

100-летию Саратовского государственного
университета посвящается

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. Н.Г. Чернышевского

Лабораторная работа №3

«Индикация ионизирующих излучений»

Саратов
2010

Лабораторная работа №3. Индикация ионизирующих излучений / Саратовский ун-т; Сост. С.С. Аркадакский, В.З. Атаян, С.И. Каневец, В.Н. Карцев, А.Ф. Крылов, Н.В. Копылов, И.А. Овчинникова, К.Е. Панкин, С.В. Песков, И.П. Рыжов, О.А. Черкасова // под. ред. Карцева В.Н. – Саратов, 2010. – 39 **с. ил.**

Лабораторная работа предназначена для студентов очных и заочных отделений ВУЗов. Работа содержит четыре упражнения по индикации ионизирующих излучений. В работе представлены теоретические сведения необходимые для выполнения заданий.

Лабораторная работа составлена коллективом преподавателей кафедры физики катастроф и ЧС Саратовского государственного университета им. Н.Г. Чернышевского.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Краткая теория	3
Практическая работа	
Упражнение №1. Измерение уровней γ - и β -излучения при работе с прибором ДП-5В (А, Б)	15
Упражнение №2. Контроль индивидуальных доз облучения с помощью комплектов индивидуальных дозиметров ДП-22В, ДП-24	20
Упражнение №3. Определение мощности экспозиционной дозы ионизирующих излучений с помощью бытового дозиметра-радиометра АНРИ-01-02 «СОСНА»	23
Упражнение №4. Поиск локальных источников ионизирующих излучений и определение мощности их экспозиционной дозы с помощью бытового индикатора радиоактивности РАДЭКС РД 1503.	32
Список рекомендуемой и используемой литературы	39

ИНДИКАЦИЯ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Цель работы: изучение технических средств индикации ионизирующих излучений, приобретение навыков работы с приборами радиационной разведки, знакомство с методикой оперативного измерения уровня радиационного излучения.

Краткая теория

Ионизирующее излучение - потоки частиц с массой покоя, отличной от нуля (корпускулы), а также потоки частиц с нулевой массой покоя (кванты электромагнитного поля – фотоны), способные при взаимодействии с вещественными средами вызывать в них структурные изменения в результате ионизации атомов и молекул, образующих эти среды.

К корпускулярному излучению относятся: потоки ядер гелия (α -излучение), электронное (β -излучение), протонное, нейтронное, мезонное и т.п.

К квантовому излучению относятся рентгеновское излучение и γ -излучение.

Частицы корпускулярного ионизирующего излучения принято называть **ионизирующими частицами**.

Ионизирующее излучение, состоящее из частиц различного вида или частиц и фотонов, называется смешанным ионизирующим излучением.

Видимый свет и ультрафиолетовое излучение общепринято не включать в понятие «ионизирующее излучение».

Радиоактивный материал, или техническое устройство, испускающее ионизирующее излучение, называют **источником ионизирующего излучения**.

Радиоактивный материал представляет собой вещество, являющееся химическим элементом или совокупностью химических элементов, атомные ядра которых обладают способностью самопроизвольно превращаться в другие ядра с испусканием ионизирующего излучения.

Радиоактивность – способность некоторых атомных ядер самопроизвольно превращаться в другие ядра с испусканием частиц.

Нуклиды – общее название атомных ядер. Нуклиды, обладающие радиоактивностью, называются радионуклидами.

Атомы, в составе которых имеются радионуклиды, называются **радиоактивными атомами**. Радиоактивный атом есть наименьшая часть радиоактивного химического элемента.

Химические элементы состоят из **изотопов**. Изотопы – это химические элементы, занимающие одно и то же место в таблице Д.И. Менделеева, ядра атомов которых имеют одинаковый заряд (число протонов), но разную массу (разное число нейтронов). Изотопы одного и того же химического элемента могут быть стабильными и нестабильными (или радиоактивными). В настоящее время установлено существование изотопов у всех химических элементов. Некоторые элементы имеют только нестабильные (радиоактивные) изотопы.

Распад радиоактивного химического элемента (можно сказать – радиоактивный распад изотопа) характеризуется физической величиной, называемой **активностью** (A).

Активность некоторой массы радиоактивного химического элемента (источника ионизирующего излучения) есть среднее число распадов в единицу времени радиоактивных атомов, содержащихся в этой массе. Обозначив число радиоактивных атомов, содержащихся в некоторой массе радиоактивного материала через N , получим математическое определение активности:

$$A = -\frac{dN}{dt} \quad (1)$$

Единица активности – **беккерель** (Бк). Одному беккерелю соответствует один распад за одну секунду. Применяется также внесистемная единица активности – **кюри** (Ки); $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$.

Число радиоактивных атомов в препарате убывает по закону радиоактивного распада:

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2)$$

(величина λ называется постоянной радиоактивного распада).

На основании (1) и (2) записывается формула зависимости A от времени:

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \quad (3)$$

$$(A_0 = \lambda \cdot N_0)$$

Постоянная радиоактивного распада связана с периодом полураспада $T_{1/2}$ радиоактивных атомов в источнике ионизирующего излучения соотношением

$$\lambda = \frac{(\ln 2)}{T_{1/2}} \quad (4)$$

Для характеристики конкретного радиоактивного химического элемента наряду с понятием «период полураспада» используется понятие «среднее время жизни» атомного ядра (можно сказать – атома) τ . Связь τ с $T_{1/2}$ имеет вид

$$\tau = \frac{T_{1/2}}{(\ln 2)} \quad (5)$$

Связь среднего времени жизни атомного ядра с постоянной радиоактивного распада определяется соотношением:

$$\tau = \frac{1}{\lambda} \quad (6)$$

Соотношение (6) позволяет закон радиоактивного распада представить в виде:

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (7)$$

Из уравнения (7) следует, что среднее время жизни радиоактивного атомного ядра есть промежуток времени, по прошествии которого исходное число ядер в радиоактивном препарате уменьшается в e ($e = 2,71828\dots$) раз.

Закон радиоактивного распада определяет среднее число атомов, распадающихся за определенный интервал времени. Но всегда имеются неизбежные отклонения от среднего значения, и чем меньше количество атомов в препарате, тем больше эти отклонения. Закон радиоактивного распада является **статистическим законом**.

Узкий пучок частиц, движущихся по параллельным траекториям, представляет собой мононаправленное излучение.

Мононаправленное излучение удобно характеризовать **вектором плотности потока ионизирующих частиц**. Направление этого вектора совпадает с направлением движения частиц, модуль вектора равен произведению плотности числа частиц в пучке на их среднюю скорость (в мононаправленном корускулярном излучении имеется разброс абсолютных значений скоростей частиц, в случае фотонного излучения скорости всех фотонов одинаковы и равны скорости света).

Обозначив плотность числа частиц через n , а скорость их упорядоченного движения – через \vec{V} , получим для вектора плотности потока ионизирующих частиц (\vec{I}_N) выражение: $\vec{I}_N = n \cdot \vec{V}$.

Понятие «вектора плотности ионизирующих частиц» удобно использовать при рассмотрении переноса частиц через элементарные поверхности с различным расположением их нормалей. Обозначив единичный вектор (*орн*), определяющий направление нормали, через \vec{e} , получим для числа частиц dN , переносимых через элементарную поверхность $d\Omega$ за время dt , выражение $dN = \vec{I}_N \cdot d\vec{\Omega} dt$ (dS - проекция элемента поверхности $d\Omega$ на плоскость, перпендикулярную к \vec{I}_N).

В практических задачах, связанных с воздействием ионизирующего излучения на вещество, поток частиц проникает в облучаемый объект через поверхность, ограничивающую некоторый объём. В этом случае *орн* \vec{e} обычно считают направленным во внешнюю сторону от объёма. Тогда число частиц, проникающих за время dt внутрь объёма V через поверхность Ω , определяется интегралом

$$dN = \vec{I}_N \cdot d\vec{\Omega} dt,$$

где вектор $d\vec{\Omega}$ называется направленным элементом поверхности. В том случае, когда поверхность плоская, а $\vec{e} \updownarrow \vec{I}_N$ имеем

$$dN = I_N \cdot S dt.$$

Во многих прикладных задачах надо знать не поток ионизирующих частиц, а их энергию.

Введение в рассмотрение понятия «вектор плотности потока энергии ионизирующих частиц» (\vec{I}_u) осуществляется аналогично введению понятия «вектор плотности потока ионизирующих частиц». Направление этого вектора совпадает с направлением \vec{I}_N . Модуль \vec{I}_u (I) есть произведение средней энергии частицы в потоке на модуль вектора плотности ионизирующих частиц.

После проникновения ионизирующего излучения внутрь поглощающей среды происходит по мере перемещения в ней частиц ослабление плотности потока энергии (интенсивности ионизирующих частиц).

Ослабление фотонного излучения подчиняется тому же закону, что и уменьшение интенсивности оптического излучения (света), проходящего через среду, заполненную веществом. Основным законом, описывающим поглощение света, является закон Бугера-Ламберта

$$I = I_0 \cdot e^{-k_\lambda \cdot x} \quad (8)$$

связывающий интенсивность I пучка света, прошедшего слой (9) поглощающей среды толщиной x с интенсивностью падающего пучка I и показателем поглощения k_λ .

Этот закон был экспериментально установлен в 1729 году французским физиком П. Бугером и впоследствии теоретически выведен немецким учёным И. Ламбертом (1760) при очень простых предположениях, которые сводятся к тому, что при прохождении любого слоя вещества интенсивность светового потока уменьшается на определённую долю, зависящую только от k и толщины слоя, т.е. $\frac{dI}{I} = -k_\lambda \cdot x$. Решением этого уравнения и является закон Бугера-Ламберта.

Закон Бугера-Ламберта можно представить в виде:

$$I = I_0 \cdot 2^{-x/d}, \quad (9)$$

где

$$d = \frac{(\ln 2)}{k_\lambda}. \quad (10)$$

Величина d называется слоем половинного ослабления интенсивности света.

В случае рентгеновского и γ -излучения обычно принято закон (6) записывать в виде

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu x}, \quad (7)$$

при этом величина μ называется линейным коэффициентом ослабления, а также макроскопическим сечением взаимодействия фотонов с веществом.

Закон (7) одинаково применим и к фотонному ионизирующему потоку, и к потокам корпускулярных ионизирующих частиц. Это объясняется тем, что фотонное излучение одновременно обладает свойствами непрерывных электромагнитных волн и свойствами дискретных фотонов, причем двойственная корпускулярно-волновая природа характерна не только для света, рентгеновского и гамма-излучения.

В курсах по БЖД и ГО закон ослабления интенсивности ионизирующих частиц обычно представляют в виде формулы

$$K_{осл} = 2^{x/d}, \quad (8)$$

используемой при расчетах коэффициента ослабления ($K_{осл}$) на основе данных о значениях толщины слоя половинного ослабления излучения (d) для различных материалов.

При решении практических задач, связанных с поиском локальных ионизирующих источников и защитой от их излучения, нужно принимать во внимание то обстоятельство, что, если источник – точечный, изотропный и расположен в центре сферического защитного слоя толщины d , то пучок будет ослабляться за счет геометрической расходимости, подчиняющейся закону обратных квадратов. Тогда плотность потока энергии ионизирующего излучения в точке детектирования R будет определяться соотношением

$$I = \frac{S^* e^{-\mu d}}{4R^2} \quad (9)$$

где S^* - мощность источника, d – толщина защитного слоя сосуда, R – расстояние от источника до детектора.

При решении задач, связанных с защитой населения на местности, зараженной радиоактивными веществами, или в условиях радиоактивной запыленности атмосферы, каждая пространственная область пронизывается γ -, β - и т.д. лучами, распространяющимися по различным направлениям. В этих случаях для характеристики поля излучения целесообразно пользоваться такими понятиями, как «флюенс ионизирующих частиц» и «флюенс энергии ионизирующих частиц».

Флюенс ионизирующих частиц Φ – отношение числа ионизирующих частиц dN , проникающих в элементарную сферу, к площади центрального сечения dS этой сферы: $\Phi = \frac{dN}{dS}$.

Флюенс энергии ионизирующих частиц Φ_w - отношение энергии ионизирующего излучения dW , проникающего в элементарную сферу, к площади центрального сечения dS этой сферы: $\Phi_w = \frac{dW}{dS}$.

Первоначально развитие дозиметрии определялось, главным образом, необходимостью защиты от воздействия рентгеновского и γ -излучения естественных радиоактивных веществ. Необходимость защиты от рентгеновского и γ -излучений остаётся важной задачей и в настоящее время. Ионизирующая способность рентгеновского и γ -излучений часто оценивается по экспозиционной дозе (несмотря на то, что после 1 января 1990 года использование экспозиционной дозы не рекомендуется).

Экспозиционная доза (X) - отношение суммарного заряда всех ионов одного знака, созданных в некотором объёме dV сухого воздуха при температуре 0°C и давлении 760 мм. рт. ст., к величине этого объёма: $X = \frac{dQ}{dV}$.

Единица X в системе СГСЕ – 1 ед. заряда СГСЕ на 1 см^3 получила название **рентген** (R).

«**Рентген** – это единица экспозиционной дозы фотонного излучения, при прохождении которого через 0.001293 г воздуха в результате завершения всех ионизационных процессов в воздухе создаются ионы, несущие одну электростатическую единицу количества электричества каждого знака. Заметим, что 0.001293 г – это масса 1 см^3 атмосферного сухого воздуха при нормальных условиях: температуре 0°C и давлении 1013 гПа (760 мм рт. ст.)».

Более лаконичным определением **рентгена** (1 R) является следующее: «При дозе $1R$ в объёме воздуха 1 см^3 образуется такое число положительных и отрицательных ионов, что суммарно они несут 1 ед. заряда СГС каждого знака». Это соответствует образованию 2.08×10^9 миллионов пар ионов в 1 см^3 воздуха при нормальных условиях. На создание такого количества ионов необходимо затратить энергию, равную 0.114 эрг ($1 \text{ эрг} = 10^{-7} \text{ Дж}$).

После принятия Международной системы единиц (СИ) определение экспозиционной дозы было видоизменено:

«Экспозиционная доза – доза рентгеновского и γ -излучений, определяемая по ионизации воздуха. Она определяется как отношение суммарного заряда всех ионов одного знака ΣQ , созданных в воздухе, при полном торможении вторичных электронов и позитронов, образующихся в элементарном объёме, к массе воздуха Δm в этом объёме».

Единица экспозиционной дозы в международной системе единиц (СИ) – кулон на килограмм (Кл/кг).

Единице экспозиционной дозы в системе СГСЕ соответствует экспозиционная доза, равная $2.57976 \cdot 0.0001$ Кл/кг.

В настоящее время воздействие ионизирующего излучения на вещество принято характеризовать **поглощённой дозой** ионизирующего излучения (допускается использование вместо этого термина краткой формы «доза излучения»).

Поглощенная доза ионизирующего излучения – отношение средней энергии dW , переданной ионизирующим излучением веществу в элементарном объёме, к массе dm вещества в этом объёме.

Доза накапливается со временем. Доза, отнесенная к единице времени, называется мощностью дозы излучения.

Единица дозы излучения в международной системе единиц (СИ) – 1 грей (1 Гр); широко распространена внесистемная единица – **рад**, $1 \text{ рад} = 10^{-2} \text{ Гр}$.

Доза излучения (D) может быть выражена через плотность потока энергии ионизирующего излучения, линейный коэффициент ослабления, плотность вещества, интервал времени, в течение которого осуществлялось воздействие:

$$D = \frac{(I \cdot \mu \Delta x)}{\rho} \quad (10)$$

Между поглощенной дозой ионизирующего рентгеновского и γ -излучения и экспозиционной дозой имеется определенное соответствие. В случае биологической ткани экспозиционной дозе в $1R$ соответствует поглощенная доза, равная 0.95 рад .

Для сравнения биологических эффектов, производимых одинаковой поглощенной дозой различных видов излучения, используют понятие **относительной биологической эффективности** излучения (ОБЭ). Под ОБЭ излучения понимают отношение поглощенной дозы образцового рентгеновского излучения, вызывающего определённый биологический эффект, к поглощенной дозе данного рассматриваемого вида излучения, вызывающего тот же биологический эффект.

Регламентированные значения ОБЭ, установленные для контроля степени радиационной опасности при хроническом облучении, называются **коэффициентом качества излучения**.

Коэффициент качества связывает между собой поглощенную дозу данного рассматриваемого вида излучения с так называемой эквивалентной дозой (H):

$$H = D \cdot K.$$

Эквивалентная доза может изменяться в тех же единицах, что и поглощенная» (тогда коэффициент качества является безразмерным коэффициентом). В радиобиологии применяется и специальное название для единицы эквивалентной дозы – **бэр**; эквивалентная доза в 1 бэр соответствует поглощенной дозе в 1 рад при $K=1$. Специальное название для единицы эквивалентной дозы в международной системе единиц (СИ) – **зиверт (Зв)**.

При воздействии нескольких видов излучения эквивалентная доза определяется по формуле:

$$H = \sum_{i=1}^n K_i \cdot D_i$$

Мероприятия по ограничению облучения населения регламентируются Нормами радиационной безопасности НРБ –99.

Приборы радиационной разведки предназначены для измерения определённых параметров (величин) ионизирующих излучений. Для более конкретного восприятия возможных последствий воздействий ионизирующих излучений на организм человека существуют уже определённые величины ионизирующих излучений, методы их регистрации, а так же приборы, с помощью которых реализуются эти методы.

Приборы радиационной разведки классифицируются:

- рентгенметры – радиометры для измерения уровней ионизирующих излучений и степени радиоактивного заражения объектов;
- измерители мощности дозы ионизирующих излучений;
- индикаторы – сигнализаторы для оповещения персонала предприятия и населения о радиационной опасности;

- индивидуальные дозиметры для измерения индивидуальных доз облучения различных категорий населения, находящегося в возможных районах радиоактивного заражения.

Для более эффективного выполнения упражнений лабораторной работы необходимо напомнить некоторые основы из теории природы радиоактивности и ионизирующих излучений.

α -излучение - это поток α -частиц (ядер гелия), испускаемых при радиоактивном распаде ядер или при ядерных реакциях:



Длина пробега частиц с энергией 5.5 МэВ, характерной для используемых источников излучения, составляет: в воздухе 3.9 см; алюминии 2.6 мкм; биологической ткани 43 мкм. Обмундирование задерживает частицы полностью.

Частицы опасны при попадании радионуклидов внутрь организма с воздухом, пищей, водой, а также через повреждённую кожу.

β -излучение представляет собой поток β -частиц (электронов β^{-} или позитронов β^{+}), возникающих при радиоактивном β -распаде ядер. При радиоактивном распаде большинства радионуклидов β - частицы имеют отрицательный заряд, поэтому их обозначают β^{-} :



Если распад сопровождается испусканием позитронов, то их обозначают символом β^{+} .

Особенность β -распада заключается в том, что испускаемые β -частицы (электроны или позитроны) не являются моноэнергетическими. Они обладают энергией от максимального значения, которое указывается в справочной литературе, до значения близкого к нулю. β -распад может сопровождаться испусканием γ -квантов. Например, при каждом распаде ядер кобальта-60 испускается два γ -кванта с энергией 1.17 и 1.33 МэВ:



Максимальная энергия β -излучения, испускаемого известными радионуклидами, не превосходит 3 МэВ, а у большинства источников, используемых в радионуклидных приборах – 2.3 МэВ.

Максимальный пробег β -частиц с энергией 2.3 МэВ составляет: в воздухе 8.3 м, алюминии и силикатном стекле 11 мм; биологической ткани 13 мм. Обмундирование задерживает до 50% частиц.

Внешнее облучение β -частицами не столь опасно, как облучение γ -квантами и нейтронами. Вследствие малого пробега частиц в биологической ткани они не достигают кровеносных и других внутренних органов, определяющих радиочувствительность организма. При внешнем облучении основными органами воздействия являются кожа и глаза. Дистанционное действие на кожу возрастает с увеличением энергии частиц и уменьшением расстояния от источника. Частицы опасны при контактном облучении и особенно при попадании радионуклидов внутрь организма.

γ -излучение - электромагнитное (фотонное) излучение, испускаемое энергетически возбуждёнными ядрами атомов. Для известных радионуклидов энергия γ -квантов находится в пределах 0.01-3 МэВ.

γ -Излучение обладает большой проникающей способностью. Проникающая способность в воздухе более одного километра. γ -Кванты свободно проникают в тело человека и значительные толщи материалов. Слой свинца в 1.2 см ослабляет дозу облучения в 2 раза ($e_{\gamma} = 1.5$ МэВ).

Биологическое действие γ -излучения проявляется во внешнем облучении организма.

Рентгеновское излучение - электромагнитное излучение в диапазоне длин волн $\lambda = 10^{-5} - 10^{-12}$ см. У γ -излучения $\lambda < 10^{-9}$ см. Отметим, что электромагнитное излучение радиотехнического и оптического диапазонов принято характеризовать длиной волны (или частотой), рентгеновское же и γ -излучение, как правило, - энергией фотонов в МэВ. В зависимости от механизма возникновения и характера спектра различают два вида рентгеновского излучения: тормозное и характеристическое.

Тормозное излучение образуется при торможении заряженных частиц больших энергий в окружающей среде и имеет непрерывный спектр. Верхний предел энергии тормозного излучения равен энергии бомбардирующих частиц. Интенсивность излучения прямо пропорциональна энергии частиц и массовой плотности вещества преграды. Тормозное рентгеновское излучение генерируется в ускорителях и рентгеновских трубках, а также при работе высоковольтных электровакуумных приборов (электронно-лучевых трубок, клистронов, магнетронов, генераторных ламп типов ГМИ, ГИ, ЛБВ, ЛОВ и других приборов). Тормозное излучение, как сопутствующее, возникает при торможении β -частиц в веществе источника и корпусе β -излучателя.

Характеристическое излучение - рентгеновское излучение с дискретным (линейчатым) спектром частот (длин волн), испускаемое возбуждёнными атомами при выбрасывании (выбивании) электронов с одной из внутренних оболочек, обычно К-слоя. Дискретный спектр электромагнитного излучения характеризуется распределением излучаемой энергии с резко выраженным максимумом интенсивности на определённых частотах. Такие спектры называются также линейчатыми или полосатыми. Этот вид спектра характерен для излучения отдельных возбуждённых атомов, причём для каждого вида атомов (то есть порядкового номера Z , заряда ядра), в соответствии с условием

квантования его оболочек, соответствует определённый характер дискретных частот.

При не слишком больших энергиях бомбардирующих преграду частиц наблюдается лишь тормозное излучение, обладающее сплошным спектром и не зависящее от материала преграды. Когда энергия частиц становится достаточной для вырывания электронов из внутренних оболочек атома, на фоне тормозного излучения появляются резкие линии характеристического излучения. Частоты этих линий зависят от природы вещества преграды. По этой причине излучение и называют характеристическим.

Проникающая способность рентгеновского излучения зависит от его энергии и соизмерима с проникающей способностью γ -излучения.

Биологическое действие рентгеновского излучения проявляется во внешнем облучении организма.

Нейтронное излучение - это поток нейтронов - электрически нейтральных ядерных частиц (не имеющих заряда). Слабое нейтронное излучение дают природные радионуклиды за счёт спонтанного (самопроизвольного) деления ядер (изотопы тория и урана).

Для более эффективного восприятия норм радиационной безопасности следует пользоваться следующими терминами:

Облучение - воздействие на человека, ионизирующего излучения.

Облучение аварийное - облучение в результате радиационной аварии.

Облучение внешнее - облучение организма (тела) ионизирующим излучением, приходящим извне.

Облучение внутреннее - облучение организма (тела), отдельных органов и тканей ионизирующим излучением, испускаемым содержащихся в них радионуклидами.

Облучение контактное - облучение кожных покровов (слизистых оболочек) соприкасающимися с ними источниками ионизирующих излучений (радиоактивных веществ). Контактное воздействие излучений имеет место как в случае непосредственного контакта ИИИ (РВ) с кожными покровами организма человека, так и в случае контакта их с объектами, соприкасающимися с кожей.

Облучение медицинское - облучение пациентов в ходе медицинского обследования или лечения.

Отходы радиоактивные - не предназначенные для дальнейшего использования вещества в любом агрегатном состоянии, в которых содержание радионуклидов превышает уровни, установленные НРБ и ОСПОРБ

В таблице приведены некоторые параметры ионизирующих излучений и единицы их измерений:

ДОЗИМЕТРИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

ПОГЛОЩЕННАЯ ДОЗА	$D = de/dm$	Дж/кгГр	сГр, кГр, рад, крад
ЭКСПОЗИЦИОННАЯ ДОЗА	$X = dQ/dm$	Кл/кг	Р
ЭКВИВАЛЕНТНАЯ ДОЗА	$H_T = \sum_R W_R \cdot D_T$	Дж/кг	Зв, мЗв, мкЗв, бэр
ЭФФЕКТИВНАЯ ДОЗА	$E = \sum_T W_T \cdot D_T$	Дж/кг	Зв, мЗв, мкЗв
ПОЛЕВАЯ ДОЗА	$\dot{H} = D_{в\text{ тк.-экв. шаре } R=1\text{ см}}$	Гр	сГр, кГр,
МОЩНОСТЬ ДОЗЫ:			
ПОГЛОЩЕННОЙ	$D = dD/dt$	Гр/с	рад/с
ЭКСПОЗИЦИОННОЙ	$X = dX/dt$	А/кг	Р/ч
ЭКВИВАЛЕНТНОЙ	$H_T = dH_T/dt$	Зв/с	мкЗв/ч
ЭФФЕКТИВНОЙ	$E = dE/dt$	Зв/с	мкЗв/ч
ПОЛЕВОЙ	$\dot{H} = d\dot{H}/dt$	Гр/с	рад/с
$1\text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4}\text{ Кл/кг}$ $1\text{ Гр} = 100\text{ рад}$ $1\text{ Зв} = 100\text{ бэр}$			

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Упражнение №1. Измерение уровней γ - и β -излучения при работе с прибором ДП-5В (А, Б).

Используемое оборудование:

Приборы рентгенметры – радиометры ДП-5В(А, Б).

Рабочее задание:

Изучить назначение, устройство и правила эксплуатации приборов ДП-5В (А, Б).

Устройство прибора ДП-5 (А, Б, В)

Измеритель мощности экспозиционной дозы излучения (рентгенметр) ДП-5 предназначен для измерения уровней радиации на местности и радиоактивной зараженности различных предметов. Мощность гамма-излучения определяется в миллирентгенах или в рентгенах в час для той точки пространства, в которой помещен при измерениях счетчик прибора. Кроме того, имеется возможность обнаружения β -излучения.

Общий вид прибора показан на рисунке 1.

Диапазон измерений прибора:

- а) по β -излучению – от 100 до 1000000 расп/мин см^2 ;
- б) по γ -излучению – от 0,05 до 200 Р/ч

Диапазон измерений прибора по гамма-излучению разбит на шесть поддиапазонов для ДП-5А, ДП-5Б (таблица 1) и семь поддиапазонов для ДП-5В (таблица 2).

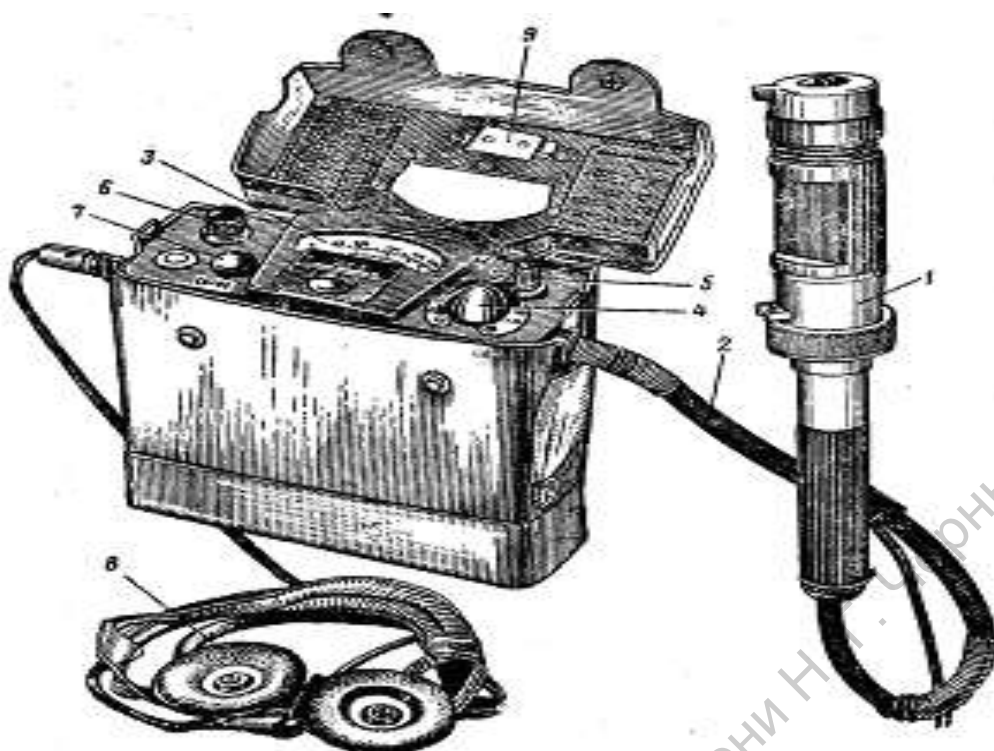
Отсчет показаний прибора производится по нижней шкале микроамперметра в Р/ч, по верхней шкале - в мР/ч с последующим умножением на соответствующий коэффициент поддиапазона.

Измерения γ -излучений прибором можно производить в интервале температур воздуха от минус 40 до плюс 50°C, погрешность измерений в этом интервале температур не превышает 0,35-0,7% на 1°C.

Кроме того, можно измерять малые уровни γ -радиации - примерно от 0,06-0,1 до 50-100 мР/ч на V, VI, VII β -диапазонах по градуированным графикам (приложение к инструкции по прибору).

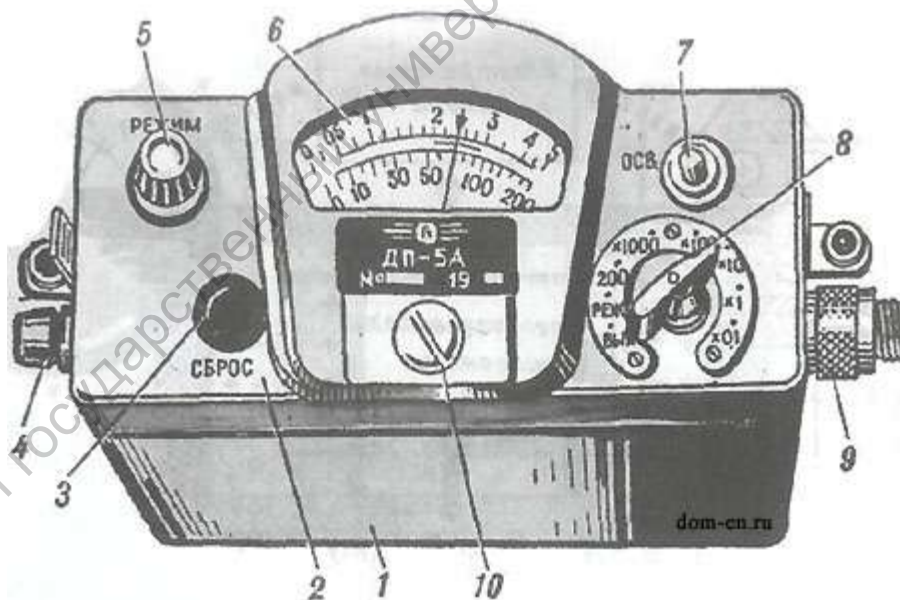
Питание прибора осуществляется от 2-х элементов типа 1,6-ПМЦ-Х-1,05 (КБ-1), обеспечивающих непрерывную его работу в течение не менее 40 часов. Для работы в темноте шкала прибора подсвечивается двумя лампочками, которые питаются от одного элемента такого же типа.

Прибор имеет переходное приспособление, позволяющий питать прибор от посторонних источников питания постоянного тока напряжением 3В, 6В и 12В.



а)

а) Общий вид рентгенометра дозиметра ДП-5: 1 – зонд; 2 – соединительный кабель; 3 – шкала прибора; 4 – переключатель поддиапазонов; 5 – тумблер подсвета шкалы; 6 – ручка РЕЖИМ (потенциометр регулировки режима); 7 – кнопка сброса показаний (СБРОС) 8 – телефоны; 9 – контрольный препарат.



б)

б) Измерительный пульт рентгенометра дозиметра ДП-5А: 1 – кожух; 2 – панель 3 – кнопка сброса показаний микроамперметра; 4 – гнездо включения телефонов 5 – ручка потенциометра регулировки режима работы; 6 – микроамперметр; 7 – тумблер подсвета шкал; 8 – переключатель поддиапазонов; 9 – разъемное соединение для подключения кабеля зонда; 10 – пробка корректора механической установки нуля

Рисунок 1. Измеритель мощности экспозиционной дозы излучения ДП-5.

Прибор имеет звуковую индикацию на всех поддиапазонах, кроме первого. Звуковая индикация прослушивается с помощью головных телефонов.
Вес прибора – 2,1 кг.

Таблица 1 – Диапазон измерений рентгенометра (дозиметра) ДП-5А и ДП-5Б

Поддиапазон	Положение ручки переключателя	Шкала	Единица измерения	Пределы измерений
I	200	0-200	Р/ч	5-200
II	×1000	0-5	мР/ч	500-5000
III	×100	0-5	мР/ч	50-500
IV	×10	0-5	мР/ч	5-50
V	×1	0-5	мР/ч	0,5-5
VI	×0,1	0-5	мР/ч	0,05-0,5

Таблица 2 – Диапазон измерений рентгенометра (дозиметра) ДП-5 и ДП-5В

Поддиапазоны	Положение переключателя	Шкала прибора	Поддиапазоны измерений	
			По β-расп/мин см ²	По γ- Р/ч
I	200	0-200	---	5-200
II	5	0-5	---	0,5-5
III	0,5	0-5	---	0,05-5
IV	×1000	0-1000	100000-1000000	---
V	×100	0-1000	10000-100000	---
VI	×10	0-1000	1000-10000	---
VII	×1	0-1000	100-1000	---

Основными частями прибора являются измерительный пульт (см. рисунок 1б) и зонд, соединяемый с пультом с помощью гибкого кабеля длиной 1,2 м. Кроме того, в комплект прибора входят: футляр с ремнями и контрольным препаратом, удлинительная штанга, 10 чехлов для зонда из полиэтиленовой пленки, аккумуляторная колодка для подключения радиометра к внешнему источнику питания постоянного тока напряжением 3В, 6В, 12В, комплект запасного имущества, комплект документации (техническое описание и инструкция по эксплуатации, технический паспорт), укладочный ящик.

На передней панели прибора размещаются: электроизмерительный прибор, переключатель поддиапазонов на 9 положений, потенциометр регулировки режима, кнопка сброса показаний, тумблер подсвета шкалы, гнездо включения телефона. На передней панели крепится также кабель, соединяющий пульт с зондом.

Зонд герметичен. В нем размещены два газоразрядных счетчика и другие элементы электрической схемы, имеется окно для индикации β-излучения, заклеенное водостойкой пленкой, а также поворотный экран, который фиксируется в двух положениях – «Б» и «Г» (ДП-5В – положения «Г», «Б», «К»).

Телефон состоит из двух малогабаритных телефонов типа ТГ-7М и оголовья из мягкого материала. Он подключается к пульту для звуковой индикации.

Прибор носится в футляре из искусственной кожи. Он состоит из двух отсеков - для пульта и для зонда. В крышке футляра имеется окно для наблюдения показаний прибора. С внутренней стороны на крышке изложены правила пользования прибором, таблица допустимых величин зараженности и прикреплен контрольный радиоактивный источник 9 (см. рисунок 1а) для проверки работоспособности прибора. Контрольный источник закрыт защитной пластинкой, которая должна открываться только при проверке работоспособности прибора.

Принцип действия основан на преобразовании энергии γ -излучения, действующего на один из газоразрядных счетчиков блока детектирования в последовательность электрических импульсов тока, частота следования которых пропорциональна мощности дозы.

Так как последовательность электрических импульсов носит дискретный характер, а в качестве регистрирующего устройства используется микроамперметр, то поступающие от блока детектирования импульсы с помощью интегрирующего контура преобразуются в постоянный ток.

Порядок подготовки прибора к работе:

1. Извлечь прибор из укладочного ящика и произвести внешний осмотр на отсутствие механических повреждений, подключить источник питания (элементы питания или к бортовой сети);
2. Пристегнуть к футляру плечевой и поясной ремни;
3. Вынуть зонд детектирования;
4. Установить корректором механический нуль на шкале микроамперметра (для приборов ДП-5А, Б);
5. Ручку переключателя поддиапазонов поставить в положение "Выкл", а ручку "Реж" (РЕЖИМ) повернуть против часовой стрелки до упора;
6. Включить прибор, поставив ручку переключателя поддиапазонов в положение РЕЖ;
7. Ручкой РЕЖИМ установить стрелку прибора на метку верхней шкалы ▼; в процессе работы в положении переключателя РЕЖ. стрелка должна быть в пределах зачерченной дуги;
8. Проверить работоспособность прибора на всех поддиапазонах, кроме первого ("200"), с помощью радиоактивного источника, укрепленного на крышке футляра;
9. Установить экран-головку зонда в положение «Б» (для ДП-5В — в положение «К»);
10. Поднести зонд к радиоактивному источнику, предварительно открыв его, вращая защитную пластинку вокруг оси. Для ДП-5В этого делать не следует, так как радиоактивный источник размещен в металлическом экране;
11. Подключить головной телефон;

12. Последовательно перевести переключатель поддиапазонов в положения « $\times 1000$ », « $\times 100$ », « $\times 10$ », « $\times 1$ » и « $\times 0,1$ ». При этом на первых поддиапазонах (« $\times 1000$ », « $\times 100$ ») в телефоне должны прослушиваться щелчки, на поддиапазоне « $\times 10$ » звук зуммера и стрелка прибора отклонится примерно до середины шкалы, а на поддиапазонах « $\times 1$ » и « $\times 0,1$ » при громком звучании зуммера стрелка выходит за середину и пределы шкалы;

13. Наблюдать за показаниями прибора и прослушивать щелчки в телефонах (стрелка микроамперметра должна зашкаливать на VI и V поддиапазонах, отклоняться на IV поддиапазоне, а на III и II может не отклоняться из-за недостаточной активности β -источника);

14. Ручку переключателя поддиапазонов поставить в положение «РЕЖИМ»;

15. Закрывать радиоактивный источник;

При выполнении вышеуказанных операций прибор ДП-5 готов к работе.

Порядок выполнения измерения γ -излучения

1. Повернуть экран на зонде в положение «Г»;

2. Закрепить удлинительную штангу к зонду и поднести зонд к поверхности зараженного объекта и перемещением вдоль нее по частоте щелчков в телефонах отыскивают наиболее зараженный участок. Зонд устанавливают на высоте 1 – 1,5 см над местом максимального заражения;

3. Последовательно ставить переключатель в положениях $\times 1000$, $\times 100$, $\times 10$, $\times 1$ и $\times 0,1$ до получения показаний в пределах шкалы;

4. Отсчитать показания прибора по шкале «Г» с учетом множителя, соответствующего положению переключателя поддиапазонов и занести показания прибора в таблицу 3 (столбец « γ »), оформленную в рабочей тетради.

Таблица 3 – Измерения γ -излучения с помощью прибора ДП-5(А, Б, В).

Положение переключателя поддиапазонов	Показания прибора P_1			Показания прибора P_2			Показания прибора P_3		
	$\gamma+\beta$	γ	β	$\gamma+\beta$	γ	β	$\gamma+\beta$	γ	β
$\times 0,1$									
$\times 1$									
$\times 10$									
$\times 100$									
$\times 1000$									

Порядок выполнения измерений β -излучения:

1. Повернуть экран на зонде в положение «Б»

2. Закрепить удлинительную штангу к зонду и поднести зонд к обследуемой поверхности на расстоянии 2-3 см;
3. Последовательно ставить переключатель в положении $\times 10$, $\times 1$ и $\times 0.1$ до получения показаний в пределах шкалы;
4. Отсчитать суммарные показания прибора ($\gamma + \beta$) по шкале «Б» с учетом множителя, соответствующего положению переключателя поддиапазонов и занести показания прибора в таблицу 1 (столбец « $\gamma + \beta$ »), оформленную в рабочей тетради.
5. Вычтете из величины $\gamma + \beta$ значение γ и разницу запишите в столбец « β ».

После выполнения измерений:

1. Отсоединить и сложить удлинительную штангу и закрепить ее в крышке укладочного ящика;
2. Отсоединить делитель напряжения, головные телефоны, а также плечевой и поясной ремни от футляра прибора и сложить в укладочный ящик согласно схеме раскладки;
3. Задвинуть крышку левого отсека;
4. Закрыть крышку футляра прибора и уложить его укладочный ящик согласно схеме;
5. Закрыть крышку укладочного ящика на защелки.

Контрольные вопросы:

1. Назначение и устройство дозиметрических приборов ДП – 5 (А, Б, В);
2. Правила подготовки приборов к работе;
3. Правила проведения измерений параметров β – и γ – излучений с помощью данных приборов.

Упражнение №2. Контроль индивидуальных доз облучения с помощью комплектов индивидуальных дозиметров ДП-22В, ДП-24.

Используемое оборудование:

Комплекты войсковых измерителей дозы ДП-22В и ДП-24.

Рабочее задание:

Ознакомиться с устройством и принципом работы приборов. Провести подготовку к работе. Провести измерение индивидуальной дозы облучения. Научиться правильному хранению и обслуживанию приборов.

Назначение, устройство и порядок работы с комплектами войсковых индивидуальных дозиметров.

Комплекты войсковых измерителей дозы ДП-22В и ДП-24 предназначены для измерения индивидуальных доз облучения людей при воздействии γ – излучения.

Комплект ДП-22В состоит из 50 (комплект ДП-24 из 5) прямо показывающих войсковых измерителей дозы ДКП-50А и зарядного устройства ЗД-5.

Войсковой измеритель дозы ДКП – 50А обеспечивает измерение доз γ - излучений в диапазоне от 0 до 50Р при дозе от 0.5 до 200 Р/ч. отчет измеряемых доз производится по шкале, отградуированной в рентгенах. Цена деления шкалы 2Р. Саморазряд измерителя дозы в нормальных условиях не превышает двух делений в сутки.

Питание зарядного устройства осуществляется от двух элементов 145У, которые обеспечивают его непрерывную работу в течение не менее 30 часов.

Масса одного измерителя дозы 35 г., зарядного устройства 1.4 кг, комплекта ДП- 22В в упаковке - 5.5 кг, комплекта ДП – 24 в упаковке 3 кг.

Принцип действия измерителя дозы, основной частью которого является малогабаритная ионизационная камера с подключенным к ней конденсатором и электроскопом, заключается в следующем. При воздействии ионизирующего излучения на заряженный измеритель дозы в объеме ионизационной камеры возникают ионы, которые, перемещаясь в электрическом поле этой камеры, создают электрический ток. Под воздействием тока уменьшается потенциал конденсатора и ионизационной камеры. Уменьшение потенциала пропорционально дозе облучения. Измерения потенциала производится с помощью малогабаритного электроскопа, помещенного внутри ионизационной камеры, по отклонению нити относительно шкалы, отградуированной в рентгенах.

Порядок подготовки прибора к работе:

1. Подключить источники питания к зарядному устройству (установить элементы в отсек питания зарядного устройства и соединить их с соответствующими клеммами);
2. Отвинтить защитную оправу измерителя дозы и защитный колпачок гнезда контактора зарядного устройства;
3. Ручку регулятора зарядного напряжения повернуть влево до отказа;
4. Вставить измеритель дозы в гнездо контактора до упора;
5. Наблюдая в окуляр дозиметра и вращая ручку потенциометра вправо добиться установки стрелки (нити) шкалы в положение «0»;
6. Извлечь дозиметр из гнезда и проверить на свету установку нити в положение «0»;
7. Навинтить защитную оправу на дозиметр и колпачок на гнездо контактора;
8. Расположить дозиметр в левом нагрудном кармане одежды;
9. Закрыть крышку зарядного устройства.

Порядок выполнения работы:

1. Провести измерение индивидуальных доз облучения путем фиксирования показаний прибора через 10 минут после его подготовки к работе;
2. Занести показания прибора в таблицу 4 и вычислить полученную дозу.

Таблица 4 – Измерение индивидуальных доз облучения с помощью приборов ДП-22В, ДП-24.

Фамилия И.О.	Показания прибора при $t_I=0$ мин, P	Показания прибора при $t_I=10$ мин, P	Индивидуальная доза облучения, P

После выполнения измерений:

1. Вставить индивидуальный дозиметр в гнездо укладочного ящика окуляром вверх;
2. Закрыть крышку укладочного ящика прибора и приготовить его к транспортировке.

Контрольные вопросы:

1. Назначение и устройство комплектов индивидуальных дозиметров;
2. Порядок подготовки приборов к работе;
3. Порядок снятия показаний приборов.

Упражнение №3. Определение мощности экспозиционной дозы ионизирующих излучений с помощью бытового дозиметра-радиометра АНРИ-01-02 «СОСНА»

Используемое оборудование:

бытовой дозиметр-радиометр АНРИ-01-02 «СОСНА», наручные часы, сыпучий материал (песок), жидкость (питьевая вода).

Рабочее задание:

1. Ознакомиться с устройством и принципом работы бытового дозиметра-радиометра АНРИ-01-02 «СОСНА»;
2. Изучить порядок подготовки и эксплуатации приборов;
3. Научиться проводить оценку радиационной обстановки в различных режимах работы: а) «Поиск»; б) измерения мощности экспозиционной (полевой эквивалентной) дозы; в) плотности потока β -излучения с загрязненных поверхностей; г) оценки объемной радиоактивности радионуклидов в пробах.

Бытовые дозиметры-радиометры АНРИ-01-02 «СОСНА» предназначены для определения мощности экспозиционной дозы ионизирующих излучений. Прибор состоит из двух частей, соединенных между собой винтами. В верхней части на лицевой панели расположены органы управления и индикации, отсек элемента питания с крышкой. Внутри верхней части корпуса расположены две печатные платы, на которых установлены радиодетали. В нижней части корпуса расположена плата с установленными на ней счетчиками излучений. К нижней части корпуса крепится поворотная задняя крышка, являющаяся экранирующим фильтром. Между датчиками и задней крышкой установлена тонкая пленочная прокладка.

Расположение элементов конструкции органов управления и индикации приведены на рисунке. На боковой поверхности корпуса имеется гнездо разъема для подключения выносимых блоков детектирования. При работе прибора от внутренних счетчиков ионизации в это гнездо должна быть вставлена заглушка. При механических повреждениях пленочной прокладки конструкция прибора позволяет установку потребителем новой защитной прокладки из комплекта запасных частей.

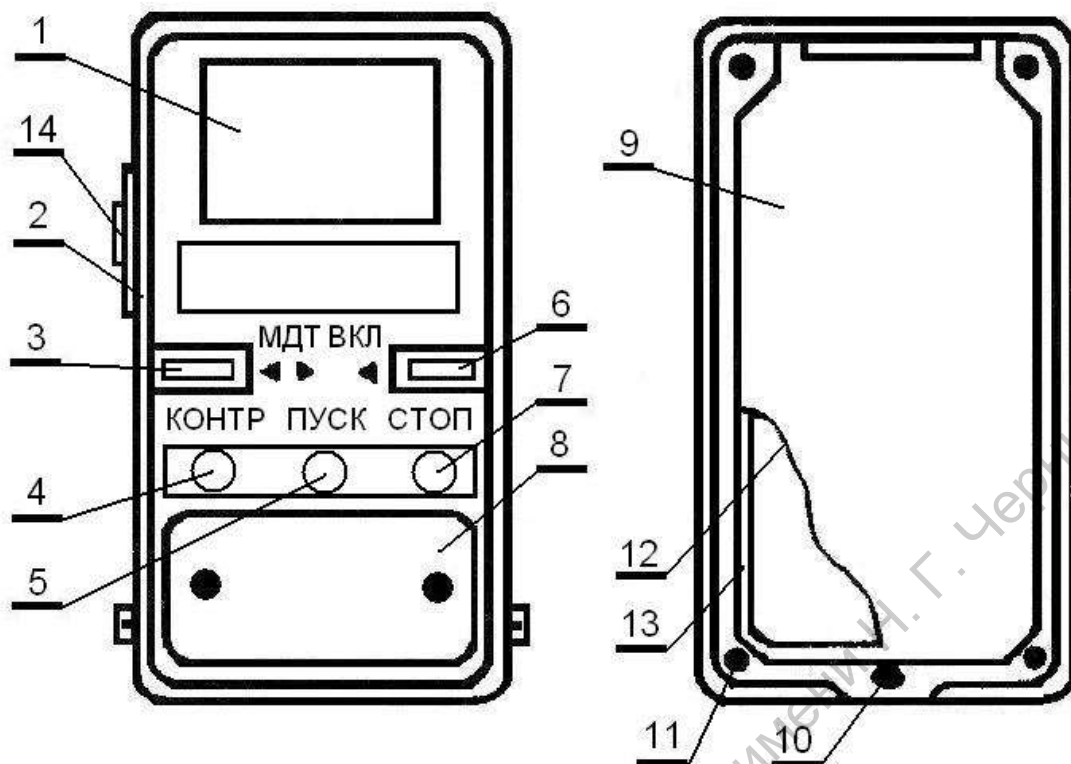


Рисунок 2. Дозиметр-радиометр бытовой

1. Цифровое жидкокристаллическое табло
2. Гнездо разъема для подключения выносного блока детектирования
3. Переключатель режимов работы
4. Кнопка контроля работоспособности прибора
5. Кнопка «Пуск»
6. Выключатель питания
7. Кнопка «СТОП», выключение измерения
8. Крышка отсека элемента питания
9. Задняя крышка
10. Фиксатор задней крышки
11. Место пломбировки
12. Прокладка защитная
13. Рамка
14. Заглушка

Принцип работы прибора АНРИ-01-02 «СОСНА»

При работе прибора преобразователь напряжения подает через токоограничивающие R-C цепочки на аноды газоразрядных счетчиков напряжения примерно равное 400 В. При попадании в рабочие объемы счетчиков ионизирующих частиц на нагрузке счетчиков появляются импульсы. Эти импульсы подаются на табло жидкокристаллического индикатора. При

установке переключателя режимов работы поз. 3 (см. рисунок 2) в положение «МД», в приборе работает внутренний таймер, который через заданное время прекращает счет импульсов.

Величины длительности временного интервала таймера и частоты следования импульсов генератора таймера подбираются при регулировке таким образом, чтобы обеспечить прямой отсчет величины мощности экспозиционной дозы γ -излучений в мР/ч на цифровом табло.

При установке переключателя режимов работы в положение «Т», таймер прибора не работает. Время счета импульсов контролируется потребителем по часам. На цифровом табло индицируется количество импульсов за заданный период времени.

При снижении напряжения батареи «Корунд» ниже допустимого значения (7.0 ± 0.2)В, срабатывает схема сигнализации. При снижении напряжения батареи прибор издает постоянный звуковой сигнал. Схема сигнализации выдает также звуковой сигнал по окончании времени измерения, если переключатель режима работы находится в положении «МД» и короткий звуковой сигнал при прохождении каждого десятого импульса, если переключатель режима работы находится в положении «Т».

В схеме работы предусмотрена возможность проверки исправности работы пересчетной схемы. При установке переключателя режимов работы в положении «МД», необходимо нажать кнопку «контроль» поз. 4 (см. рис. 2) и удерживать ее в нажатом состоянии, а затем запустить кнопкой «пуск/стоп» счет импульсов. При этом на вход пересчетной схемы подаются импульсы от генератора таймера. За время измерения, заданное таймером, на цифровом табло индикатора при исправной работе пересчетной схемы должно набраться число 1.024.

Прибор имеет 4 режима работы:

1. В режиме «Поиск» (переключатель режима работы в положении «Т») прибор служит для грубой оценки радиационной обстановки по частоте следования звуковых сигналов. В этом режиме прибор ведет счет импульсов от счетчиков прибора и подает короткий звуковой сигнал через каждые 10 импульсов.
2. В режим измерения мощности экспозиционной (полевой эквивалентной) дозы (переключатель режима работы в положении «МД») прибор ведет в течение 20 ± 5 с счет импульсов от счетчиков прибора. По окончании счета, время которого задается внутренним таймером прибора, на цифровом табло индицируется число, соответствующее мощности экспозиционной дозы гамма-излучения в мР/ч.
3. В режиме измерения плотности потока β -излучения с загрязненных поверхностей необходимо проведение двух измерений исследуемой поверхности: с закрытой и открытой задней крышкой прибора. Время измерений в обоих замерах задается внутренним таймером прибора. Результат вычисления вычисляется по формуле.

4. В режиме оценки объемной активности радионуклидов в пробах необходимо также проведение двух измерений. Оба измерения проводятся с открытой задней крышкой, а прибор устанавливается на кювету. Первое измерение проводится с кюветой, заполненной чистой питьевой водой, второе измерение с кюветой, заполненной исследуемым веществом. Время измерения контролируется секундомером или по часам. Результат измерений вычисляется по формуле.

Для измерений с открытой задней крышкой прибора необходимо повернуть фиксатор поз.10 (см. рис. 2) и открыть заднюю крышку. При замерах с открытой задней крышкой необходимо соблюдать осторожность, чтобы не повредить тонкую защитную пленку, закрывающую счетчики прибора.

Порядок подготовки прибора АНРИ-01-02 «СОСНА» к работе:

1. Установите выключатель питания (поз.6) в положение отключено (крайнее правое положение)
2. Установите элемент питания «Корунд» в отсек питания прибора, для чего:
 - отвинтите 2 винта на крышке отсека;
 - откройте крышку;
 - подключите элемент питания к ответной части разъема прибора;
 - разместите элементы питания в отсеке питания;
 - закройте крышку отсека
3. Включите прибор, для чего выключатель питания (поз.6) переведите в положение «ВКЛ». На цифровом табло должно индицироваться:

0000

Включение прибора должно сопровождаться коротким звуковым сигналом. Если переключатель режима работы (поз.3) находится в положении «МД», то после первого знака индицируется точка, если переключатель находится в положении «Т», то эта точка отсутствует.

4. Если прибор после включения издает постоянный звуковой сигнал, то необходимо установить новый элемент питания.
5. Убедитесь в исправности электронной пересчетной схемы и таймера прибора, для чего переведите переключатель режима работы (поз.3) в положение «МД», нажмите кнопку «контр.» (поз.4) и удерживайте ее в нажатом состоянии до конца проведения контрольной проверки, а затем нажмите кнопку «пуск/стоп» (поз.5). на цифровом табло должны появиться 3 точки между цифровыми знаками и начаться отсчет чисел. Через (20 ± 5) с отсчет чисел должен прекратиться, окончание отсчета должно сопровождаться коротким звуковым сигналом, а на табло должно индицировать число

1.024

После окончания отсчета отпустите кнопку «контр.»

6. Если при проведении контрольного теста индуцируемое число отличается от указанного выше, то следует считать прибор неисправным и отправить его в ремонт.
7. Для проверки работоспособности преобразователя напряжения и счетчиков необходимо установить переключатель режима работы в положение «МД» и нажать кнопку «пуск/стоп». После окончания измерения на табло должно индцироваться число 0.000 или число, меньшее 0.005, то следует считать прибор неисправным и отправить его в ремонт.

Порядок выполнения работы с прибором АНРИ-01-02 «СОСНА»:

1) *Работа в режиме «Поиск».*

1. Подготовьте прибор к работе согласно разделу «Подготовка прибора к работе»;
2. Проверьте, закрыта ли задняя крышка прибора (поз.9), при необходимости плотно закройте ее и зафиксируйте фиксатором (поз.10);
3. Переведите переключатель режима работы (поз.3) в положение «Т» (крайнее правое положение);
4. Включите прибор выключателем питания (поз.6) и нажмите на кнопку «пуск/стоп». Прибор начнет счет импульсов, число которых индцируется на числовом табло. Через каждые 10 импульсов прибор будет подавать звуковой сигнал. После каждого звукового сигнала запишите полученное значение в таблицу 3. Взаимодействие ионизирующих излучений с облучаемым объектом носит стохастический (случайный) характер, поэтому при малых значениях мощности экспозиционной дозы (на уровне естественного фона) может наблюдаться значительный разброс в показаниях прибора. Поэтому для получения стабильных значений дозы следует выполнить не менее 5 замеров. При естественном фоновом излучении прибор должен подавать 1-6 звуковых сигналов в минуту. С увеличением мощности экспозиционной дозы γ -излучений пропорционально возрастает частота следования звуковых сигналов;
5. Вычислить среднее арифметическое значение и записать его в таблице 5;

Таблица 5 – Измерение уровня радиоактивного излучения с помощью прибора АНРИ 01-02 «Сосна».

№	P_1 , мР/ч	P_2 , мР/ч	P_3 , мР/ч	P_4 , мР/ч	P_5 , мР/ч	P_{cp} , мР/ч
1						

6. После выполнения измерений выключите прибор.

II) Работа в режиме измерения мощности экспозиционной (полевой эквивалентной) дозы γ -излучения.

1. Подготовьте прибор к работе согласно разделу «Подготовка прибора к работе» и проверьте, закрыта ли задняя крышка прибора, при необходимости плотно закройте ее;
2. Переведите переключатель режима работы в положение «МД» (крайнее левое положение);
3. Включите прибор выключателем питания и нажмите кнопку «пуск/стоп». При этом на цифровом табло должны появиться точки после каждого разряда и начнется отсчет импульсов;
4. Через (20 ± 5) с измерение закончится, что будет сопровождаться звуковым сигналом, а на цифровом табло фиксируется число с одной запятой. Показание которого сохранится на цифровом табло до последующих нажатий на кнопку «пуск/стоп» или выключения прибора;
5. Запишите значение мощности экспозиционной дозы γ -излучения, измеренной в мР/ч в рабочую тетрадь в таблицу 6. При измерении мощности экспозиционной дозы, когда ожидаемый результат измерения может быть близок к верхнему пределу измерения прибора (10 мР/ч), необходимо в течение времени измерения визуально контролировать счет импульсов на цифровом табло индикатора. Прибор не имеет сигнализации о переполнении индикатора, а после переполнения четырех разрядов индикатора продолжает счет импульсов с нуля. В таких случаях повторите измерение, а если убедитесь в том, что произошло переполнение цифрового табло, немедленно покиньте зараженную зону, а об ее наличии и координатах сообщите в соответствующие государственные органы.

Таблица 6 – Измерение мощности экспозиционной дозы γ -излучения с помощью прибора АНРИ 01-02 «Сосна»

№	P_1 , мР/ч	P_2 , мР/ч	P_3 , мР/ч	P_4 , мР/ч	P_5 , мР/ч	P_{cp} , мР/ч
1						

6. Взаимодействие ионизирующих излучений с облучаемым объектом носит стохастический (случайный) характер, поэтому при малых значениях мощности экспозиционной дозы (на уровне естественного фона) может наблюдаться значительный разброс в показаниях прибора. Поэтому для получения стабильных значений мощности экспозиционной дозы γ -излучения следует выполнить не менее 5 замеров и вычислить среднее арифметическое значение. Для выполнения повторного замера достаточно, не выключая прибор, нажать кнопку «пуск/стоп».
7. После выполнения измерений выключите прибор.

III) *Работа в режиме измерения плотности потока β -излучения с загрязненных поверхностей.*

1. Подготовьте прибор к работе согласно разделу «Подготовка прибора к работе». Проверьте, закрыта ли задняя крышка прибора, при необходимости плотно закройте ее.

2. Переведите переключатель режима работы в положении «МД» и включите прибор.

3. Поднесите прибор плоскостью задней крышки к исследуемой поверхности на расстоянии 0.5-1см и нажмите кнопку «пуск/стоп». Выполните измерение и запомните или запишите показания прибора (N_γ) в таблицу 7. При измерении мощности экспозиционной дозы, когда ожидаемый результат измерения может быть близок к верхнему пределу измерения прибора (10 мР/ч), необходимо в течение времени измерения визуально контролировать счет импульсов на цифровом табло индикатора. Прибор не имеет сигнализации о переполнении индикатора, а после переполнения четырех разрядов индикатора продолжает счет импульсов с нуля. В таких случаях повторите измерение, а если убедитесь в том, что произошло переполнение цифрового табло, немедленно покиньте зараженную зону, а об ее наличии и координатах сообщите в соответствующие государственные органы.

Таблица 7 – Измерение плотности потока β -излучения с загрязненных поверхностей с помощью прибора АНРИ 01-02 «Сосна».

Объект	Показания прибора P_1 , мР/ч			Показания прибора P_2 , мР/ч			Показания прибора P_3 , мР/ч		
	$N_{\gamma+\beta}$	N_γ	N_β	$N_{\gamma+\beta}$	N_γ	N_β	$N_{\gamma+\beta}$	N_γ	N_β

4. Выполните аналогичное измерение с открытой задней крышкой. При работе с открытой задней крышкой необходимо соблюдать осторожность, чтобы не повредить тонкую защитную пленку, закрывающую счетчики прибора. Запишите показание прибора ($N_{\gamma+\beta}$) в таблицу 5.

5. Взаимодействие ионизирующих излучений с облучаемым объектом носит стохастический (случайный) характер, поэтому при малых значениях мощности экспозиционной дозы (на уровне естественного фона) может наблюдаться значительный разброс в показаниях прибора. Для получения более стабильных значений мощности экспозиционной дозы следует выполнить измерение N_γ и $N_{\gamma+\beta}$ не менее 3 раз.

6. Величину плотности потока β -излучения с поверхности вычислите по формуле:

$$N_{\beta} = K_s (N_{\gamma+\beta} - N_{\gamma}); \frac{\text{част}}{\text{см}^2 \cdot \text{мин}}$$

где N_{γ} - показание прибора с закрытой задней крышкой без учета запятой на табло импульсов;

$N_{\gamma+\beta}$ – показание прибора с открытой задней крышкой без учета запятой на табло импульсов;

K_s - коэффициент счета прибора, $\frac{\text{част}}{\text{см}^2 \cdot \text{мин}}$. Коэффициент K_s для прибора составляет 0.5 $\frac{\text{част}}{\text{см}^2 \cdot \text{мин}}$. Расчетная формула и значение коэффициента K_s указаны на задней крышке прибора.

7. Запишите полученное значение в таблицу 5 (N_{β});

8. Вычислите среднее арифметическое значение мощности дозы β -излучения с загрязненных поверхностей и запишите его значение в рабочую тетрадь;

9. После проведения измерений закройте заднюю крышку и выключите прибор.

IV) Работа в режиме оценки объемной (удельной) радиоактивности радионуклидов в пробах веществ (песок и водопродная вода)

ПОМНИТЕ! Оценка объемной (удельной) радиоактивности проб является наиболее сложной операцией при работе с прибором. Правильность оценки зависит от многих факторов, в том числе от физических свойств оцениваемого вещества, времени измерения, уровней мощности дозы γ -излучения, приготовления пробы и др. Оценку объемной (удельной) радиоактивности проб желательно проводить в местах с малыми уровнями фоновых значений γ -излучения, менее 0.020 мР/ч. Чем меньше фоновые значения γ -излучения, тем точнее можно оценить объемную(удельную) радиоактивность проб.

1. Подготовьте прибор к работе согласно разделу «Подготовка прибора к работе»;

2. Возьмите чисто вымытую, сухую кювету из комплекта прибора и заполните ее до отметки «уровень» дистиллированной водой;

3. Откройте заднюю крышку прибора, при работе с открытой задней крышкой необходимо соблюдать осторожность, чтобы не повредить тонкую защитную пленку, закрывающую счетчики прибора. Установите прибор на кювету;

4. Установите переключатель работы в положение «Т», включите прибор;

5. Подготовьте часы или секундомер для фиксации времени измерения

6. Зафиксируйте время начала замера и нажмите кнопку «пуск/стоп». Через $t = 10-15$ мин ± 5 с нажмите повторно кнопку «пуск/стоп». Запишите показания

прибора (N_{ϕ}) в таблицу 8. Туда же запишите время измерения t_0 . Если показание прибора будет более 1500 имп., необходимо провести дезактивацию кюветы и повторить измерение на кювете, заполненной водой, после дезактивации;

7. Заполните кювету исследуемым веществом (песок) по отметку «уровень». Твердые вещества необходимо измельчить и укладывать в кювету плотным, ровным слоем;

8. Установите прибор на кювету и выполните измерение исследуемого вещества. Запишите показание прибора ($N_{\phi+n}$) в таблицу 8;

9. Взаимодействие ионизирующих излучений с облучаемым объектом носит стохастический (случайный) характер, поэтому при малых значениях мощности экспозиционной дозы (на уровне естественного фона) может наблюдаться значительный разброс в показаниях прибора. Для получения более стабильных значений мощности экспозиционной дозы следует выполнить измерение N_{ϕ} и $N_{\phi+n}$ не менее 3 раз.

Таблица 8 – Оценка объемной (удельной) радиоактивности радионуклидов в пробах веществ (песок и водопроводная вода).

Вещество	N_{ϕ}	$N_{\phi+n1}$	$N_{\phi+n2}$	$N_{\phi+n3}$	A_{cp} , Ки/л
Песок					
	t_0	t_1	t_2	t_3	
		A_1	A_1	A_3	
Водопроводная вода	N_{ϕ}	$N_{\phi+n1}$	$N_{\phi+n2}$	$N_{\phi+n3}$	A_{cp} , Ки/л
	t_0	t_1	t_2	t_3	
		A_1 , Ки/л	A_1 , Ки/л	A_3 , Ки/л	

10. Повторите эксперимент с самого начала, только в качестве исследуемого объекта используйте водопроводную воду;

11. Выключите прибор, снимите его с кюветы и закройте заднюю крышку.

12. Расчет величины объемной радиоактивности исследуемых материалов производится по формуле:

$$A_{cp} = \left(\frac{N_{\phi+n}}{t_1} - \frac{N_{\phi}}{t_0} \right), \text{ Ки/л};$$

где N_{ϕ} - показание прибора при замере с кюветой, заполненной дистиллированной водой, импульс;

$N_{\phi+n}$ - показание прибора при замере с кюветой заполненной исследуемым веществом, импульс;

t_0 - время замера с кюветой, заполненной дистиллированной водой, мин ($t \sim 10$ мин.);

t_n - время замера с исследуемым веществом, мин, ($t \sim 10-15$ мин);
 K_n - коэффициент прибора.

ПОМНИТЕ! Величина коэффициента K_n зависит от характеристик измеряемого вещества. Ориентировочно величина коэффициента K_n для проб, содержащих изотопы Cs , составляет $8 \cdot 10^{-9} \frac{\text{Ки} \cdot \text{мин}}{\text{л} \cdot \text{имп}}$.

Если в результате замеров и расчета получится величина, меньшая чем $2 \cdot 10^{-7}$ Ки/л, или что соответствует разности показаний прибора при двух измерениях $N_{\phi+n} - N_{\phi} \leq 250$ импульсов, то необходимо повторить измерение исследуемого вещества, увеличив время замера до $t=30$ мин ± 10 с, и повторить вычисления.

Если в результате повторных измерений и расчетов получилась величина, меньшая чем 10^{-7} Ки/л ($3.7 \cdot 10^3$ Бк/л), то оценить объемную радиоактивность невозможно, можно лишь считать, что $A \leq 10^{-7}$ Ки/л ($3.7 \cdot 10^3$ Бк/л).

14. Вычислите среднее арифметическое и запишите полученный результат в таблице 8.

15. После проведения ватным тампоном удалите все имеющиеся на приборе и в измерительной кювете загрязнения, вытрите насухо прибор и кювету, закройте заднюю крышку и выключите прибор.

Контрольные вопросы:

1. Назначение и устройство дозиметра-радиометра АНРИ 01-02 «Сосна»;
2. Порядок подготовки прибора к работе;
3. Порядок снятия показаний приборов в различных режимах.

Упражнение №4. Поиск локальных источников ионизирующих излучений и определение мощности их экспозиционной дозы с помощью бытового индикатора радиоактивности РАДЭКС РД 1503.

Используемое оборудование:

бытовой индикатор радиоактивности РАДЭКС РД 1503, локальные источники ионизирующего излучения, испытательный «полигон» - измерительный зал корпуса № VI. В зале расположены несколько ИИИ с относительно небольшой активностью излучения, которые могут находиться в любом доступном месте

измерительного зала. Схематическое изображение зала с размещенным в нем оборудованием составляется студентом.

Рабочее задание:

1. Изучить назначение и устройство бытового индикатора радиоактивности РАДЭКС РД 1503.

2. Приобрести первичные навыки применения приборов для измерения параметров ионизирующих излучений, оценки результатов дозиметрических измерений и составления протоколов измерений для оценки радиационной обстановки.

3. Осуществить поиск локальных источников с помощью измерения надфоновой радиоактивности. Контролируемой величиной является надфоновая мощность эквивалентной дозы (далее МЭД), которая не должна превышать установленный норматив для радиационного чистого объекта, равный 0.2 мкЗв/ч.

Устройство прибора РАДЭКС РД 1503:

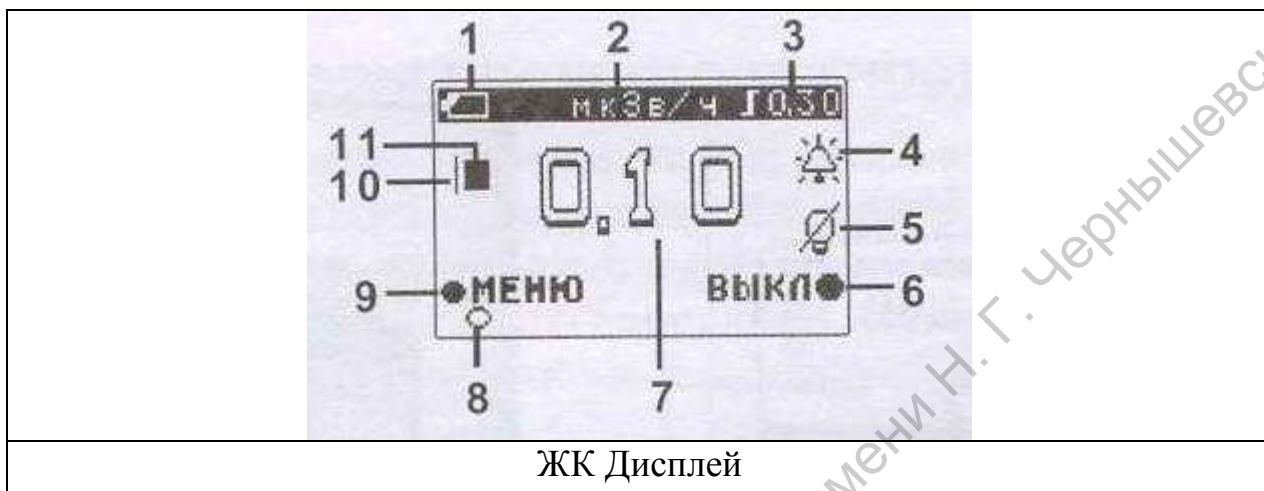
Внешний вид прибора представлен на рисунке 3.












Рисунок 3. Внешний вид индикатора радиоактивности РАДЭКС РД1503

1. ЖК-дисплей
2. Кнопка «МЕНЮ» и ее пиктограмма на дисплее. Кнопка имеет 3 функции: «МЕНЮ», «ВЫБОР», «ИЗМЕН»;
3. Кнопка «КУРСОР» и ее пиктограмма на дисплее. Кнопка используется в меню для перемещения курсора;
4. Кнопка «ВЫКЛ» и ее пиктограмма на дисплее. Кнопка имеет 4 функции: включение прибора, включение подсветки ЖК-дисплея, возврат в меню, выключение прибора;
5. Батарейный отсек.

Пиктограммы подсказывают пользователю функции кнопок, облегчая тем самым использование изделия (прибора). Далее в тексте указываются пиктограммы кнопок. Указание нажать ту или иную кнопку с той или иной пиктограммой означает нажатие соответствующей кнопки на корпусе прибора.



1.	Пиктограмма состояния элемента питания:	
		- полный заряд элементов питания;
		- разряженный элемент питания;
		- элемент питания полностью разряжен.
2.	Размерность:	
		- микроЗиверт;
		- микроРентген.
3.	Пиктограмма порога звукового сигнала:	
	Для размерности мкЗв/ч:	
		- 0.30 мкЗв/ч
		- 0.60 мкЗв/ч
		- 1.20 мкЗв/ч
	Для размерности мкР/ч:	
		- 30 мкР/ч;
		- 60 мкР/ч;
		- 120 мкР/ч;
		- при отключенном пороге.
4.	Пиктограмма настройки звонка:	
		- звонок включен громко или тихо;
		- звонок отключен.
5.	Пиктограмма настройки подсветки:	

		- подсветка включена;
		- подсветка отключена.
6.	Функция кнопки «ВЫКЛ»	
7.	Результат наблюдений (в мкЗв/ч или мкР/ч);	
8.	Функция кнопки «КУРСОР»;	
9.	Функция кнопки «МЕНЮ»;	
10.	Пиктограмма отображает количество выполненных циклов наблюдения	
		- соответствует первому короткому циклу наблюдения;
		- соответствует второму короткому циклу наблюдения;
		- соответствует третьему короткому циклу наблюдения;
		- соответствует одному циклу наблюдения;
		- соответствует двум циклам наблюдения;
		- соответствует трем циклам наблюдения;
		- соответствует четырем и более циклам наблюдения;
11.	Индикация зарегистрированной частицы.	

Алгоритм работы прибора

После включения прибора начинается оценка радиационной обстановки. В течение времени наблюдений каждый регистрируемый квант излучения сопровождается индикацией на дисплее пиктограммы и коротким звуковым сигналом, если звук включен и отключен порог. Через 10 сек после включения изделия на дисплее выводится первый результат короткого цикла и пиктограммы (см. рис. выше). Второй и третий короткие циклы наблюдения автоматически усредняются. Наиболее достоверный результат выводится на дисплее после первого сорокасекундного цикла наблюдения и отображается пиктограммой.

Через 40 сек после включения прибора на дисплей выводится первый результат и пиктограмма в виде стороны квадрата, которая отображает количество выполненных наблюдений (см. пункт «10»).

Первый результат наблюдения выводится на дисплей как среднее значение 4-х коротких циклов, второй – как среднее значение 2-х циклов наблюдения, третий – как среднее значение 3-х циклов наблюдения и далее каждый последующий результат – это среднее значение 4-х предыдущих наблюдений.

При усреднении результата изделие анализирует отклонение текущего значения относительно результата предыдущего наблюдения. Если разница превышает определенное значение, то на экран выдается текущий результат, а не средний. Например, по результатам 3-х наблюдений средний результат равен

0.20 мкЗв/ч, а в четвертом цикле зарегистрировано текущее значение 0.80 мкЗв/ч, тогда результат четвертого наблюдения не будет усредняться и на дисплее мы увидим 0.80 мкЗв/ч. Эта функция прибора позволяет определить резкое изменение мощности дозы.

Замечание: При оценке радиационной обстановки необходимо помнить, что ионизирующее излучение имеет статистический вероятностный характер, поэтому показания прибора в одинаковых условиях не могут быть строго постоянными. Для достоверного определения уровня мощности дозы следует проводить от 3 до 5 циклов наблюдения, не выключая прибора.

При определении радиоактивной загрязненности продуктов питания, предметов быта и т.д. следует приблизить изделие к объекту исследования на расстояние 5-10 мм левой боковой стороной (с прорезями) и включить его.

При определении радиоактивной загрязненности жидкостей оценка мощности дозы проводится над открытой поверхностью жидкости. Не допускается попадание жидкостей на поверхность и внутрь изделия. Для защиты изделия в подобных случаях рекомендуется использовать полиэтиленовый пакет, но не более чем в один слой.

Для определения места расположения источника ионизирующего излучения следует перемещать включенное изделие над поверхностью обследуемого объекта, ориентируясь на частоту звуковых сигналов (в настройках меню: порог – откл., звонок – включен). Помните, что частота сигналов по мере приближения к источнику будет резко возрастать, а по мере удаления также резко убывать.

Порядок подготовки прибора РАДЭКС РД 1503 к работе

1. Установите в батарейный отсек один или два элемента питания размера «ААА». Полярность элементов питания указана в батарейном отсеке;

2. Включите изделие. Для этого нажмите большую кнопку, после чего на дисплее разворачивается «экран РД1503». Начинается оценка радиационной обстановки. Первый результат наблюдения (мощность дозы) появляется на дисплее через 10 секунд.

3. Для входа в меню изменения заводских настроек нажмите кнопку «МЕНЮ». Появляется содержание меню. По умолчанию установлены следующие настройки:

размерность – мкЗв/ч,

порог – 0.30 мкЗв/ч,

звук – тихо,

подсветка – выключена.

Перемещение по пунктам меню осуществляется кнопкой «КУРСОР». Выбор пункта меню и его изменение осуществляется кнопкой «МЕНЮ». Выход из меню осуществляется кнопкой «ВЫКЛ». Выключение изделия осуществляется продолжительным (до исчезновения сообщений на дисплее) нажатием кнопки «ВЫКЛ».

4. Установить следующие настройки:

размерность – мкР/ч,
порог – 120 мкР/ч,
звук – тихо,
подсветка – выключена.

Порядок выполнения работы:

1. Включите прибор, для чего нажмите большую кнопку, после чего на дисплее появляется надпись «экран РД 1503»;
2. Выполните измерения фоновой мощности экспозиционной дозы излучения за пределами «испытательного полигона» (в коридоре между учебными аудиториями или за пределами учебного корпуса) в соответствии с вышеизложенным порядком для первого цикла измерения (40 сек). При оценке радиационной обстановки необходимо помнить, что ионизирующее излучение имеет статистический вероятностный характер, поэтому показания прибора в одинаковых условиях не могут быть строго постоянными. Фоновое показание прибора определяют как среднее арифметическое значение для многократных (7-10) измерений фона *на расстоянии 10-15 м от объекта и высоте около 0.6 м от поверхности*, не включая изделия. Запишите среднее арифметическое значение фоновой мощности (Φ , мкР/ч) в рабочую тетрадь;
3. Выполните измерения фоновой мощности экспозиционной дозы излучения в центре «испытательного полигона» (центр учебной аудитории) в соответствии с вышеизложенным порядком для первого цикла измерения (40 сек). При проведении замера руководствуйтесь рекомендациями предыдущего пункта. Запишите среднее арифметическое значение фоновой мощности «полигона» (Φ_n , мкР/ч) в рабочую тетрадь;
4. Вычтите величину Φ из Φ_n и получите общую величину фоновой экспозиционной дозы излучения «испытательного полигона» (Φ_{on}):

$$\Phi_{on} = \Phi_n - \Phi.$$

Запишите значение его значение в рабочую тетрадь;

5. Осуществить поиск надфоновых источников ионизирующих излучений «испытательного полигона» зале с помощью поискового замера, провести измерения мощности дозы (МЭД, мкР/ч) в выявленных местах расположения источников излучения. Локальным источником считается объект или постороннее включение, вблизи которого значение МЭД на 20-30%, превышает среднее значение МЭД (Φ_{on}) для близлежащих источников. Обследование выполняют, перемещая датчик радиометра вдоль произвольно назначенных маршрутных линий со скоростью **не более 0.2 м/с**, на расстоянии 10 см над поверхностью исследуемого объекта (стена, пол, поверхность оборудования), непрерывно наблюдая за показаниями прибора. При обнаружении локального ИИИ прерывают перемещение по выбранной маршрутной линии и проводят детальное обследование (согласно изложенному выше), оконтурить место повышенной интенсивности γ -излучения и нанести его местоположение и МЭД

на масштабную схему. Для расчета величины МЭД используем следующую формулу:

$$M_{\text{ЭД}} = M_{\text{ЭД}_{\text{ул}}} - M_{\text{ЭД}_{\text{эл}}} - \Phi$$

где $M_{\text{ЭД}_{\text{ул}}}$ – истинная надфоновая мощность ИИИ, мкР/ч;

$M_{\text{ЭД}_{\text{эл}}}$ – экспериментально измеренная надфоновая мощность ИИИ, мкР/ч;

Φ – фоновая мощность, мкР/ч;

6. Нанести на схему расположение выявленных источников и их истинную МЭД. Схема расположения и порядок нумерации ИИИ составляется каждым студентом в произвольном порядке. Истинные надфоновые мощности ИИИ (мкР/ч) могут быть обозначены либо на самой схеме, либо отдельной сноской соответствующей номеру ИИИ, обозначенному на схеме;

7. После выполнения работы выключите прибор и удалите из него элементы питания.

Контрольные вопросы:

1. Назначение и устройство бытовых индикаторов радиоактивности РАДЭКС РД 1503.

2. Порядок подготовки прибора к работе;

3. Порядок поиска локальных надфоновых ИИИ и последовательность определения мощности экспозиционной дозы ионизирующего излучения.

Список рекомендуемой и используемой литературы

1. Физический Энциклопедический Словарь / гл. редактор А.М. Прохоров / М.: «Советская энциклопедия», 1983.
2. Машкович В.П., Панченко А.М. Основы радиационной безопасности. _ М.: Энергоатомиздат, 1990, - 176 с.
3. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Курс физики, Т. 3. М.: Высшая школа, 1972.
4. Михайлов Л.А. Безопасность жизнедеятельности. М., 2007.
5. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике. М.: Наука, 1964.
6. Матвеев А.Н. Атомная физика. М.: Высшая школа, 1989.
7. Иванов В.И. Курс дозиметрии, 3 изд., М., 1978.
8. Левин В.Е., Халиянов Л.П. Измерение ядерных излучений. М., 1987.
9. Лукьянов В.Б., Бердоносоев С.С. Радиоактивные индикаторы в химии. (Проведение эксперимента и обработка результатов). М., 1990.
10. Рентгенметры-радиометры ДП-5(А, Б, В). Руководство по эксплуатации.
11. Индивидуальный дозиметр ДП-22В, ДП-24. Руководство по эксплуатации.
12. Дозиметр-радиометр бытовой АНРИ 01-02 «Сосна». Руководство по эксплуатации РБ-1.00.000 РЭ.
13. Индикатор радиоактивности РАДЭКС РД1503 (RADEX RD1503). Руководство по эксплуатации 10.КР.01.00.00.000ПС.