

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Геотехника и экология в строительстве»

ЗАЩИТА НАСЕЛЕНИЯ И ОБЪЕКТОВ
В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ.
РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Лабораторный практикум
для студентов строительных специальностей

Минск
БНТУ
2014

УДК 614.876(076.5)

ББК 68.518я7

3-40

Составители:

кандидат технических наук, доцент кафедры «Геотехника
и экология в строительстве» *С. Н. Банников*;
старший преподаватель кафедры «Геотехника и экология
в строительстве» *Т. М. Архангельская*;
ассистент кафедры «Геотехника и экология в строительстве»
В. Г. Мякота

Рецензенты:

В. Г. Шахов, А. Ф. Кривец

Защита населения и объектов в чрезвычайных ситуациях. Радиационная безопасность : лабораторный практикум для студентов строительных специальностей / сост.: С. Н. Банников, Т. М. Архангельская, В. Г. Мякота. – Минск : БНТУ, 2014. – 54 с.
ISBN 978-985-550-526-7.

Практикум содержит современные сведения, необходимые студенту для выполнения лабораторных работ по одноименной дисциплине. Приведены основные методики по обнаружению и измерению ионизирующих излучений. Большое внимание уделено методам измерения доз излучения, радиоактивности строительных материалов и др. Представлены описания различных типов дозиметров и радиометров, порядок подготовки их к работе, ее выполнения и оформления.

УДК 614.876(076.5)
ББК 68.518я7

ISBN 978-985-550-526-7

© Белорусский национальный
технический университет, 2014

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Введение</i>	4
<i>Лабораторная работа № 1</i> Измерение зараженности радиоактивными веществами различных объектов, продуктов питания и воды прибором ДП-5В.....	5
<i>Лабораторная работа № 2</i> Измерение мощности эквивалентной дозы \dot{H}_γ , плотности потока β -частиц с зараженной поверхности φ_β и удельной активности A_m с помощью прибора РКСБ-104	17
<i>Лабораторная работа № 3</i> Радиационный контроль питьевой воды и пищевых продуктов.....	32
<i>Лабораторная работа № 4</i> Исследование защитных свойств строительных материалов при наличии внешнего ионизирующего излучения	50

ВВЕДЕНИЕ

Радиационная безопасность – комплекс научно-обоснованных мероприятий, обеспечивающих защиту человека и объектов окружающей среды от вредного воздействия ионизирующих излучений. Она является состоянием защищенности настоящего и будущих поколений людей от вредного для их здоровья воздействия ионизирующих излучений. Важной задачей радиационной безопасности является разработка системы радиационного контроля, позволяющей осознанно выбрать средства и определить частоту измерения уровня радиации, а также установить величину активности радиоактивных веществ в строительных материалах, зданиях и сооружениях и т. д. В связи с этим, вопросы контроля радиоактивного загрязнения окружающей среды, строительных материалов, при строительстве зданий и сооружений и др., оценки и прогнозирования риска воздействия ионизирующего излучения на живые организмы приобрели особую актуальность.

Современный уровень радиоэкологических знаний не позволяет подавляющему большинству населения объективно оценивать существующую ситуацию и вести себя адекватно, правильно ориентироваться в информационном потоке и критически относиться к многочисленным, не всегда обоснованным «рекомендациям». Поэтому чем больше люди, тем более выпускники вузов, овладеют знаниями о радиации и о той пользе, которую она приносит, а также оценят опасность, которую она влечет, тем лучше они будут выполнять свои функции.

И радиактивность, и сопутствующие ей ионизирующие излучения существовали на Земле задолго до зарождения на ней жизни. И сейчас они являются одним из факторов окружающей среды. Активно входят в нашу жизнь также ядерная наука и техника. Поэтому необходимо, чтобы на строительстве зданий и сооружений работали только образованные и хорошо подготовленные в данной области специалисты. Знание свойств радиации и особенностей ее воздействия на живые организмы позволяет свести к минимуму связанные с ее использованием риски.

Лабораторная работа № 1

ИЗМЕРЕНИЕ ЗАРАЖЕННОСТИ РАДИОАКТИВНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ РАЗЛИЧНЫХ ОБЪЕКТОВ, ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ И ВОДЫ ПРИБОРОМ ДП-5В

Цель работы:

- 1) закрепить теоретические знания по основам измерений радиоактивных загрязнений;
- 2) получить практические навыки в измерении зараженности радиоактивными веществами различных объектов, продуктов питания и воды.

1.1. Краткие теоретические сведения

Рентгеновское и γ -излучение, потоки α -частиц, электронов, позитронов и нейтронов называют *ионизирующими излучениями*, так как при прохождении через вещество они производят ионизацию его атомов и молекул.

Количественной мерой воздействия любого вида излучения на облучаемый объект является доза. Различают экспозиционную X , поглощенную D , эквивалентную H дозы и др.

Экспозиционной дозой оценивают ионизирующее действие рентгеновского и γ -излучения (фотонного излучения) в воздухе. К другим видам ионизирующего излучения и другим облучаемым объектам это понятие не применяется.

В воздухе под действием (фотонного) γ -излучения образуются положительно и отрицательно заряженные ионы. Экспозиционная доза – отношение суммарного электрического заряда dQ всех ионов одного знака, образующихся при полном торможении вторичных электронов, отщепленных фотонным излучением от атомов в элементарном объеме воздуха к массе dm воздуха в этом объеме:

$$X = \frac{dQ}{dm}.$$

Единица измерения экспозиционной дозы X в СИ – Кл/кг.

При экспозиционной дозе 1 Кл/кг в 1 кг облучаемого воздуха образуется суммарный заряд ионов одного знака, равный 1 Кл.

Внесистемная единица экспозиционной дозы – рентген (Р).

Рентген (Р) – такое количество γ - и рентгеновского излучения, которое в 1 см³ сухого воздуха (при $t = 0^\circ\text{C}$ и давлении 760 мм ртутного столба) образует $2,1 \cdot 10^9$ пар ионов. 1 Кл/кг = 3876 Р.

Мощность экспозиционной дозы \dot{X} – отношение приращения экспозиционной дозы dX за малый промежуток времени к его длительности dt :

$$\dot{X} = \frac{dX}{dt}.$$

В единицах СИ мощность экспозиционной дозы измеряется в Кл/кг·с, внесистемными единицами являются Р/ч.

На территории Беларуси, до катастрофы на ЧАЭС, мощность экспозиционной дозы в различных районах изменялась от 2 до 12 мкР/ч. Сейчас в местах проживания жителей республики ее значение достигают 100–200 мкР/ч (в некоторых населенных пунктах).

Радионуклиды, выпадая на местность из радиоактивного облака, образовавшегося в результате аварии на ядерном объекте или ядерного взрыва, на длительное время заражают водоисточники, сельскохозяйственные и промышленные объекты, технику, жилые помещения и продукты питания. Объекты, зараженные радиоактивными веществами, становятся опасными для человека, так как излучают потоки γ -лучей и β -частиц.

Особенно опасны радиоактивные вещества при попадании внутрь организма человека с пищей и водой. Чтобы исключить поражение людей, необходимо удалять радиоактивные вещества с зараженных объектов до безопасных для человека величин.

С целью необходимости и полноты дезактивации, определения возможности потребления продуктов питания и воды необходимо проводить измерение степени зараженности различных объектов и проверять соответствие полученных значений допустимым (см. табл. 1.1).

Таблица 1.1

Республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов цезия-137 и стронция-90 в пищевых продуктах и воде (РДУ–2001)

Наименование продукции	Ки/кг, Ки/л	Бк/кг, Бк/л
1. Цезий-137		
Вода питьевая	$2,7 \cdot 10^{-10}$	10
Молоко и цельномолочная продукция	$2,7 \cdot 10^{-9}$	100
Молоко сгущенное и концентрированное	$5,4 \cdot 10^{-9}$	200
Творог и творожные изделия	$1,35 \cdot 10^{-9}$	50
Сыры сычужные и плавленые	$1,35 \cdot 10^{-9}$	50
Масло коровье	$2,7 \cdot 10^{-9}$	100
Мясо и мясные продукты, в том числе: говядина, баранина и продукты из них; свинина, птица и продукты из них	$1,35 \cdot 10^{-8}$ $4,9 \cdot 10^{-9}$	500 180
Картофель	$2,2 \cdot 10^{-9}$	80
Хлеб и хлебобулочные изделия	$1,1 \cdot 10^{-9}$	40
Мука, крупы, сахар	$1,6 \cdot 10^{-9}$	60
Жиры растительные	$1,1 \cdot 10^{-9}$	40
Жиры животные и маргарин	$2,7 \cdot 10^{-9}$	100
Овощи и корнеплоды	$2,7 \cdot 10^{-9}$	100
Фрукты	$1,1 \cdot 10^{-9}$	40
Садовые ягоды	$1,9 \cdot 10^{-9}$	70
Консервированные продукты из овощей, фруктов и ягод садовых	$2,0 \cdot 10^{-9}$	74
Дикорастущие ягоды и консервированные продукты из них	$5,0 \cdot 10^{-9}$	185
Грибы свежие	$1,0 \cdot 10^{-8}$	370
Грибы сушеные	$6,8 \cdot 10^{-7}$	2500
Специализированные продукты детского питания в готовом для употребления виде	$1,0 \cdot 10^{-9}$	37
Прочие продукты питания	$1,0 \cdot 10^{-8}$	370
2. Стронций-90		
Вода питьевая	$1,0 \cdot 10^{-11}$	0,37
Молоко и цельномолочная продукция	$1,0 \cdot 10^{-10}$	3,7
Хлеб и хлебобулочные изделия	$1,0 \cdot 10^{-10}$	3,7
Картофель	$1,0 \cdot 10^{-10}$	3,7
Специализированные продукты детского питания в готовом для употребления виде	$5,0 \cdot 10^{-11}$	1,85

1.2. Устройство прибора ДП-5В

Основным прибором для измерения степени зараженности различных объектов является измеритель мощности экспозиционной дозы ДП-5В. Кроме того, прибор ДП-5В позволяет обнаруживать β -излучение.

Диапазон измерений от 0,05 мР/ч до 200 Р/ч ($3,6 \cdot 10^{-12}$ – $1,4 \cdot 10^{-5}$ Кл/кг·с) разбит на шесть поддиапазонов.

Показания на I поддиапазоне снимаются по нижней шкале. Отсчет показаний на II и IV поддиапазонах производится по верхней шкале с последующим умножением на соответствующий коэффициент поддиапазона.

Прибор имеет звуковую индикацию на всех поддиапазонах, кроме первого. Погрешность прибора $\pm 30\%$. Питание прибора осуществляется от трех элементов постоянного тока типа А336, один из которых используется для подсветки шкалы микроамперметра в темное время. Комплект питания обеспечивает непрерывную работу прибора в нормальных условиях в течение 40 ч. Масса прибора с элементами питания 3,2 кг. Масса полного комплекта прибора в упаковочном ящике 6 кг.

Прибор состоит из измерительного пульта с блоком детектирования (зонда), телефона с наушниками, удлинительной штанги, удлинительного кабеля (длиной 10 м) с делением напряжения, для работы от аккумуляторов 12–24 В, эксплуатационной документации, упаковочного ящика. Измерительный пульт размещен в верхнем отсеке футляра. На панели измерительного пульта размещены: микроамперметр с двумя шкалами: верхней – 0,5–5 мР/ч, нижней – 5–200 Р/ч.

Таблица 1.2

Пределы измерений при соответствующей установке переключателя поддиапазонов прибора

№ поддиапазона	Положение ручки переключателя и коэффициент поддиапазона	Шкала измерительного прибора	Единица измерения	Предел 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

В кожухе измерительного пульта (снизу) имеется отсек для размещения источников питания.

Блок детектирования, соединенный с измерительным пультом кабелем длиной 120 см, представляет собой разъемный стальной цилиндр диаметром 50 мм и длиной 164 мм, внутри которого размещены два газоразрядных счетчика, Гейгера-Мюллера типа СИЗБГ и СБМ-20), другие элементы электрической схемы прибора, контрольный источник для проверки работоспособности прибора. На корпус блока надет поворотный экран с вырезом.

Блок имеет три положения, в которых может фиксироваться:

«К» – контроль;

«Г» – обнаружение γ -излучения;

«Б» – обнаружение $\gamma + \beta$ -излучения.

Телефоны применяются для звуковой индикации мощности дозы излучения. Удлинительная штанга присоединяется к блоку детектирования для удобства измерений.

Делитель напряжения предназначен для подключения прибора к внешнему источнику постоянного тока напряжением 3,6 и 22 В.

Эксплуатационная документация включает техническое описание с инструкцией по эксплуатации и формуляр.

1.3. Подготовка прибора к работе

1. Проверить комплектность.

2. Развертывание:

а) извлечь прибор из укладочного ящика;

б) пристегнуть к футляру поясной и плечевой ремни;

в) извлечь измерительный пульт и блок детектирование и осмотреть их;

г) вскрыть отсек питания и установить источники питания, соблюдая полярность.

3. Контроль источников питания:

а) проверить подсветку шкалы;

б) подключить головные телефоны;

в) установить переключатель поддиапазонов в положение ▲ (черный треугольник), стрелка амперметра должна находиться в пределах черного сектора верхней шкалы. Если стрелка не доходит до

отметки, необходимо проверить годность и правильность подключения источников питания.

4. Проверка работоспособности прибора:

а) поворотный экран блока детектирования установить в положение «К» (контроль);

б) установить переключатель поддиапазонов в положение «О» выключено;

в) на I поддиапазоне работоспособность прибора не проверяется;

г) на II и III поддиапазонах при переключении поддиапазона в телефонах слышны отдельные щелчки;

д) на IV поддиапазоне стрелка микроамперметра должна отклониться до значения, указанного в формуляре прибора при последней проверке прибора;

е) на V и VI поддиапазонах стрелка должна зашкаливать, в телефонах должен быть слышен треск.

Если все указанное выполняется, поверните стальной экран блока детектирования и зафиксируйте его в положении «Г» (γ -излучение).

Измерение степени зараженности строительной автомобильной техники проводится в следующем порядке:

– поднести блок детектирования к поверхности объекта на расстоянии 1,0–1,5 см и медленно перемещая блок детектирования над объектом, определить место максимального заражения по наибольшей частоте щелчков в головных телефонных или по максимальному отклонению стрелки микроамперметра;

– снять показания микроамперметра при расположении блока детектирования в месте максимального заражения $\dot{X}_{\text{изм}}$.

Для определения величины радиоактивного заражения необходимо:

а) величину γ -фона \dot{X}_{ϕ} разделить на коэффициент k , учитывающий экранирующее действие объекта ($\dot{X}_{\phi} = \frac{\dot{X}_{\phi}}{k}$) и равный 2 для крупной техники (грузовые автомобили, автокраны, бульдозеры, башенные краны и др.);

б) вычесть величину γ -фона \dot{X}_{ϕ} из измеренной мощности $\dot{X}_{\text{изм}}$.
Результат является величиной радиоактивного заражения объекта:

$$\dot{X}_{\text{об}} = \dot{X}_{\text{изм}} - \dot{X}_{\phi}$$

Измерение зараженности людей, одежды, обуви, индивидуальных средств защиты осуществляется в местах, где γ -фон не превышает более чем в три раза их допустимую степень заражения. Если внешний γ -фон превышает указание величины, то для измерения зараженности необходимо использовать различного рода укрытия.

Перед началом контроля заражения следует измерить γ -фон \dot{X}_{ϕ} .
Затем необходимо:

- становить экран блока детектирования в положение «Г»;
- поднести блок детектирования к поверхности объекта на расстоянии 1–1,5 см, и, медленно перемещая зонд над ней, определить место максимального заражения и снять показания микроамперметра $\dot{X}_{\text{изм}}$.

При измерении степени зараженности людей особое внимание следует обратить на открытые участки кожи – лица, шеи, рук. Степень радиоактивного заражения определяется так же, как и для техники. При этом значение k принимается равным 1,2.

Для определения радиоактивного заражения одежды, белья, обуви и индивидуальных средств защиты в развернутом виде необходимо из значения измеренной мощности дозы вычесть величину γ -фона \dot{X}_{ϕ} .

Для измерения радиоактивного заражения воды и пищевых продуктов отбираются пробы в специальную кювету. Для измерения радиоактивного заражения воды проба берется из открытого водисточника, поэтому следует брать две пробы: одну из поверхностного слоя водисточника, другую – со дна вместе с грунтом (после взмучивания).

Пробы жидких пищевых продуктов (молока, растительного масла, соков, компотов и т. д.), а также пищи в сваренном виде следует брать после тщательного перемешивания.

Пробы крупы, сахара, муки, соли и др. следует брать от прилегающего к таре слоя толщиной 1–2 см и тщательно перемешивать.

Перед измерением степени зараженности указанных продуктов измеряется γ -фон. Если он превышает допустимую зараженность более чем в 3 раза, то измерения следует проводить в укрытии.

Для измерения радиоактивного заражения жидких и сыпучих пищевых продуктов, макаронных изделий, сухофруктов, пищи в сваренном виде и воды необходимо:

– установить кювету с исследуемым продуктом в месте контроля;

– установить экран блока детектирования в положение «Г»;

– расположить блок детектирования над серединой кюветы на расстоянии 1 см от поверхности исследуемого продукта;

– снять показания микроамперметра $\dot{X}_{\text{изм}}$;

– вычесть из полученной величины $\dot{X}_{\text{изм}}$ значение γ -фона $\dot{X}_{\text{ф}}$.

Для измерения радиоактивного заражения хлеба необходимо:

– расположить батон (буханку) хлеба на подготовленной поверхности в месте контроля; установить экран блока детектирования в положение «Г»;

– расположить блок детектирования над серединой батона (буханки) упорами вниз вдоль длинной стороны на высоте 1 см;

– снять показания микроамперметра $\dot{X}_{\text{изм}}$;

– вычесть из полученной величины $\dot{X}_{\text{изм}}$ значение γ -фона $\dot{X}_{\text{ф}}$.

При измерении степени зараженности объектов, имеющих жесткие допустимые по радиоактивной зараженности (продукты питания, вода), необходимо установить наличие в них радионуклидов. Для этого определяется наличие β -зараженности контролируемых объектов с помощью прибора ДП-5В. Обнаружение β -зараженности осуществляется на IV, V, VI поддиапазонах. При этом необходимо повернуть экран на блоке детектирования в положение «Б». Ручку переключателя поддиапазонов последовательно ставить в положение $\times 0,1$; $\times 1$; $\times 10$ до отключения стрелки микроамперметра в пределах шкалы. Увеличение показания прибора по сравнению с γ -измерением свидетельствует о наличии β -зараженности и, следовательно, о наличии радиоактивных веществ на обследуемых объектах.

Измерение уровней радиации на местности с помощью прибора ДП-5В производится на высоте 70–100 см. При переводе прибора в рабочее положение и ведении разведки пешим порядком блок детектирования из футляра не извлекается. При ведении разведки на автомобиле уровни радиации на местности могут быть измерены в косом блока детектирования прибора ДП-5В или при расположении блока детектирования внутри автомобиля, в последнем случае показания прибора умножаются на коэффициент ослабления излучений автомобилем.

1.4. Материальное обеспечение лабораторной работы

1. Прибор ДП-5В – 4 шт.
2. Радиоактивные препараты – 2 шт.
3. 4 образца для измерения мощности экспозиционной дозы.

1.5. Порядок выполнения работы

1. Изучить настоящие методические материалы.
2. Подготовить к работе прибор ДП-5В и проверить его работоспособность.
3. Измерить радиационный фон в лаборатории.
4. Измерить мощности экспозиционной дозы исследуемых в лаборатории образцов.
5. Результаты подготовки прибора, проверки его работоспособности прибора и измерений записать в отчет и сравнить с безопасными нормами заражения, установленными для исследуемых образцов.

1.6. Форма отчета

Лабораторная работа № 1

Тема:

1. Цель работы.
2. Назначение и основные характеристики прибора ДП-5В.
3. Результаты подготовки прибора ДП-5В к проведению измерения степени зараженности различных объектов:

Последовательность операций и положение переключателя поддиапазонов	Признаки, характеризующие работоспособность прибора	Заключение о готовности прибора

4. Измерить фоновое значение мощности экспозиционной дозы $\dot{X}_{\gamma, \text{ф}}$, мР/ч:

Поддиапазоны	№ измерения					Среднее значение
	1	2	3	4	5	
I						
II						
III						
IV						
V						
VI						

5. Измерить фоновое значение мощности экспозиционной дозы $\beta + \gamma$ -излучения $\dot{X}_{\beta+\gamma, \text{ф}}$, мР/ч:

Поддиапазоны	№ измерения					Среднее значение
	1	2	3	4	5	
I						
II						
III						
IV						
V						
VI						

6. Вычислить фоновое значение мощности экспозиционной дозы β -излучения $\dot{X}_{\beta, \text{ф}}$.

$$\dot{X}_{\beta, \text{ф}} = \dot{X}_{\gamma+\beta, \text{ф}} - \dot{X}_{\gamma, \text{ф}}$$

7. Измерить мощность экспозиционной дозы γ -излучения образцов $\dot{X}_{\gamma, \text{изм}}$, мР/ч:

Наименование образца	Под-диапазоны	№ измерения					Среднее значение
		1	2	3	4	5	
	I						
	II						
	III						
	IV						
	V						
	VI						

$$\dot{X}_{\gamma, \text{ист}} = \dot{X}_{\gamma, \text{изм}} - \dot{X}_{\gamma, \text{ф}},$$

5. Измерить мощность экспозиционной дозы $\gamma + \beta$ -излучения образцов $\dot{X}_{\gamma+\beta, \text{изм}}$, мР/ч:

Наименование образца	Под-диапазоны	№ измерения					Среднее значение
		1	2	3	4	5	
	I						
	II						
	III						
	IV						
	V						
	VI						

$$\dot{X}_{\gamma+\beta, \text{ист}} = \dot{X}_{\gamma+\beta, \text{изм}} - \dot{X}_{\gamma+\beta, \text{ф}},$$

9. Вычислить значение мощности экспозиционной дозы β -излучения образцов $\dot{X}_{\beta, \text{ист}}$.

$$\dot{X}_{\beta, \text{ист}} = \dot{X}_{\gamma+\beta, \text{ист}} - \dot{X}_{\gamma, \text{ист}}$$

10. Заполнить таблицу

Наименование образца	\dot{X}_{γ} , ист, мР/ч	\dot{X}_{β} , ист, мР/ч	Нормы, мР/ч		Заключение о возможности использования
			\dot{X}_{γ}	\dot{X}_{β}	

11. Сделать выводы по работе.

Работу выполнил

Работу принял

«__» _____ 20__ г.

«__» _____ 20__ г.

(подпись)

(подпись)

1.7. Контрольные вопросы

1. Для каких целей может быть использован прибор ДП-5В?
2. Диапазон измерений прибора ДП-5В.
3. Какие безопасные нормы радиоактивной зараженности установлены для техники, одежды, продуктов питания и воды?
4. Порядок измерения степени радиоактивного заражения техники, одежды, продуктов питания и воды?
5. Назовите внесистемные единицы измерения экспозиционной дозы X и мощности экспозиционной дозы \dot{X} γ -излучения.
6. Назовите единицы измерения экспозиционной дозы X и мощности экспозиционной дозы \dot{X} γ -излучения в системе СИ.

Литература

1. Дорожко, С. В. Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях. Радиационная безопасность : в 3 ч. / С. В. Дорожко, В. П. Бубнов, В. Т. Пустовит. – Минск, 2010. – Ч. 3.
2. Постник, М. И. Защита населения и объектов народного хозяйства в чрезвычайных ситуациях / М. И. Постник. – Минск, 1997.

Лабораторная работа № 2

ИЗМЕРЕНИЕ МОЩНОСТИ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ДОЗЫ * γ-ИЗЛУЧЕНИЯ \dot{H}_γ , ПЛОТНОСТИ ПОТОКА β-ЧАСТИЦ С ЗАРАЖЕННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ϕ_β И УДЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ A_m С ПОМОЩЬЮ ПРИБОРА РКСБ-104

Цель работы:

1) ознакомиться с методами обнаружения и измерения радиоактивности, радиоактивного загрязнения, определением мощности дозы γ -излучения, плотности потока β -излучения с загрязненных поверхностей, оценкой удельной активности радионуклидов в пробах при помощи бытовых радиометрических приборов;

2) получить практические навыки при работе с прибором РКСБ-104.

2.1. Краткие теоретические сведения

Радиоактивностью называется самопроизвольный распад ядер атомов неустойчивых изотопов и их превращение в атомы других элементов, сопровождающееся испусканием фотонов и элементарных частиц. К основным видам излучения относятся: α -излучение, β -излучение и γ -излучение. Распад ядер изотопов является случайным событием. Вероятность распада ядер равна доле ядер, распадающихся за единицу времени, и называется постоянной радиоактивного распада.

Основной закон радиоактивного распада:

$$N = N_0 e^{-\lambda t},$$

где N_0 – количество ядер в момент времени $t = 0$;

N – количество ядер в момент времени t .

Время, за которое распадается первоначальное количество ядер, называется периодом полураспада:

$$T_{1/2} = \frac{0,693}{\lambda}.$$

Среднее время жизни ядер радиоактивного изотопа

$$\tau = \frac{1}{\lambda}.$$

Радиоактивное вещество характеризуется активностью. *Активность* (A) – это число распадов ядер изотопов в единицу времени:

$$A = \lambda N.$$

За единицу активности принят Беккерель (Бк). *Один Беккерель* – это активность такого количества радиоактивных изотопов, в котором за одну секунду происходит один акт распада. Внесистемной единицей активности является Кюри (Ки). *Активность в 1 Ки* соответствует активности 1 г радия, в котором за 1 с происходит $3,7 \times 10^{10}$ распадов. $1 \text{ Ки} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Бк}$.

Излучение α -частиц происходит, как правило, при распаде ядер с массовыми числами $A > 200$ и зарядными частицами $Z > 82$. Каждая α частица состоит из двух протонов и двух нейтронов (ядро атома гелия).

Под β -излучением понимают или одновременное излучение электрона и антинейтрона (β^- -излучение), или излучение позитрона и нейтрона (β^+ -излучение), или электронный захват, при котором происходит превращение одного из протонов ядра в нейтрон. При этом из ближайшей к ядру орбиты вылетает один электрон, а из ядра вылетает одна частица нейтрино. При переходе одного электрона с более удаленной орбиты атома на освободившееся место на орбите (К) возникает рентгеновское излучение.

V^- -излучение наблюдается при естественной и искусственной радиоактивности

β^+ -излучение наблюдается только при искусственной радиоактивности.

α - и β -распад может сопровождаться γ -излучением.

γ -излучение является электромагнитным колебанием с длинной волны равной 0,1 А. Взаимодействие заряженных частиц (α , β) и γ -излучения с веществом приводит к отрыву электронов от атомов этого вещества и образованию пар ионов. Чем большей энергией

будет обладать поток заряженных частиц или γ -излучения, тем больше пар ионов будет образовано в веществе.

Количество переданной веществу энергии называется *дозой*.

При взаимодействии с веществом γ - и рентгеновского излучения используется понятие экспозиционной дозы. *Экспозиционная доза* – это отношение суммарного заряда всех ионов одного знака, созданных в элементарном объеме воздуха, к массе этого объема воздуха.

В СИ единицей экспозиционной дозы является такая энергия квантового излучения, под воздействием которого в 1 кг воздуха возникает заряд ионов одного знака равный 1 Кулону (1 Кл/кг). *Внесистемная единица* экспозиционной дозы – рентген (Р):

$$1 \text{ Кл/кг} = 3876 \text{ Р.}$$

Для характеристики энергии ионизирующих излучений, поглощенных конкретным объектом, используется понятие поглощенной дозы.

Поглощенная доза – это энергия любого вида ионизирующего излучения, поглощенная единицей массы облученного вещества. Единица поглощенной дозы – 1 Грей (Гр):

$$1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг.}$$

При одной и той же поглощенной дозе α -, β -, γ -излучения оказывают на биологическую ткань различный ионизирующий эффект. Поэтому каждому виду излучения приписывается свой коэффициент качества (K). Для γ -излучения и потока β -частиц с энергией до 3МэВ $K = 1$.

Для потока α -частиц $K = 20$. Для потока протонов с той же энергией $K = 10$.

Для оценки степени воздействия ионизирующего излучения радиоактивных веществ на биологическую ткань используют понятие эквивалентной дозы (H).

Эквивалентная доза – доза, учитывающая различную способность проникновения в организм разных видов излучения:

$$H = D \cdot k,$$

где H – эквивалентная доза;

D – поглощенная доза;

K – коэффициент качества излучения: для α -излучения $K = 20$, для β - и γ -излучения $K = 1$.

В СИ единицей измерения является Зиверт (Зв) внесистемная единица бэр (биологический эквивалент рада). Между ними существует следующее соотношение:

$$1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр.}$$

Для γ - и β -излучений с энергией до 3 МэВ поглощенная доза в 1 Гр равна эквивалентной дозе в 1 Зв.

Энергия ионизирующего излучения может меняться во времени. Поэтому существует понятие мощности дозы. *Единица мощности поглощенной дозы* – 1 Грей в час (1Гр/ч). *Единица мощности эквивалентной дозы* – 1 Зиверт в час (1 Зв/ч).

Существует естественный радиационный фон, обусловленный космическим излучением и радиационным излучением изотопов земной коры.

В природной среде концентрация радиоактивных изотопов невысока, однако они присутствуют повсюду – в воздухе, в почве, в живых организмах.

Из природных источников, приводящих к внешнему и внутреннему облучению человека, заметный вклад вносит изотоп калий-40 (K_{40}) – 0,33 мЗв.

После Чернобыльской аварии радиационный фон на территории Республики Беларусь увеличился и составляет 25–27 мкР/ч (до аварии составлял 10 мкР/ч). При этом годовая доза составляет 2,5 мЗв. Основной вклад в эту дозу вносят изотопы цезия-137 (Cs^{137}) и стронция-90 (Sr^{90}).

Приборы для измерения параметров ионизирующего излучения по своему назначению делятся на дозиметрические, радиометрические и спектрометрические.

Дозиметры переназначены для получения информации об экспозиционной дозе. *Радиометры* предназначены для получения информации об активности изотопов или плотности потоков ионизирующих частиц. *Спектрометры* предназначены для получения информации об энергетическом спектре ионизирующего излучения.

Приборы, применяющиеся для регистрации ионизирующих излучений, могут регистрировать факт пролета ионизирующих частиц γ -квантов или следы частиц в веществе. Для регистрации факта пролета частиц используются ионизационные камеры, сцинтилляционные детекторы, calorиметрические детекторы, полупроводниковые детекторы.

Действие ионизационных камер основано на использовании увеличения проводимости газового промежутка между двух электродов при ионизации этого промежутка заряженными частицами или фотонами (рис. 2.1).

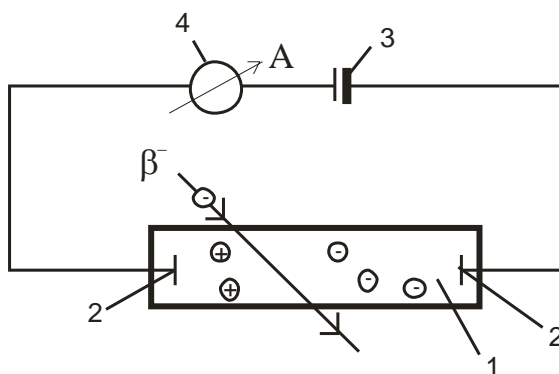


Рис. 2.1. Ионизационная камера:
 1 – стеклянный сосуд; 2 – электроды; 3 – источник питания;
 4 – микроамперметр

Замкнутый стеклянный сосуд 1 с двумя впаянными коаксиально расположенными электродами 2 заполняется смесью аргона с парами азота под давлением 0,1 атм (10 кПа). На электроды подается постоянное напряжение. Для счетчиков Гейгера-Мюллера это напряжение составляет 3 кВ.

2.2. Краткая характеристика прибора

РКСБ-104 (рис. 2.2) расшифровывается следующим образом: Р – радиометрический, К – комбинированный, С – регистрирующий смешанное излучение, Б – бытовой. Прибор предназначен для измерения

ния мощности эквивалентной дозы γ -излучения H_γ , плотности потока β -частиц ϕ_β с зараженной поверхности и удельной активности радионуклида Cs^{137} в веществах, а также он может использоваться как сигнализатор.

Технические характеристики прибора РКСБ-104 следующие:

Диапазон измерений мощности эквивалентной дозы γ -излучения

$$\dot{H}_\gamma = 0,1 \dots 99,99 \text{ мкЗв/ч,}$$

что соответствует мощности экспозиционной дозы γ -излучения

$$10 \dots 9999 \text{ мкР/ч.}$$

Диапазон измерений плотности потока β -частиц

$$\phi_\beta = 0,1 \dots 99,99 \frac{1}{\text{с} \cdot \text{см}^2},$$

что соответствует плотности потока β -частиц

$$\phi_\beta = 6 \dots 6000 \frac{1}{\text{мин} \cdot \text{см}^2}.$$

Диапазон измерений удельной активности

$$A_m = 2 \cdot 10^3 \dots 2 \cdot 10^6 \text{ Бк/кг,}$$

что соответствует

$$5,4 \cdot 10^{-8} \dots 5,4 \cdot 10^{-5} \text{ Ки/кг.}$$

Время измерения прибором от 18 до 400 с.

При пользовании прибором необходимо руководствоваться нормами радиационной безопасности НРБ–2000 и основными санитарными правилами ОСП–2000.

Во всех случаях выявления проб с радиоактивностью выше $3,7 \times 10^3$ Бк и обнаружения участков местности с мощностью эквивалентной дозы более 0,6 мкЗв или мощностью экспозиционной дозы (60 мкР/ч) или удельной активностью $23,7 \cdot 10^3$ Бк/кг следует обратиться в соответствующую службу.



Рис. 2.2. Внешний вид прибора РКСБ-104

2.3. Подготовка прибора к работе

1. Извлечь прибор из упаковки.
2. Осмотреть прибор и убедиться в отсутствии видимых повреждений трещин скол.
3. Проверить наличие и исправность пломбы.
4. Проверить комплектность прибора.
5. Подключить батарею к прибору и установить ее в отсек (батарея 9 В типа «Крона», «Корунд»).
6. Снять заднюю крышку-фильтр и установить кодовые переключатели с 1–6 на 1; 7–8 на 0, считать снизу (рис. 2.3, а).
7. Повернуть прибор к себе (рис. 2.4).

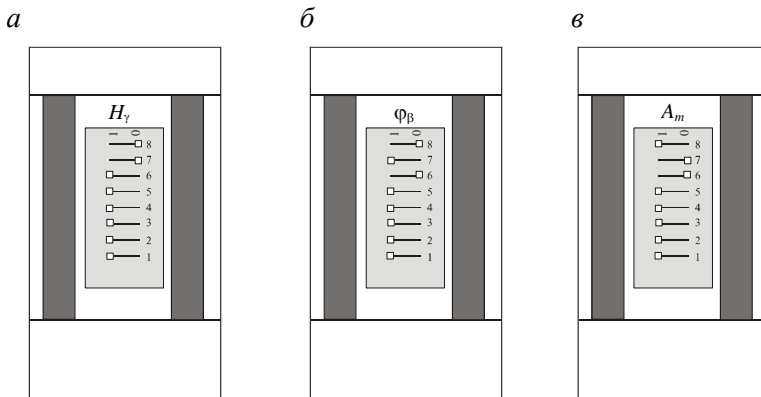


Рис. 2.3. Настройка прибора для измерения:
a – мощности эквивалентной дозы; *б* – плотности потока β -частиц;
в – удельной активности

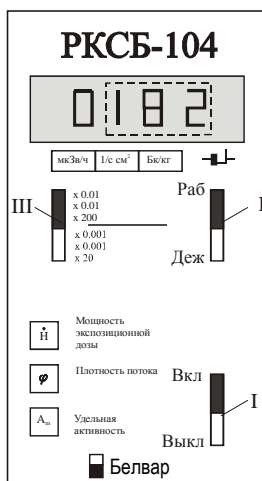


Рис. 2.4. Лицевая сторона прибора РКСБ-104

Тумблер I отвечает за включение и выключение прибором.

Тумблер номер II – за режим работы. В верхнем положении прибор работает в рабочем режиме, в нижнем – в режиме сигнализатора.

Тумблер III – за время измерения в верхнем положении время измерения 28 с, в нижнем – 280 с.

8. Тумблер II и III поставить в верхнее положение. Включить прибор. Через 28 с на индикаторе появится четырехразрядное число, индекс F (finish) и зазвучит прерывистый звуковой сигнал, который будет длиться 14 с, затем произойдет сброс и начнется повторный отсчет.

Проверка прибора в режиме сигнализатора. Тумблеры кодового переключателя с 1–6 на 1; 7–8 на 0 (рис. 2.3, а). Крышка закрыта. Тумблер II и III вниз (рис. 2.4). Включить прибор. Через 280 с на табло должно появиться число 100 и сплошной звуковой сигнал.

2.4. Порядок работы с прибором при измерении мощности эквивалентной дозы \dot{H}_γ

1. Измерить фоновое значение мощности эквивалентной дозы $\dot{H}_{\gamma, \text{ф}}$. Открыть заднюю крышку. Тумблеры кодовых переключателей с 1–6 на 1; 7–8 на 0 (рис. 2.3, а). Крышку-фильтр закрыть. Тумблеры II и III в верхнем положении (рис. 2.4). Подготовить часы с секундной стрелкой. Одновременно засечь время и включить прибор, через 18 с снять показания и выключить прибор. Прodelать это пять раз. Из пяти показаний вычислить среднее.

2. Для определения мощности эквивалентной дозы образца $\dot{H}_{\gamma, \text{изм}}$. Прибор кладется на измеряемый образец. Проводится пять измерений до сигнала. Считается среднее значение и определяется мощность эквивалентной дозы источника по формуле

$$\dot{H}_{\gamma, \text{ист}} = k_1 \left(\dot{H}_{\gamma, \text{изм}} - \dot{H}_{\gamma, \text{ф}} \right), \quad (2.1)$$

где $\dot{H}_{\gamma, \text{ист}}$ – мощность эквивалентной дозы источника, мкЗв/ч;

$\dot{H}_{\gamma, \text{изм}}$ – измеренная прибором мощность эквивалентной дозы источника, мкЗв/ч;

$\dot{H}_{\gamma, \text{ф}}$ – измеренная прибором мощность эквивалентной дозы фона, мкЗв/ч;

$k_1 = 0,01$ – поправочный коэффициент.

2.5. Измерение плотности потока β -частиц Φ_{β} с зараженной поверхности источника или материала

1. Измерить фоновое значение плотности потока β -частиц $\Phi_{\beta, \text{ф}}$. Открыть заднюю крышку-фильтр. Поставить тумблеры кодового переключателя с 1–5 на 1; 6 на 0; 7 на 1; 8 на 0 (рис. 2.3, б). Крышку не закрывать. Тумблеры II и III в верхнем положении (рис. 2.4). Положить прибор на исследуемую поверхность (на стол). При такой подготовке прибора включать его до сигнала. Произвести 5 измерений и посчитать среднее.

$$\Phi_{\beta, \text{ф}} = k_2 \left(\Phi_{\beta, \text{изм}} - \dot{H}_{\gamma, \text{ф}} \right), \frac{1}{\text{с} \cdot \text{см}^2},$$

где $\Phi_{\beta, \text{ф}}$ – фоновое значение плотности потока β -частиц в помещении;
 $\Phi_{\beta, \text{изм}}$ – измеренное фоновое значение плотности потока β -частиц в помещении;

$k_2 = 0,01$ – поправочный коэффициент.

2. Положить прибор на исследуемый материал и сделать пять измерений. Подсчитать среднее. Значение плотности потока β -частиц с зараженной поверхности будет рассчитываться по формуле

$$\Phi_{\beta, \text{ист}} = k_2 \left(\Phi_{\beta, \text{изм}} - \dot{H}_{\gamma, \text{изм}} - \left(\Phi_{\beta, \text{ф}} + \dot{H}_{\gamma, \text{ф}} \right) \right), \frac{1}{\text{с} \cdot \text{см}^2},$$

где $\Phi_{\beta, \text{ист}}$ – значение плотности потока β -частиц с поверхности источника или материала;

$\Phi_{\beta, \text{изм}}$ – измеренное значение плотности потока β -частиц с поверхности источника или материала.

2.6. Измерение удельной активности воды и строительных материалов

Открыть заднюю крышку-фильтр. Тумблеры кодовых переключателей установить: 1–5 на 1; 6–7 на 0; 8 на 1 (рис. 2.3, в), тумблер III в верхнее положение, тумблер II – в верхнее положение (рис. 2.4). Крышку не закрывать.

Кювету (крышку прибора) заполнить по буртик чистой в радиационном отношении водой. Сделать 5 измерений и найти среднее значение. Фоновое значение активности находим по формуле

$$A_{\text{ф}} = \frac{A_{\text{ф},1} + A_{\text{ф},2} + A_{\text{ф},3} + A_{\text{ф},4} + A_{\text{ф},5}}{5},$$

Время измерения 28 с.

Затем вылить воду и заполнить кювету по буртик чистым раствором, аналогично расположить прибор и сделать 5 измерений.

$$A_{\text{изм}} = \frac{A_{\text{изм},1} + A_{\text{изм},2} + A_{\text{изм},3} + A_{\text{изм},4} + A_{\text{изм},5}}{5},$$

$$A_m = k_3 (A_{\text{изм}} - A_{\text{ф}}), \text{ Бк/кг},$$

где A_m – удельная активность;

$A_{\text{изм}}$ – измеренная удельная активность;

$k_3 = 200$ – поправочный коэффициент.

Полученные значения удельной активности сравниваем со значениями РДУ–2001 (см. табл. 1.1).

2.7. Форма отчета

1. Цель работы.

2. Измерить фоновое значение мощности эквивалентной дозы γ -излучения $\dot{H}_{\gamma, \text{ф}}$, мкЗв/ч:

Фон	№ измерения					Среднее значение
	1	2	3	4	5	

3. Измерить фоновое значение плотности потока β -частиц $\Phi_{\beta, \text{изм}}$, $1/(\text{с}\cdot\text{см}^2)$:

Фон	№ измерения					Среднее значение
	1	2	3	4	5	

4. Вычислить фоновое значение плотности потока β -частиц:

$$\Phi_{\beta, \phi} = k_2 \left(\Phi_{\beta, \text{изм}} - \dot{H}_{\gamma, \phi} \right), \frac{1}{\text{с} \cdot \text{см}^2}.$$

5. Измерить мощность эквивалентной дозы γ -излучения образцов $\dot{H}_{\gamma, \text{изм}}$, мкЗв/ч:

Наименование образца	№ измерения					Среднее значение
	1	2	3	4	5	

6. Вычислить мощность эквивалентной дозы γ -излучения образцов:

$$\dot{H}_{\gamma, \text{ист}} = k_1 \left(\dot{H}_{\gamma, \text{изм}} - \dot{H}_{\gamma, \phi} \right), \text{мкЗв/ч}.$$

7. Измерить плотность потока β -частиц с зараженной поверхности образцов $\Phi_{\beta, \text{изм}}$, $1/(\text{с} \cdot \text{см}^2)$:

Наименование образца	№ измерения					Среднее значение
	1	2	3	4	5	

8. Вычислить значение плотности потока β -частиц для каждого образца:

$$\Phi_{\beta, \text{ист}} = k_2 \left(\Phi_{\beta, \text{изм}} - \dot{H}_{\gamma, \text{изм}} - \left(\Phi_{\beta, \phi} + \dot{H}_{\gamma, \phi} \right) \right), \frac{1}{\text{с} \cdot \text{см}^2}.$$

9. Измерить фоновую удельную активность A_{ϕ} , Бк/кг:

Фон	№ измерения					Среднее значение
	1	2	3	4	5	

10. Измерить удельную активность образцов $A_{\text{изм}}$, Бк/кг:

Наименование образца	№ измерения					Среднее значение
	1	2	3	4	5	

11. Вычислить удельную активность образцов:

$$A_m = k_3(A_{\text{изм}} - A_{\text{ф}}), \text{ Бк/кг.}$$

12. Проверить работу прибора в режиме сигнализатора.

13. Сделать выводы.

2.8. Вопросы, выносимые на коллоквиум

1. Какое явление (процесс) называется радиоактивностью?
2. С какими видами излучения связано явление радиоактивности?
3. Почему радиоактивное излучение называют ионизирующим?
4. Какими параметрами характеризуется радиоактивное излучение?
5. Какие виды радиоактивных веществ вы знаете?
6. В каких областях науки, техники, медицины используются источники ионизирующих излучений?
7. Как измерить мощность эквивалентной дозы γ -излучения прибором РКСБ-104?
8. Как измерить плотность потока β -излучения прибором РКСБ-104?
9. Какие методы безопасности должны соблюдаться при работе с радиоактивными веществами?
10. Как измерить удельную активность γ -излучения прибором РКСБ-104?
11. В каких единицах измеряется мощность эквивалентной дозы ионизирующего излучения (системные и внесистемные)?
12. В каких единицах измеряется удельная активность радиоактивного вещества (системные и внесистемные)?
13. В каких единицах измеряется плотность потока радиоактивного вещества (системные и внесистемные)?

Лабораторная работа № 3

РАДИАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ И ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

Цель работы:

1) ознакомиться с причинами и механизмами загрязнения продуктов питания в Республике Беларусь, оценить пути поступления радионуклидов в организм человека, коэффициентами перехода радионуклидов в продукты питания;

2) изучить схему, принципы устройства радиометра КРВП-ЗАБ, освоить практику работы с прибором при определении объемной активности α - и β -излучения в продуктах питания и воде.

3.1. Краткие теоретические сведения

Степень радиационной опасности радионуклидов, попавших внутрь человеческого организма, определяется, преимущественно, четырьмя факторами:

1. Характером пути поступления радионуклидов.
2. Характером распределения радионуклидов в организме и их концентрацией в различных органах.
3. Продолжительностью поступления радионуклидов в организм и временем пребывания радионуклидов в организме.
4. Видами излучений, испускаемых радионуклидами, и значениями этих излучений.

Различают следующие основные пути поступления радионуклидов в организм человека: с вдыхаемым воздухом, с питьевой водой, с продуктами растительного и местного происхождения и через кожные покровы.

С вдыхаемым воздухом поступает приблизительно 12 % всех попадающих в человеческий организм радионуклидов. При прохождении радиоактивного облака или поднятой с загрязненной поверхности земли пыли, в воздухе может оказаться много взвешенных радиоактивных частиц. Пылевые частицы, на которых абсорбированы радионуклиды, при вдыхании воздуха проходят через верхние дыхательные пути и частично оседают в полости рта и носоглотке, откуда поступают

в пищеварительный тракт. Остальные частицы вместе с воздухом попадают в легкие, где задерживаются легочными тканями.

Частицы пыли крупнее 1 мкм задерживаются в верхних дыхательных путях (до 80 %). В этом случае в легких оседает только 20 % вдыхаемой радиоактивной пыли.

Если размер частиц менее 1 мкм в верхних дыхательных путях задерживается не более 10 %, а в легких оседает около 90 %.

После аварии на Чернобыльской АЭС вклад во внутреннее облучение жителей Республики Беларусь за счет ингаляционного поступления радионуклидов составил:

2 % – для йода-131 и циркония-95;

3 % – для церия-144;

7 % – для стронция-90;

~ 0,1 % – для цезия-137.

Попавшие в легкие радионуклиды быстро всасываются в кровь и разносятся по всему организму.

С питьевой водой в организм поступает, в среднем, 5 % радиоактивных элементов. От 85 % до 90 % радионуклидов поступают в организм человека с продуктами питания растительного и животного происхождения.

Различают следующие основные пищевые цепочки поступления радионуклидов в организм человека:

растительные продукты → человек;

растения → животные → мясо → человек;

растения → животные → молоко → человек;

вода → водоросли → рыба → человек.

На территории Республики Беларусь в 1996 г. основными радионуклидами, определяющими загрязнение пищевых продуктов человека, являются **цезий-137** и **стронций-90**. В меньшей степени в пищевых продуктах присутствуют изотопы плутония и рутения.

Процесс поступления радионуклидов в пищевые продукты характеризуется коэффициентом перехода. *Коэффициент перехода (КП)* – это отношение концентрации радионуклидов в пищевых продуктах (Бк/кг) к плотности загрязнения сельскохозяйственных угодий (Бк/м²). Примерные порционные коэффициенты перехода цезия-137 из почвы в различные пищевые продукты показаны в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Порционные коэффициенты перехода цезия-137 из почвы
в различные пищевые продукты

Продукты	КП ($\text{м}^2/\text{кг}$) в исходный продукт	КП ($\text{м}^2/\text{кг}$) в готовый продукт	Потребление, кг/год	Вклад в рацион
Хлеб	$0,3 \cdot 10^{-3}$	$0,4 \cdot 10^{-3}$	150	0,06
Молоко	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	70	0,4
Мясо	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$8,0 \cdot 10^{-3}$	200	0,55
Картофель	$0,3 \cdot 10^{-3}$	$0,25 \cdot 10^{-3}$	900	0,05
Овощи	$0,3 \cdot 10^{-3}$	$0,1 \cdot 10^{-3}$	80	0,02
Вода	$0,15 \cdot 10^{-3}$	$0,05 \cdot 10^{-3}$	500	0,03

На долю мяса и молока приходится около 85 % поступающего с рационом в организм человека цезия-137. Радионуклиды, попавшие в легкие вместе с вдыхаемым воздухом, практически полностью остаются в организме. Из 100 % смеси радионуклидов, попавших в желудочно-кишечный тракт с продуктами питания, в организме остается не более 10 %. Из кишечника в кровь проходит от 50 до 60 % стронция, от 0,2 до 0,5 % цезия, от 0,01 до 0,1 % изотопов плутония.

Количество радионуклидов, поступающих в организм человека через кожу, приблизительно в 100 раз меньше, чем через желудочно-кишечный тракт.

По характеру распределения в организме человека радионуклиды разделяются на две основные группы:

- 1) накапливающиеся в скелете (стронций-90 и изотопы плутония);
- 2) накапливающиеся во внутренних органах и тканях (изотопы цезия, рутения, церия).

Время пребывания радионуклидов в организме определяется скоростью их выведения из организма через кишечник, почки, потовые железы и периодом полураспада. Для количественной оценки скорости выведения радионуклидов введено понятие «биологического периода полувыведения».

Биологический период полувыведения (БПП) – это время, в течение которого из организма выводится половина находящихся в нем атомов данного радиоактивного элемента. При разовом поступлении радионуклидов они удаляются из мышечной и нервной тканей за 5–30 дн., из печени и почек – за 1–2 мес., из лимфатических узлов – за 2–3 г.

Степень и форма лучевых поражений, развивающихся в организме, зависит от вида излучений радионуклидов, находящихся в скелете, тканях и органах, и их энергии (табл. 3.2).

Таблица 3.2

Периоды полураспада радионуклидов
в зависимости от вида излучения

Радионуклид	Период полураспада	Вид излучения
Церий-144	284 дня	β , γ
Рутений-106	368 дней	β , γ
Цезий-134	2,06 года	β , γ
Цезий-137	30,0 лет	β , γ
Стронций-90	29,1 года	β
Плутоний-238	87,77 лет	α , γ
Плутоний-239	24 390 лет	α , γ
Плутоний-240	6537 лет	α , γ
Плутоний-241	14,4 года	β , α

Радиоактивный изотоп стронций-90, всасываясь через кишечник, накапливается в костной ткани. Излучение β -частиц стронция-90 нарушает функционирование костного мозга. При этом поражается система кроветворения, снижается иммунитет и возникает опасность развития злокачественных опухолей. Начиная с 2000 г., в Республике Беларусь установлены нормируемые значения удельной активности на основные виды продуктов, характеризующую вероятность заболевания, связанную с внутренним облучением не выше, чем 10^{-6} чел. Эти значения представлены в табл. 1.1 лабораторной работы № 1.

3.3. Измерительная аппаратура

В качестве измерительной аппаратуры в данной лабораторной работе используется измерительный прибор КРВП-ЗАБ. Прибор КРВП-ЗАБ является стационарным и выпускается в двух модификациях.

КРВП-ЗАБ – стационарный радиометр, предназначен для измерения объемной α - и β -активности воды и пищевых продуктов. Он обеспечивает:

1. Измерение объемной α -активности прямым методом в пределах от $3 \cdot 10^{-9}$ Ки/л до $3 \cdot 10^{-6}$ Ки/л. Основная погрешность радиометра при измерении внешнего источника α -излучения не превышает ± 25 %.

2. Измерение объемной β -активности прямым методом от $5 \cdot 10^{-9}$ до $5 \cdot 10^{-6}$ Ки/л.

3. Измерение объемной β -активности методом предварительного обогащения проб от $1 \cdot 10^{-10}$ до $1 \cdot 10^{-8}$ Ки/л. Основная погрешность радиометра при измерении внешнего источника β -излучения не превышает $\pm 20\%$.

Питание прибора осуществляется от сети переменного тока напряжением 220 ± 22 В или $127 \pm 12,7$ В ($\pm 10\%$). При частоте 50 ± 1 Гц ($\pm 1\%$).

Радиометр рассчитан на работу при измерениях α -активности в условиях мощности внешней дозы γ -излучения не более 280 мР/ч.

Плотность потока β -частиц не будет влиять на результат если она не превышает $\varphi \leq 2 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}$ на площадь детектора. При этом собственный фон блока детектирования при α -измерениях не должен превышать нормальный фон на $0,033 \text{ с}^{-1}$. Собственный фон блока детектирования при β -измерениях не должен превышать нормальный фон на 72 мкР/ч.

3.4. Принцип работы радиометра

Радиометр КРВП-ЗАБ представляет собой установку для счета импульсов.

Радиометр КРВП-ЗАБ состоит из пересчетного блока (рис. 3.1), блока детектирования α -излучения (рис. 3.1) для измерения α -активности воды и пищевых продуктов (рис. 3.2), блока детектирования β -излучения (рис. 3.3) для измерения β -активности воды и пищевых продуктов, блока обработки проб (рис. 3.4).

Измерение α - и β -активности воды и пищевых продуктов основано на измерении с помощью пересчетного устройства числа импульсов, поступающих с блока α - и β -детектирования за определенное время.

В качестве детектора β -излучения используется низковольтный галогенный счетчик типа СБТ-10А, заключенный в свинцовый домик для снижения влияния внешнего β и γ -излучения. Для регистрации α -излучения используется сцинтиллятор ФС-4 на основе серного цинка или серного серебра, нанесенного на подложку из оргстекла, которая имеет оптический контакт с фотоэлектронным умножителем, электрический импульс, из которого через формирующий каскад поступает на вход пересчетного блока.

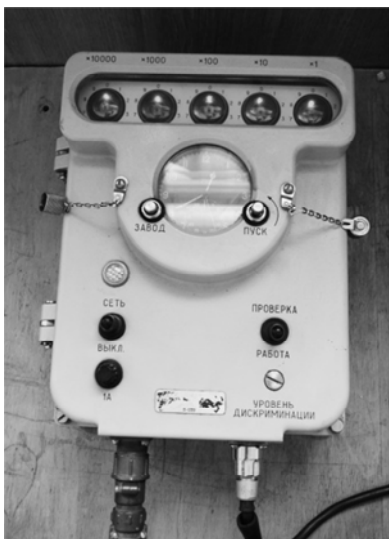


Рис. 3.1. Пересчетный блок



Рис. 3.2. Блок детектирования α -излучения



Рис. 3.3. Блок детектирования β -излучения



Рис. 3.4. Блок обработки проб

Блок обработки служит для получения обогащенных проб из воды при измерении малых значений β -активности (от 5 Бк/л до 500 Бк/л).

С этой целью резервуар блока обработки, в котором закреплены катионо- и анионообменные фильтры, заполняется контролируемой водой. Эти фильтры обрабатываются контролируемой водой в течение 15 мин, а затем подсушиваются фильтровальной бумагой. Активность обработанного и подсушенного фильтра измеряется с помощью блока детектирования излучения и пересчетного блока.

3.5. Подготовка радиометра КРВП-ЗАБ к работе и проверка его работоспособности от контрольных источников ($\text{Sr}^{90} + \text{Ir}^{90}$ – β -источник, Pu^{239} – α -источник)

Для подготовки радиометра КРВП к работе необходимо:

1. Ознакомиться с расположением и назначением органов включения и управления, расположенных на лицевой панели всех блоков, входящих в состав радиометра. Пуск секундомера часов осуществляется после поворота кнопки «Пуск» влево с последующим нажатием. При работе с часами не допускается прилагать больших усилий при нажатии кнопок «Пуск» и «Завод».

2. Установить переключатель на пересчетном блоке в положение «Выкл.» и проверить завод часов. Установить секундомер в исходное положение кнопкой «Пуск».

3. Присоединить блок детектирования к пересчетному блоку.

4. Подать напряжение от сети на пересчетный блок, поставив переключатель «Сеть-выкл.» в положение «Сеть». При этом должна загореться сигнальная лампочка (зеленого цвета) и засветиться декастроны.

5. Через 5 мин после включения радиометра переключатель «Работа-проверка» перевести в состояние «проверка» и нажать кнопку секундомера «Пуск». При этом включается пересчетная схема, а декастроны начинают регистрировать количество импульсов, поступающих от имитатора. Через 10 с снова нажать кнопку «Пуск» и остановить секундомер. *Количество зарегистрированных импульсов должно быть равно 1000 ± 30 .*

3.6. Проверка собственного фона блока детектирования β -излучения

1. Подсоединить блок детектирования β -излучения к пересчетному блоку.

2. Переключатель «Работа-проверка» на пересчетном блоке поставить в положение «Работа».

3. Включить пересчетную схему нажатием кнопки секундомера «Пуск». При этом декастрономы пересчетного блока будут регистрироваться импульсы внешнего β -излучения. *Время измерения – 10 мин.*

4. По истечении этого времени нажать на кнопку «Пуск» и остановить секундомер. Записать показания декастронов. Перевести секундомер и пересчетную схему в исходное состояние повторным нажатием кнопки «Пуск».

Пример. Показания декастронов соответствуют количеству импульсов 670, зарегистрированных в течение десяти минут. Следовательно, относительное фоновое значение активности блока детектирования:

$$670 : 600 = 1,12 \text{ имп/с.}$$

3.7. Проверка работы прибора с эталонным источником β -излучения

1. Под рабочее окно блока детектирования β -излучения на верхние направляющие положить эталонный источник β -излучения.

2. Секундомер и пересчетная схема включаются нажатием кнопки «Пуск» и определяется суммарное число импульсов (время измерения 1 мин).

3. После чего определяется эффективность счета β -частиц n_0 по следующей формуле:

$$n_0 = \frac{N - N_{\Phi}}{A},$$

где N – скорость счета, зарегистрированная радиометром при измерении внешнего источника излучения, с^{-1} ;

N_{Φ} – скорость счета фона, с^{-1} ;

A – внешнее излучение источника, с^{-1} : $A = 200 \text{ с}^{-1}$.

Эффективность счета считается нормальной, если $n_0 = 0,48 \pm 0,1$.

3.8. Проверка работы прибора с эталонным источником α -излучения

1. Подсоединить блок детектирования α -излучения к пересчетному блоку.

2. В кювету в мелкую часть положить диск медной фольги и установить в окно детектора (окно блока детектирования α -излучения узкое, так как детектор должен быть максимально приближен к источнику α -излучения).

3. Включить пересчетную схему нажатием кнопки секундомера «пуск». При этом декатронами пересчетного блока будут регистрироваться импульсы внешнего α -излучения. *Время измерения фона – 10 мин.* При выше оговоренном внешнем γ -излучении фон радиометра не должен превышать $0,05 \text{ с}^{-1}$.

4. После измерения фона на место фольги поместить источник α -излучения и произвести измерение (время измерения 1 мин).

5. Далее определяется эффективность счета α -частиц n_0 по следующей формуле:

$$n_0 = \frac{N - N_{\phi}}{A},$$

где N – скорость счета зарегистрированная радиометром при измерении внешнего источника излучения, с^{-1} ;

N_{ϕ} – скорость счета фона, с^{-1} ;

A – внешнее излучение источника, с^{-1} ; $A = 200 \text{ с}^{-1}$.

Эффективность счета считается нормальной, если $n_0 = 0,7 \pm 0,1$.

3.9. Методика измерений объемной β -активности питьевой воды и пищевых продуктов в пробах прямым методом

Измерение объемной активности питьевой воды и пищевых продуктов проводится в следующей последовательности:

1. Заполнить кювету объемом 100 мл чистой водой (либо оставить ее пустой) и поместить ее под окно блока детектирования β -излучения. Включить пересчетную схему на 10 мин и определить фоновое излучение N_{ϕ} (с^{-1}). При этом если по результатам измерения фоновое значение $N_{\phi} \geq 2,1 \text{ с}^{-1}$, то необходимо произвести дезактивацию.

2. Заполнить чистую кювету объемом 100 мл исследуемой водой или мелко измельченным пищевым продуктом, вставить кювету в направляющие под окно блока β -детектирования и включить пере-

счетную схему на 5 мин. Определить по показанию декатронов число частиц, зарегистрированных за указанное время $N(1/c)$.

3. Определить объемную активность образца пищевого продукта (или воды) по формуле

$$A_v = \frac{N - N_{\Phi}}{P}, \text{ Ки/л,}$$

где P – значение чувствительности радиометра к смеси радионуклида в пробе

$$P = \sum_{i=1}^k p_i \cdot \varepsilon_i, \text{ л/(с·Ки);}$$

p_i – значение чувствительности к i -му радионуклиду (берется из табл. 3.3), л/(с·Ки);

ε_i – относительное содержание i -го радионуклида в смеси радионуклидно загрязненной пробы, л/(с·Ки);

k – количество радионуклидов в пробе.

4. Полученное значение активности, умноженное на 10 равно объемной активности A_v (Бк/л).

5. Для определения годности исследуемого образца в пищу, необходимо полученное значение объемной активности сравнить с республиканскими допустимыми уровнями содержания радионуклида стронция-90 и цезия-137 в пищевых продуктах (см. табл. 1.1).

3.10. Порядок выполнения работы

Лабораторная работа выполняется в следующем порядке:

1. Изучить настоящие методические материалы.
2. Включить пересчетное устройство и прогреть в течение 5 мин.
3. Провести подготовку радиометра КРВП-3АБ к работе и проверку его работоспособности.
4. Провести проверку собственного фона блока детектирования β -излучения.
5. Определить эффективность счета β -частиц.

6. Провести проверку работы прибора с эталонным источником α -излучения.

7. Определить эффективность счета α -частиц.

8. Результаты подготовки и проверки прибора и измерений фона записать в отчет.

9. Произвести измерение следующих образцов:

1) калийные удобрения (содержание K^{40} – 100 %);

2) грибы (радионуклидный состав: Cs^{137} – 40 %, K^{40} – 20 %, Sr^{90} – 40 %);

3) трава чистотел (радионуклидный состав: Cs^{137} – 35 %, K^{40} – 30 %, Sr^{90} – 35 %);

4) изюм (радионуклидный состав: Cs^{137} – 50 %, Sr^{90} – 50 %);

5) сапропель (содержание K^{40} – 100 %);

6) пшено (чистое);

10. Результаты измерений записать в табл. 3.4 и сравнить с безопасными нормами заражения, установленными для исследуемых образцов (см. табл. 1.1).

11. Определить чувствительность радиометра, если известен радионуклидный состав загрязнения пробы (см. табл. 3.3) и относительное содержание радионуклидов в пробе Cs^{137} – 30 %, Sr^{90} – 10 %, Ce^{144} – 40 %, Rb^{106} – 20 %.

Таблица 3.3

Значения чувствительности радиометра

Радионуклидный состав пробы	Чувствительность радиометра p_i , л/(с·Ки)
Cs^{137}	$1,2 \cdot 10^7$
Sr^{90}	$4,1 \cdot 10^7$
Ce^{144}	$5,2 \cdot 10^7$
Rb^{106}	$5,6 \cdot 10^7$
K^{40}	$4,1 \cdot 10^7$

12. Составить отчет о лабораторной работе, который должен содержать результаты измерений по пп. 3–11, *краткое описание выявленных закономерностей и оценку пригодности к употреблению исследуемых образцов пищевых продуктов.*

3.11. Форма отчета

Лабораторная работа №

Тема:

1. Цель работы.
2. Назначение и основные характеристики прибора КРВП-3АБ.
3. Результаты подготовки прибора КРВП-3АБ к проведению измерения степени зараженности различных объектов.
4. Результаты измерений занести в табл. 3.4.
5. Выводы.

3.12. Вопросы, выносимые на коллоквиум

1. Что называется активностью радиоизотопа?
2. В каких единицах измеряется активность?
3. Что называется удельной активностью?
4. От чего зависит активность радиоизотопа?
5. Какими радиоизотопами могут быть загрязнены пищевые продукты на территории Республики Беларусь?
6. Какую опасность для здоровья человека представляют загрязненные радиоизотопами продукты питания?

Лабораторная работа № 4

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ НАЛИЧИИ ВНЕШНЕГО ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Цель работы:

- 1) закрепить теоретические знания о проникающей способности ионизирующих излучений;
- 2) изучить возможности защиты от ионизирующего излучения материалом и различными строительными материалами (экранами).

4.1. Краткие сведения о влиянии внешнего ионизирующего излучения на биологическую ткань

Действие ионизирующего излучения на биологическую ткань условно можно разделить на первичные физико-химические процессы, возникающие в молекулах живых клеток в результате ионизации, и на вторичные нарушения функций целого организма, вызванные первичными процессами. В результате облучения в живой ткани (как и в любой другой среде) поглощается энергия ионизирующего излучения и, как следствие, возникает ионизация атомов и переход их в возбужденное состояние. Этот процесс называется **радиолизом**. Он длится в течение 10^{-12} – 10^{-18} с. У человека основную часть массы тела составляет вода (~75 %). Вследствие этого первичные процессы при облучении биологической ткани определяются поглощением энергии излучения водой клеток, ионизацией молекул этой воды и образованием в клетках свободных радикалов

типа H_2O_2 , HO_2 , OH , H . Химическое повреждение клетки длится от 10^{-7} с до нескольких часов. При взаимодействии этих радикалов с молекулами белка, молекулами фермента или другими структурными элементами биологической ткани происходит окисление последних. При этом наблюдается снижение активности ферментных систем, нарушение обменных процессов в клетках, замедление и прекращение роста тканей и возникновение новых химических соединений, которые воспринимаются организмом как токсины.

В результате сначала нарушается жизнедеятельность отдельных систем, а затем и жизнедеятельность всего организма. Эта стадия длится от нескольких часов до нескольких недель. Биологический эффект, проявляющийся на этой стадии, следует считать ранним (первичным). Вторичным биологическим эффектом (поздним, отдаленным) считается образование злокачественных опухолей, сокращение продолжительности жизни и генетические нарушения. Отдаленные эффекты могут проявляться через промежуток времени от года до нескольких лет.

4.2. Краткие сведения о защите от внешнего α -, β - и γ -излучений

Защита от внешнего ионизирующего излучения осуществляется в общем случае с помощью защитных экранов. Защитные экраны используются, когда мощность дозы ионизирующего излучения превышает 100 мкР/ч на расстоянии 10 см от источника излучения. Предположим, что часть заряженных частиц из общего потока, которые потеряли свою энергию (полностью или частично) или отклонились от первоначальной траектории полета за счет взаимодействия с атомами вещества (из которого сделан защитный экран) измерительным прибором не регистрируются. В этом случае плотность потока энергии ионизирующего излучения до защитного экрана φ_0 и после него $\varphi(d)$ связаны следующим соотношением:

$$\varphi_d \approx \varphi_0 \cdot e^{-\mu d},$$

где d – толщина экрана, см;

μ – линейный коэффициент ослабления данного ионизирующего излучения для данного вещества, из которого изготовлен экран, $1/\text{см}$.

Формы и размеры источника ионизирующего излучения и экрана в данном выражении не учитываются.

При выборе толщины экрана d для защиты от потоков заряженных частиц используется понятие максимального пробега R_{\max} . Для α -частиц:

$$R_{\max} \approx \frac{10^{-4} A E^{3/2}}{\rho}, \text{ см,}$$

где A – атомная масса;

E – энергия α -частиц, МэВ;

ρ – плотность вещества, г/см³.

Максимальный пробег α -частиц с энергией в несколько мегаэлектронвольт в воздушной среде не превышает 3–4 см. Кожные покровы тела от воздействия α -частиц полностью защищает одежда. Кожные покровы рук можно полностью защитить с помощью резиновых перчаток.

Максимальный пробег β -частиц описывается выражением

$$R_{\max} \approx 2,5 \cdot E \cdot \frac{Z_{\text{Al}}}{Z} \cdot \frac{A}{A_{\text{Al}}}, \text{ мм,}$$

где E – энергия β -частиц, МэВ;

Z_{Al} – атомный номер алюминия;

Z – атомный номер вещества, из которого выполнен защитный экран;

A_{Al} – атомная масса алюминия;

A – атомная масса вещества, из которого выполнен экран.

Максимальный пробег β -частиц с энергией в несколько сот килоэлектронвольт в воздушной среде составляет приблизительно 80–120 см; в воде – 1,2–1,5 см; в защитном экране из алюминия – 0,6–0,7 см.

Особенностью расчета толщины защитного экрана в случае фотонного (γ - и рентгеновского) излучения является необходимость учета фактора накопления. Мощность поглощенной дозы до экрана D_0 и после него D_d связаны соотношением

$$\dot{D}_d \approx \dot{D}_0 \cdot e^{-\mu d} \cdot B(z, \mu d, E_0),$$

где $B(z, \mu d, E_0)$ – фактор накопления.

Фактор накопления учитывает ту часть мощности поглощенной дозы, которая создается в точке расположения измерительного прибора за счет многократно рассеянных на атомах вещества экрана фотонов. Фактор накопления зависит от энергии фотонов, толщины защитного экрана, плотности вещества, из которого изготовлен экран, и атомного номера этого вещества. Значения факторов накопления для воды, алюминия, железа, свинца и бетона даны в табл. 4.1. Для ослабления в 10 раз мощности поглощенной дозы γ -излучения с энергией фотонов в 1 МэВ требуется защитный экран из свинца ($\rho = 11,3 \text{ г/см}^3$) толщиной 3,8 см. Экран из железа ($\rho = 7,87 \text{ г/см}^3$) при тех же условиях должен иметь толщину 8,5 см; экран из воды ($\rho = 1 \text{ г/см}^3$) – 62 см; экран из бетона – 29,1 см.

Таблица 4.1

Значения факторов накопления

Материал	E_γ , МэВ	μd					
		1	2	4	7	10	15
1	2	3	4	5	6	7	8
Вода	0,05	4,42	9,25	22,60	51,30	90,90	185,00
	0,10	4,55	11,90	41,30	137,00	321,00	938,00
	0,50	2,44	4,88	12,80	32,70	62,90	138,00
	1,00	2,08	3,62	7,68	15,90	26,10	47,70
	6,00	1,51	1,97	2,86	4,12	5,38	7,41
	10,00	1,37	1,68	2,25	3,07	3,86	5,14
Алюминий	0,05	1,70	3,60	6,20	10,00	12,00	16,00
	0,10	2,90	5,80	13,00	25,00	57,00	130,00
	0,50	2,37	4,24	9,47	21,50	38,90	80,80
	1,00	2,02	3,31	6,57	13,10	21,20	37,90
	6,00	1,42	1,85	2,70	4,06	5,49	7,79
	10,00	1,28	1,55	2,12	3,01	3,96	5,63
Железо	0,10	1,50	2,20	3,10	4,10	4,60	5,40
	0,50	1,98	3,09	5,98	11,70	19,20	35,40
	1,00	1,87	2,89	5,39	10,20	16,20	28,30
	6,00	1,34	1,72	2,58	4,14	6,02	9,89
	10,00	1,20	1,42	1,95	2,99	4,35	7,54

1	2	3	4	5	6	7	8
Свинец	0,15	1,01	1,03	1,06	1,15	1,16	1,18
	0,50	1,24	1,42	1,69	2,00	2,27	2,65
	1,00	1,37	1,69	2,26	3,02	3,74	4,81
	6,00	1,18	1,40	1,97	3,34	5,69	13,80
	10,00	1,11	1,23	1,58	2,52	4,34	12,50
Бетон	0,05	1,74	2,26	2,95	3,79	4,51	5,57
	0,50	2,27	4,03	8,97	20,20	30,40	75,60
	1,00	1,98	3,24	6,42	12,70	20,70	37,20
	6,00	1,49	1,93	2,80	4,14	5,52	7,86
	10,00	1,35	1,64	2,22	3,10	4,01	5,57

4.3. Измерительная аппаратура и методика измерения

В данной лабораторной работе используется радиометр РКСБ-104, предназначенный для индивидуального контроля радиационной обстановки в жилых и рабочих помещениях. Радиометр обеспечивает возможность измерять мощность поглощенной дозы γ -излучения, мощность поглощенной дозы смешанного ($\gamma + \beta$)-излучения, удельной активности источников γ -излучения и удельной активности источников смешанного ($\gamma + \beta$)-излучения.

Измерение мощности поглощенной дозы гамма-излучения прибором РКСБ-104 заключается в последовательном выполнении следующих операций:

1. Снять заднюю крышку-фильтр.
2. Перевести движки переключателя S4 в положения (см. рис. 4.1, а):
S48 – «0»; S47 – «0»; S46 – «1»; S45 – «1»;
S44 – «1»; S43 – «0»; S42 – «1»; S41 – «0».
3. Установить крышку-фильтр в прежнее положение.
4. Перевести тумблеры S₂ и S₃ в верхнее положение.
5. Поднести прибор к исследуемому радиоактивному источнику на заданное расстояние.
6. Включить прибор тумблером S₁, переведя его в положение «Вкл». Через 27–28 с прибор издаст прерывистый звуковой сигнал, а на табло жидкокристаллического индикатора индицируется символ «F» и отображается 4-разрядное число. Разделив это число на 100, получим результат измерения мощности поглощенной дозы в мкГр/ч.

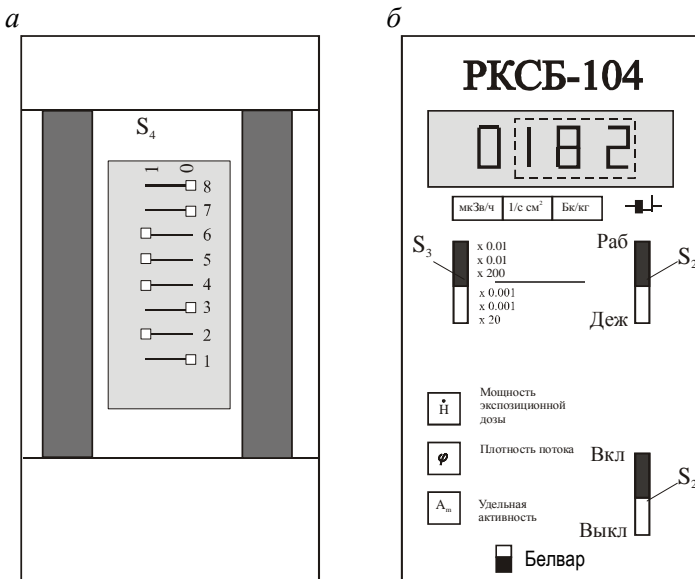


Рис. 4.1. Прибор РКСБ-104:
a – вид сзади крышка-фильтр снята; *б* – вид спереди

7. Выключить прибор, переведя тумблер S_1 в положение «Выкл».

Методика измерения мощности дозы смешанного ($\gamma + \beta$)-излучения точно такая же, за исключением пункта 3. Измерения в случае смешанного излучения выполняются со снятой крышкой-фильтром. Мощность дозы β -излучения \dot{D}_β вычисляется путем вычитания значения мощности дозы гамма-излучения из мощности дозы смешанного излучения:

$$\dot{D}_\beta = \dot{D}_{\gamma+\beta} - \dot{D}_\gamma.$$

4.4. Описание лабораторной установки и задание по работе

Лабораторная установка состоит из измерительного прибора РКСБ-104, контрольного источника γ -излучения, контрольного источника β -излучения, четырех образцов строительных материалов и кюветы с водой.

Лабораторная работа выполняется в следующей последовательности:

1. Изучить настоящие методические материалы.

2. Измеряется фоновое значение мощности поглощенной дозы для γ -излучения $\dot{D}_{\gamma, \phi}^{\text{изм}}$, заполняется табл. 4.2: $\dot{D}_{\gamma, \phi} = \dot{D}_{\gamma, \phi}^{\text{изм}} \cdot k$, где $k = 0,01$.

Таблица 4.2

Фоновое значение мощности поглощенной дозы
для γ -излучения $\dot{D}_{\gamma, \phi}$, мкГр/ч

Фон	№ измерения					Среднее значение
	1	2	3	4	5	

3. Измеряется фоновое значение мощности поглощенной дозы для смешанного ($\gamma + \beta$)-излучения $\dot{D}_{\gamma + \beta, \phi}^{\text{изм}}$, заполняется табл. 4.3: $\dot{D}_{\gamma + \beta, \phi} = \dot{D}_{\gamma + \beta, \phi}^{\text{изм}} \cdot k$.

Таблица 4.3

Фоновое значение мощности поглощенной дозы
для смешанного ($\gamma + \beta$)-излучения $\dot{D}_{\gamma + \beta, \phi}$, мкГр/ч

Фон	№ измерения					Среднее значение
	1	2	3	4	5	

4. Рассчитывается фоновое значение мощности поглощенной дозы для β -излучения $\dot{D}_{\beta, \phi}$:

$$\dot{D}_{\beta, \phi} = \dot{D}_{\gamma + \beta, \phi} - \dot{D}_{\gamma, \phi}.$$

5. Измеряются значения мощности поглощенных доз от источника β -излучения $\dot{D}_{\beta}^{\text{изм}}$ для различных расстояний между источником и измерительным прибором ($R = 1,5; 3,0; 4,5; 6,0$ см), заполняется табл. 4.4: $\dot{D}_{\beta} = \dot{D}_{\beta}^{\text{изм}} \cdot k$.

Таблица 4.4

Значения мощности поглощенной дозы от источника β -излучения для различных расстояний между источником и измерительным прибором \dot{D}_{β} , мкГр/ч

R, см	№ измерения					Среднее значение
	1	2	3	4	5	
1,5						
3,0						
4,5						
6,0						

6. Строится график зависимости $\dot{D}_{\beta} = f(R)$. Примерный вид графика дан на рис. 4.2.

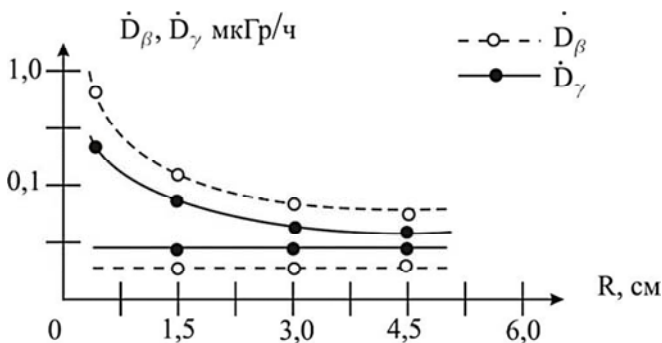


Рис. 4.2. Графики зависимости мощности поглощенной дозы от расстояния до источника излучения

7. Измеряются значения мощности поглощенных доз от источника γ -излучения для $\dot{D}_{\gamma}^{\text{изм}}$ различных расстояний между источником

и измерительным прибором ($R = 1,5; 3; 4,5; 6$ см), заполняется

табл. 4.5: $\dot{D}_\gamma = \dot{D}_\gamma^{\text{изм}} \cdot k$.

Таблица 4.5

Значения мощности поглощенной дозы от источника γ -излучения для различных расстояний между источником и измерительным прибором \dot{D}_γ , мкГр/ч

R, см	№ измерения					Среднее значение
	1	2	3	4	5	
1,5						
3						
4,5						
6						

8. Строится график зависимости $\dot{D}_\gamma = f(R)$ (см. рис. 4.2). На этот же график наносятся уровни фона для γ - и β -излучений.

9. Устанавливается расстояние между источником ионизирующего излучения и измерительным прибором (наружной поверхностью крышки-фильтра прибора) $R = 3$ см. Между источником и прибором последовательно размещаются образцы строительных материалов и измеряются значения мощности поглощенных доз для γ - и β -излучений, \dot{D}'_γ и \dot{D}'_β , заполняются табл. 4.6 и 4.7:

$$\dot{D}'_\gamma = \dot{D}'_\gamma^{\text{изм}} \cdot k; \quad \dot{D}'_\beta = \dot{D}'_\beta^{\text{изм}} \cdot k.$$

Таблица 4.6

Значения мощности поглощенной дозы от источника γ -излучения для расстояния 3 см между источником и измерительным прибором \dot{D}'_γ , мкГр/ч

Наименование материала	№ измерения					Среднее значение
	1	2	3	4	5	

Таблица 4.7

Значения мощности поглощенной дозы от источника β -излучения для расстояния 3 см между источником и измерительным

прибором \dot{D}'_{β} , мкГр/ч

Наименование материала	№ измерения					Среднее значение
	1	2	3	4	5	

10. Вычисляются линейные μ_l и массовые μ_m коэффициенты для каждого из образцов и каждого вида ионизирующего излучения по формулам (4.1) и (4.2). С этой целью измеряется толщина образца d , см, вычисляется отношение \dot{D}_0 / \dot{D}_d и натуральный логарифм этого отношения $\ln\left(\dot{D}_0 / \dot{D}_d\right)$, \dot{D}_0 – мощность поглощенной дозы до экрана, а \dot{D}_d – после него.

Линейный коэффициент ослабления вычисляется по формуле

$$\mu_l^{\beta,\gamma} = \ln\left(\dot{D}_0 / \dot{D}_d\right) / d, \text{ 1/см.} \quad (4.1)$$

Массовый коэффициент ослабления μ_m находится как отношение линейного коэффициента μ_l к плотности вещества, из которого изготовлен экран ρ , г/см³:

$$\mu_m^{\beta,\gamma} = \mu_l / \rho, \text{ см}^2/\text{г.} \quad (4.2)$$

11. Составляется табл. 4.8 для массовых и линейных коэффициентов поглощения различных строительных материалов.

Таблица 4.8

Таблица линейных и массовых коэффициентов поглощения для различных строительных материалов

Вид строительного материала	γ -излучение		β -излучение	
	μ_l	μ_m	μ_l	μ_m

12. Составляется отчет о проделанной работе. Отчет должен содержать результаты измерений и расчетов по пп. 1–11, краткое описание выявленных закономерностей, оценку защитных свойств различных типов строительных материалов и практические выводы.

4.5. Вопросы, выносимые на коллоквиум

1. Что такое поглощенная доза и мощность поглощенной дозы?
2. Единицы измерения поглощенной дозы и мощности поглощенной дозы.
3. Как измерить фоновое значение мощности поглощенной дозы?
4. Как измерить значение мощности поглощенной дозы источника ионизирующего излучения?
5. Как измерить значение мощности поглощенной дозы β -излучения?
6. Как измерить значение мощности поглощенной дозы γ -излучения?
7. Что такое линейный коэффициент поглощения?
8. Единицы измерения линейного коэффициента поглощения.
9. Методика определения линейного коэффициента поглощения.
10. Что такое массовый коэффициент поглощения?
11. Единицы измерения массового коэффициента поглощения.
12. Методика определения массового коэффициента поглощения.

Учебное издание

**ЗАЩИТА НАСЕЛЕНИЯ И ОБЪЕКТОВ
В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ.
РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

Лабораторный практикум
для студентов строительных специальностей

Составители:

БАННИКОВ Сергей Николаевич
АРХАНГЕЛЬСКАЯ Тамара Михайловна
МЯКОТА Вячеслав Геннадьевич

Редактор *Т. А. Зезюльчик*
Компьютерная верстка *Н. А. Школьниковой*

Подписано в печать 21.08.2014. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 3,14. Уч.-изд. л. 2,45. Тираж 300. Заказ 577.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.

