотопный плотномер № Р 9007001064 FHX-40 был откалиброван на нижний уровень плотности пульповой эмульсии по жидкому имитатору № 1 ($\rho = 1118$ г/дм³), средний уровень плотности пульповой эмульсии по жидкому имитатору № 1. 2 ($\rho = 1414$ г/дм³), а верхний уровень плотности эмульсии пульпы по жидкому имитатору № 3 ($\rho = 1715$ г/дм³).

Проведены работы по монтажу и пуско-наладки радиоизотопных плотномеров в технологических трубопроводах АО НГМК. При монтаже радиоизотопных плотномеров в технологических трубопроводах были полностью соблюдены санитарно-эпидемиологические требования по обращению и установке радиоизотопных приборов [11], где указано, что мощность эквивалентной дозы для персонала группы А и Б не должно превышать 0.5 мкЗв/ч, а в местах возможного присутствия людей не более 1 мкЗв/ч.

На рис. 4 показана калибровка радиоизотопного плотномера на стенде имитаторе в виде квадратного контейнера, металлической трубы и композитной трубы.

На рис. 5 представлена зависимость силы тока в детекторе от плотности эмульсии пульпы.

В табл. 3 представлены результаты калибровки радиоизотопных плотномеров № Р 9007001064 FHX-40.

В табл. 4 приведены технические характеристики радиоизотопного плотномера № Р 9007001064 FHX-40.

Таблица 4. Технические характеристики радиоизотопного плотномера No. Р 9007001064 FHX-40

Наименование	Тип	Значение
Блок источника радиации	FQG61/40°, № PA 00040113F	Вес: 40 кг
Источник ¹³⁷ Cs	GCS7.021.1, № 190	Активность: 87.2 мКи
Сцинтилляционный детектор	FM G60, № P 900A50100F	Длина: 400 мм
Источник питания	Переменный ток	Напряжение: 220 В
Выходной электрический сигнал	Постоянный ток	При нижнем пределе плотности пульпы $I = 4.0$ мА; при верхнем пределе плотности пульпы $I = 20.0$ мА

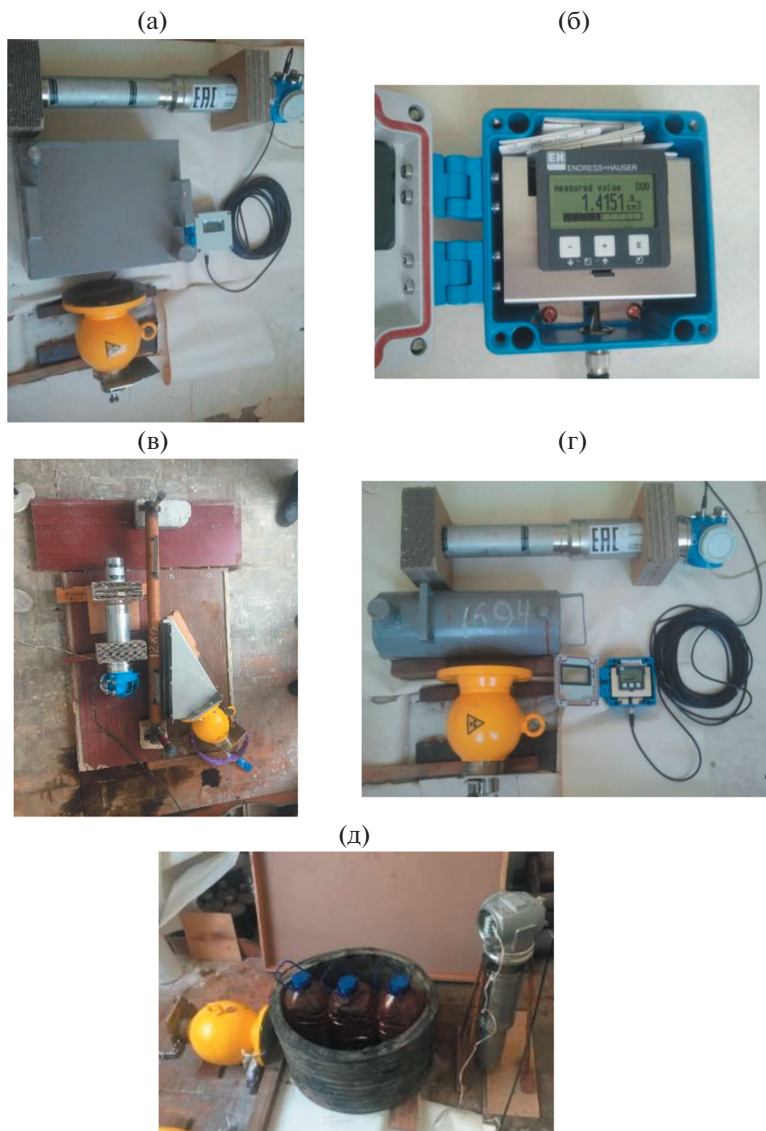


Рис. 4. Калибровка радиоизотопного плотномера № Р 9007001064 FHX-40: (а) блок источника гамма-излучения, свинцовый экран толщиной 15 мм, стенд имитатор с жидким имитатором № 2 ($\rho = 1415 \text{ г/дм}^3$) и детектор; (б) внешний вид блока, обработка и анализ информации с открытой крышкой, где отображен значение измерения имитатора жидкости № 2 ($\rho = 14151 \text{ г/дм}^3$). Калибровка радиоизотопного плотномера на стендовых имитаторах в форме металлической трубы (в, г) и композитной трубы (д).

На рис. 6 показана геометрия измерения гамма-излучения радиоизотопным плотномером, установленным на технологической трубе диаметром 446 мм.

На рис. 7 представлена схема крепления радиоизотопного плотномера на технологической трубе: 1 – вертикальная балка; 2 – диагональная балка; 3 – измерительный тракт.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана методика контроля герметичности источника ионизирующего излучения ^{137}Cs и ее зарядки в блок источника излучения радиоизо-

топного плотномера (Endress + Hauser AG, Швейцария), а также методика калибровки радиоизотопного плотномера в лабораторных условиях. Один из радиоизотопных плотномеров был откалиброван на нижний уровень плотности эмульсии пульпы ($\rho = 1200 \text{ г/дм}^3$) по жидкостному имитатору № 1 ($\rho = 1118 \text{ г/дм}^3$), на средний уровень по жидкому имитатору № 2 ($\rho = 1414 \text{ г/дм}^3$) и верхний уровень по жидкому имитатору № 3 ($\rho = 1715 \text{ г/дм}^3$). При достижении уровня плотности пульповой эмульсии в блоке детектирования нижней границы предела при работе радиоизотопного плотномера появляется электрический выходной сигнал

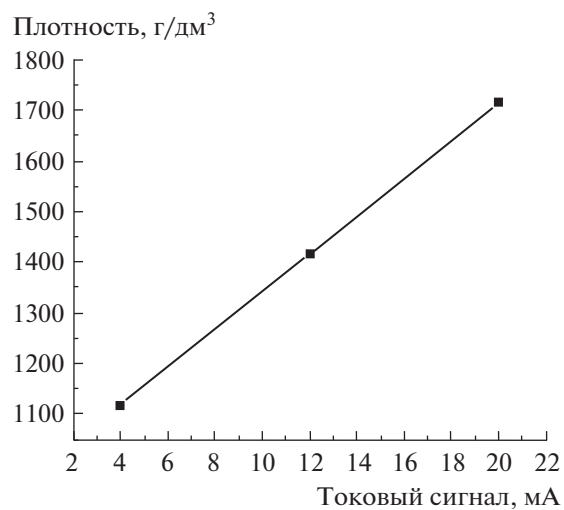


Рис. 5. Зависимость силы тока от плотности эмульсии пульпы.

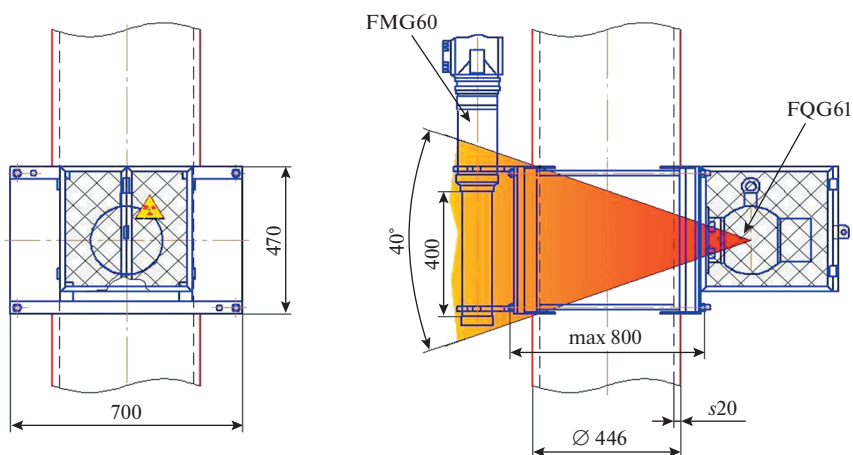


Рис. 6. Геометрия измерения гамма-излучения с установленным радиоизотопным плотномером на технологической трубе.

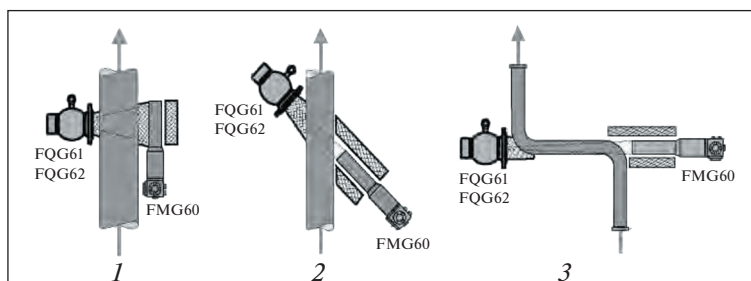


Рис. 7. Схема крепления радиоизотопного плотнмера на технологической трубе: 1 — вертикальная балка; 2 — диагональная балка; 3 — измерительный тракт.

на разьеме “0–5.0” мА, а при достижении уровня плотности пульповой эмульсии верхнего предела, появляется выходной электрический сигнал на разьеме “4.0–20.0” мА. Проведены работы по монтажу и пуско-наладки радиоизотопных плотномеров в технологических трубопроводах жидкой эмульсии пульпы в подразделениях АО НГМК.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/REFERENCES

1. Аминжанов М. и др. // ВАНТ. Сер.: техническая физика и автоматизация. 2017. № 77. С 70. http://www.niitfa.ru/upload/docs/vant/vant_tfa-77.pdf.
2. Audi G., Wapstra A.H., Thibault C. // Nucl. Phys. A. 2003 V. 729 (1). P. 337. <https://doi.org/10.1016/j.nuclphysa.2003.11.003>
3. СанПиН-2006. Нормы радиационной безопасности и основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности. 2006. <https://lex.uz/docs/1908086>.
4. ГОСТ Р 51919–2002. Государственный стандарт Российской Федерации. Закрытые источники ионизирующего излучения радионуклидов. Методы проверки герметичности. <https://files.stroyinf.ru/Data/64/6401.pdf>.
5. Ашрапов У.Т. и др. // Ядерная физика и инжиниринг. 2021. Т. 12 (2). С. 73. [Ashrapov U.T. et al. // Phys. At. Nucl. 2021. V. 84 (9). P. 1540. <https://doi.org/10.1134/S1063778821090052>. <https://doi.org/10.1134/S207956292006007X>
6. ГОСТ Р 51873–2002. Государственный стандарт Российской Федерации. Источники ионизирующих радионуклидных излучений закрыты Общие технические требования. <https://www.complex-doc.ru>.
7. ISO 9978: 1992(E). International Organization for Standardization. Radiation Protection – Sealed Radioactive Sources – Leakage Test Methods. 1992. <https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/004/iso.9978.1992.pdf>.
8. Brief Operating Instructions Gammapiot M FMG60. Radiometric Measurement. 2018. Switzerland: Endress + Hauser. https://portal.endress.com/dla/5000387/6648/000/01/KA01093FE_N_1412.pdf.
9. Жукова Ю.П. Вибрационные плотномеры. 1991. Москва: Энергоатомиздат.
10. ГОСТ 8.368–79. Государственная система обеспечения единства измерений. Радиоизотопные плотномеры для жидких сред и пульпы. Методы и средства проверки. <https://files.stroyinf.ru/Index/14/14635.htm>.
11. СанПиН 2.6.1.3287–15. Санитарно-эпидемиологические требования к обращению и установке радиоизотопных приборов. <https://docs.cntd.ru/document/420292637>

Calibration of a Radioisotope Device

U. T. Ashrapov^{1, *}, I. I. Sadikov¹, I. M. Kamilov¹, and S. R. Malikov¹

¹*Institute of Nuclear Physics of the Academy of Sciences, Tashkent, 100214 Republic of Uzbekistan*

**e-mail: ashrapov@inp.uz*

Received November 15, 2022; revised February 3, 2023; accepted February 9, 2023

Abstract—The article provides data on radioisotope devices, including a radioisotope level meter – a radioisotope indicator of the level of petroleum coke and a radioisotope density meter. The article describes the methods of calibration of radioisotope density meter Gammapiot (Endress+Hauser AG, Switzerland). An ionizing radiation source of ¹³⁷Cs GCS7.021.1 type with an activity of 3.06×10^9 Bq (82.7 mCi) was used to complete the radioisotope densitometer, and its tightness was checked using the immersion method with 8% orthophosphoric acid as the immersion liquid. To calibrate radioisotope densitometers, simulator stands and liquid simulators of various densities were made based on a mixture of tribromomethane and ethyl alcohol solutions. Radioisotope density meters were calibrated for low pulp emulsion density, medium pulp emulsion density, and high pulp emulsion density. In calibrated radioisotope density meters, upon reaching the lower limit of the pulp density in the detection unit, an output electrical signal appears at the “0–5 mA” connector, and when the upper limit of the pulp density is reached, an output electrical signal appears at the “4–20 mA” connector.

Keywords: radioisotope level meter, radioisotope density meter, ionizing radiation source, liquid simulators, simulator stand, calibration