

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Учреждение образования
«Витебский государственный технологический университет»

РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

РАБОЧАЯ ТЕТРАДЬ

*к лабораторным работам
для студентов технологических специальностей
дневной и заочной форм обучения*

Издание пятое, переработанное и дополненное

Группа _____

Студент _____

Допуск к зачёту _____

ВИТЕБСК
2020

УДК 351.862.2

Составитель:

В. Е. Савенок

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом
УО «ВГТУ», протокол № 4 от 30.04.2020.

Радиационная безопасность: рабочая тетрадь к лабораторным работам /
сост. В. Е. Савенок. – 5-е изд., перераб. и доп. – Витебск : УО «ВГТУ», 2020. –
51 с.

Рабочая тетрадь содержит методику статистической обработки результатов, а также необходимый теоретический материал по теме каждой лабораторной работы, задания для лабораторных работ и алгоритмы их выполнения. Разработана для студентов технологических специальностей дневной формы обучения УО «ВГТУ».

УДК 351.862.2

© УО «ВГТУ», 2020

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Статистическая обработка результатов	5
Лабораторная работа 1. Определение мощности экспозиционной дозы	8
Лабораторная работа 2. Определение мощности полевой эквивалентной дозы	13
Лабораторная работа 3. Определение плотности потока бета-излучения с поверхности	18
Лабораторная работа 4. Определение удельной и объёмной активности на приборе КРВП-3Б	27
Лабораторная работа 5. Определение удельной и объёмной активности в твёрдых пробах.....	31
Лабораторная работа 6. Определение активности радионуклидов в объектах окружающей среды гамма-радиометром РУГ-91М1 «ADANI».....	35
Лабораторная работа 7. Определение мощности экспозиционной и эквивалентной доз прибором «РД-1503» «Радекс»	40
Лабораторная работа 8. Определение средней длины пробега альфа-частиц в воздухе	45
Список использованных источников	50

ВВЕДЕНИЕ

Проведение лабораторного практикума по курсу «Радиационная безопасность» интегрированной дисциплины «Безопасность жизнедеятельности человека» позволяет решить следующие задачи:

1. Дать понятие о естественном и техногенном фоне, естественных и искусственных радионуклидах.
2. Ознакомить студентов с различными дозиметрическими величинами и методами их определения.
3. Привить навыки работы как с простейшими бытовыми дозиметрическими приборами, так и с более сложными стационарными радиометрами.
4. Помочь разобраться в особенностях детектирования различных видов ионизирующих излучений.
5. Научить студентов определять плотность потока β -излучения с поверхностей, а также объёмную и удельную активность радионуклидов в твёрдых и жидких пробах.

Исходя из поставленных задач, при подготовке к выполнению каждой работы студентам необходимо обращать особое внимание на теоретическую часть, в которой содержатся данные, позволяющие лучше понять физический смысл проводимых измерений.

При выполнении лабораторных работ студенты должны выполнять следующие *требования*:

- бережно относиться к приборам и оборудованию;
- не включать приборы без разрешения преподавателя или лаборанта;
- закончив измерение, сразу выключать питание приборов;
- обнаружив неисправность прибора, немедленно сообщать об этом преподавателю или лаборанту.

В лаборатории студенты должны соблюдать следующие *меры безопасности*:

- при измерении плотности потока β -излучения с поверхности контейнера с радиоактивным источником не открывать упаковочный полиэтиленовый пакет и сам контейнер, а также не класть его на край стола, чтобы избежать случайного падения; закончив измерения, сразу же сдать контейнер преподавателю;
- при проведении измерений плотности потока β -излучения с экрана монитора очень аккуратно снимать и устанавливать защитный стеклянный экран, чтобы он не разбился;
- при работе на стационарном радиометре КРВП-ЗБ, прежде чем включать питание, обязательно проверить наличие заземления;
- при проведении измерения объёмной и удельной активности стараться избегать попадания исследуемых веществ на кожу рук и одежду, а после завершения работы **обязательно помыть руки с мылом.**

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Статистическая обработка результатов имеет две основные задачи:

- представить результаты нескольких измерений в компактной форме;
- оценить надёжность полученных результатов, т. е. степень их соответствия истинному значению определяемой величины.

Для решения этих задач необходимо предварительно оценить значимость и воспроизводимость полученных результатов.

Значимость результатов оценивается, если в серии параллельных определений один из результатов представляется сомнительным, т. к. довольно значительно отличается от всех других результатов. Чтобы решить, оставлять этот результат для вычисления среднего или отбросить как промах, оценивается его значимость с помощью Q -критерия, который также называют критерием значимости

$$Q = \frac{|x_1 - x_2|}{R}, \quad (1)$$

где x_1 – сомнительный результат (наименьший и (или) наибольший из всех измеренных); x_2 – результат, который ближе всего к x_1 по значению; R – размах варьирования – разность между предельными значениями определяемой величины, т. е. максимальным и минимальным значениями.

Вычисленное значение Q -критерия сравнивают с табличным значением, которое определяется по таблице 1 в зависимости от числа измерений n и доверительной вероятности P , которая обычно принимается равной 0,95. Сомнительный результат следует отбросить, если $Q > Q_{\text{табл.}}$, в противном случае его оставляют для дальнейших расчётов. При проверке значимости результатов $P = 0,95$ означает, что при $Q < Q_{\text{табл.}}$ результат будет значим не менее, чем в 95 случаях из 100.

Таблица 1 – Значения $Q_{\text{табл.}}$ для $P = 0,95$ и различных n

n	3	4	5	6	7	8	9	10
Q	0,94	0,77	0,64	0,56	0,51	0,48	0,44	0,42

Используя только значимые результаты, находят среднее значение по формуле

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}, \quad (2)$$

где x_i – каждый значимый результат; n – количество значимых результатов.

Зная среднее значение, можно оценить воспроизводимость результатов, т. е. степень близости отдельных результатов к среднему значению. Количе-

ственной характеристикой воспроизводимости является стандартное или среднеквадратичное отклонение, которое рассчитывается по формуле

$$S = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}, \quad (3)$$

где x_i – каждое измеренное значение; \bar{x} – среднее значение; n – число измерений.

Стандартное отклонение равно 0, если каждое единичное измерение равно среднему значению, т. е. при абсолютной воспроизводимости. Следовательно, чем больше величина стандартного отклонения, тем хуже воспроизводимость результатов.

Квадрат стандартного отклонения называют дисперсией, и также может рассматриваться как характеристика воспроизводимости

$$S^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n-1}, \quad (4)$$

где x_i – каждое измеренное значение; \bar{x} – среднее значение; n – число измерений.

Соотношение дисперсий двух рядов называется критерием Фишера (F -критерием) и позволяет определить, принадлежат ли эти ряды к одной генеральной совокупности

$$F = \frac{S_2^2}{S_1^2}, \quad (5)$$

где $S_2^2 > S_1^2$.

Вычисленный F -критерий сравнивают с табличным значением, приведённым в таблице 2, которое зависит от заданной доверительной вероятности (обычно принимают $P = 0,95$) и числа измерений.

Таблица 2 – Значение F -критерия для $P = 0,95$ (вероятность допустимой ошибки 0,05) при различном количестве измерений

$n_2 \backslash n_1$	3	4	5	6	7	8
3	9,28	9,12	9,01	8,94	8,89	8,85
4	6,59	6,39	6,26	6,16	6,60	6,04
5	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82
6	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15
7	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73
8	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44

Если вычисленный F -критерий меньше табличного значения, то можно считать, что оба ряда значений характеризуют одну и ту же генеральную совокупность.

Пользуясь найденным значением стандартного отклонения, можно оценить надёжность единичного и среднего результата, решив тем самым одну из главных задач статистической обработки.

Под оценкой надёжности результатов понимают нахождение доверительных границ. Доверительные границы – это пределы области вокруг экспериментально найденного единичного или среднего результата, внутри которой следует ожидать с заданной степенью доверительной вероятности нахождения истинного значения единичного или среднего результата. Вероятность нахождения истинного значения в доверительном интервале задаётся через коэффициент нормированных отклонений t , который определяется по таблице 3 в зависимости от доверительной вероятности и числа степеней свободы ($n - 1$). Интервал, ограниченный этими пределами, называют доверительным интервалом.

Таблица 3 – Значение коэффициента нормированных отклонений при различной доверительной вероятности

$n-1$	Значения t при разных P (%)			$n-1$	Значения t при разных P (%)		
	95	99	99.9		95	99	99.9
1	12,70	63,65	636,61	8	2,31	3,36	5,04
2	4,30	9,92	31,60	9	2,26	3,25	4,78
3	3,18	5,84	12,94	10	2,23	3,17	4,59
4	2,77	4,60	8,61	11	2,20	3,11	4,49
5	2,57	4,03	6,86	12	2,18	3,06	4,32
6	2,45	3,71	5,96	13	2,16	3,01	4,22
7	2,36	3,50	5,40	14	2,14	2,98	4,14

В случае малой выборки доверительные границы находят из следующих уравнений. Для единичного определения

$$\mu = x \pm t \cdot S, \quad (6)$$

где t – коэффициент нормированных отклонений (принимаем его значение при $P = 95$ %); S – стандартное отклонение.

Для среднего из нескольких определений

$$\mu = \bar{x} \pm \frac{t \cdot S}{\sqrt{n}}, \quad (7)$$

где n – число измерений.

Таким образом, статистическая обработка позволяет оценить значимость, воспроизводимость и надёжность полученных результатов.

Зная доверительные границы, легко можно найти погрешность измерений в процентах по формуле

$$\Delta = \frac{t \cdot S}{\bar{x} \cdot \sqrt{n}} \cdot 100\%. \quad (8)$$

Лабораторная работа 1

Определение мощности экспозиционной дозы

Цель работы: изучить характеристики дозиметрических приборов АН-РИ 01-02 «Сосна» и «Мастер-1» и научиться с их помощью измерять мощность экспозиционной дозы.

1.1 Теоретическая часть

Экспозиционная доза – это отношение приращения суммарного заряда всех ионов одного знака, возникающих в воздухе при полном торможении электронов и позитронов, которые первоначально были образованы фотонами гамма-излучения в элементарном объёме воздуха к массе воздуха в этом объёме:

$$D_{\text{экс}} = \frac{dq}{dm}, \text{ Кл/кг.} \quad (1.1)$$

Отличительная особенность экспозиционной дозы заключается в том, что она определяется только в воздухе и образуется под действием только гамма-излучения.

Системная (СИ) единица экспозиционной дозы – 1 Кл/кг (кулон на килограмм), внесистемная единица – 1 Р (рентген). $1\text{Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$.

Мощность экспозиционной дозы – это отношение приращения экспозиционной дозы за интервал времени к этому интервалу времени:

$$\dot{D}_{\text{ЭКС}} = \frac{dD_{\text{экс}}}{dt}. \quad (1.2)$$

Мощность экспозиционной дозы обычно выражается во внесистемных единицах – Р/ч (рентген в час), мР/ч (миллирентген в час), мкР/ч (микрорентген в час).

$$1 \text{ Р/ч} = 10^3 \text{ мР/ч} = 10^6 \text{ мкР/ч}; \quad 1 \text{ мР/ч} = 10^3 \text{ мкР/ч}.$$

Системными единицами мощности экспозиционной дозы является 1 А/кг (ампер на килограмм).

$$1 \text{ А/кг} = 1,08 \cdot 10^7 \text{ Р/ч} = 1,08 \cdot 10^{13} \text{ мкР/ч}.$$

Приборы, которые предназначены для измерения дозы или мощности дозы ионизирующего излучения, называются **дозиметрами**.

Большинство дозиметров определяют мощность экспозиционной дозы. Измерив мощность экспозиционной дозы, можно рассчитать величину экспозиционной дозы за любой интервал времени:

$$D_{\text{экс}} = \int_0^t \dot{D}_{\text{ЭКС}} \cdot dt. \quad (1.3)$$

Экспозиционная доза, которая создаётся естественными источниками, образует естественный фон на всей поверхности земного шара.

Естественный фон излучения – это мощность дозы ионизирующего излучения, создаваемая космическим излучением и излучением естественно распределённых природных радиоактивных элементов.

Искусственным путём созданы радиоизотопы всех известных элементов. В связи с этим образуется радиационный фон, который отличается от естественного (искусственный). В глобальном масштабе искусственными источниками являются источники выделения радионуклидов, которые были выброшены в окружающую среду в результате испытаний ядерного оружия и других видов техногенной деятельности.

Фон – это уровень ионизирующего излучения, который создаётся естественным фоном и искусственными источниками излучения.

Естественный фон определяется не ближе 200 метров к любым зданиям и сооружениям.

Естественное фоновое значение мощности экспозиционной дозы для Беларуси составляет 10–20 мкР/ч.

Исходные данные:

Точка № _____

1.2 Ход работы

1.2.1 Краткая характеристика приборов

Дозиметр бытовой «Мастер-1» предназначен для использования населением с целью контроля радиационной обстановки на местности в рабочих и жилых помещениях.

Прибор измеряет мощность экспозиционной дозы в диапазоне от 10 до 999 мкР/ч.

Основная погрешность измерения мощности составляет 30 %.

Время определения мощности экспозиционной дозы составляет 36 секунд.

Состав прибора «Мастер-1»:

1. Клипса-контакт, предназначенная для включения питания прибора.
2. Табло индикатора.
3. Кнопка «ПУСК» для включения измерений.

Дозиметр-радиометр бытовой АНРИ-01-02 «Сосна» предназначен для индивидуального использования населением с целью контроля радиационной обстановки на местности, в жилых и рабочих помещениях, в том числе для:

- измерения мощности экспозиционной дозы гамма-излучения;
- измерения плотности потока β -излучения с поверхностей;
- оценки объёмной активности β -излучающих радионуклидов в жидких и твёрдых веществах.

Состав прибора АНРИ-01-02 «Сосна»:

1. Цифровое жидкокристаллическое табло.
2. Выключатель питания.
3. Переключатель режимов работы.
4. Кнопка «КОНТР» – контроля работоспособности прибора.
5. Кнопка «ПУСК» – включения измерения.
6. Кнопка «СТОП» – выключения измерений в режиме работы «Т».
7. Задняя крышка прибора.
8. Фиксатор задней крышки прибора.

1.2.2 Порядок проведения измерений

1.2.2.1 Прибор «Сосна»:

- подготовить прибор к работе;
- установить режим «МД»;
- включить прибор и провести контроль;
- нажать кратковременно кнопку «Пуск», и через 20–25 секунд снять показание прибора в $mP/ч$, умножить его на 1000 и занести в таблицу 1.1;
- повторить предыдущий пункт 7 раз (сделать всего 8 измерений).

1.2.2.2 Прибор «Мастер-1»:

- включить прибор, для чего освободить клипсу-контакт от изоляционного материала;
- для проведения измерения нажать кнопку «Пуск», при этом на цифровом табло должны появиться цифры 0.00, а справа от цифр – мигающий знак «СЧ»;
- через 36 секунд счёт импульсов прекращается, на табло устанавливается число, которое нужно умножить на 100, чтобы получить значение мощности экспозиционной дозы в микрорентгенах в час ($mкP/ч$);
- повторить измерения 7 раз (сделать всего 8 измерений), нажимая кнопку «Пуск» после завершения очередного подсчёта импульсов;
- полученные результаты занести в таблицу 1.1.

Таблица 1.1 – Результаты измерений мощности экспозиционной дозы

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8
«Сосна», $mкP/ч$								
«Мастер-1», $mкP/ч$								

1.3 Статистическая обработка результатов

1.3.1 Оценка значимости результатов

По формуле (1) определяем Q -критерий для наибольшего и наименьшего значений, полученных по каждому из приборов.

«Сосна»: $Q_6 = \frac{|x_1 - x_2|}{R} = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} - \text{оставляем (отбрасываем)}$
 Ненужное зачеркнуть

«Сосна»: $Q_M = \frac{|x_1 - x_2|}{R} = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} - \text{оставляем (отбрасываем)}$
 Ненужное зачеркнуть

«Мастер»: $Q_6 = \frac{|x_1 - x_2|}{R} = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} - \text{оставляем (отбрасываем)}$
 Ненужное зачеркнуть

«Мастер»: $Q_M = \frac{|x_1 - x_2|}{R} = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} - \text{оставляем (отбрасываем)}$
 Ненужное зачеркнуть

где x_1 – сомнительный результат (наименьший и наибольший из всех измеренных); x_2 – результат, который ближе всего к x_1 по значению; R – размах варьирования – разность между предельными значениями определяемой величины, т. е. максимальным и минимальным значениями.

1.3.2 Определение среднего значения

По формуле (2) определяем среднее значение измерений для каждого из приборов.

«Сосна»: $\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$.

«Мастер-1»: $\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$.

где x_i – каждый значимый результат; n – количество значимых результатов.

1.3.3 Определение среднеквадратичного отклонения

По формуле (3) определяем среднеквадратичное отклонение для измерений на каждом из приборов.

«Сосна»: $S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\underline{\hspace{2cm}}} = \underline{\hspace{2cm}}$

«Мастер-1»: $S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\underline{\hspace{2cm}}} = \underline{\hspace{2cm}}$

где x_i – каждое измеренное значение; \bar{x} – среднее значение; n – число измерений.

1.3.4 Определение критерия Фишера

По формуле (5) определяем критерий Фишера (F -критерий) и сравниваем его с табличным (см. табл. 2):

$$F = \frac{S_2^2}{S_1^2} = \text{-----} = \text{-----} <> F_{\text{табл}} = \text{-----}$$

где $S_2^2 > S_1^2$ (в числителе большее значение); ставить свой результат и сравнивать с $F_{\text{табл}}$, которое брать из таблицы 2.

Написать вывод: измерения обоими приборами *принадлежат* (не принадлежат) к одной и той же генеральной совокупности (ненужный знак $<$ ($>$) и слово курсивом зачеркнуть).

1.3.5 Определение доверительного интервала

По формуле (7) определяем доверительный интервал для измеренных значений каждого из приборов:

$$\text{«Сосна»}: \mu_1 = \bar{x} \pm \frac{t \cdot S}{\sqrt{n}} = \text{-----} = \text{-----}$$

$$\text{«Мастер-1»}: \mu_2 = \bar{x} \pm \frac{t \cdot S}{\sqrt{n}} = \text{-----} = \text{-----}$$

где t – коэффициент нормированных отклонений; S – стандартное отклонение; n – число измерений.

1.3.6 Определение погрешности измерений

По формуле (8) определяем погрешность измерений для каждого из приборов:

$$\text{«Сосна»}: \Delta_1 = \frac{t \cdot S}{\bar{x} \cdot \sqrt{n}} \cdot 100\% = \text{-----} = \text{-----}$$

$$\text{«Мастер-1»}: \Delta_2 = \frac{t \cdot S}{\bar{x} \cdot \sqrt{n}} \cdot 100\% = \text{-----} = \text{-----}$$

Вывод: при измерении мощности экспозиционной дозы (фона) в установленной точке №____ (_____) получены следующие результаты:

$$\text{«Сосна»} - \mu_1 = \text{-----} \pm \text{-----} (\Delta_1 = \text{-----} \%);$$

«Мастер-1»– $\mu_2 = \text{_____} \pm \text{_____}$ ($\Delta_2 = \text{_____}$ %).

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что измеренные значения *не превышают (превышают)* естественное фоновое значение мощности экспозиционной дозы для Беларуси (≤ 20 мкР/ч) (ненужное слово, написанное курсивом, зачеркнуть).

Лабораторная работа 2

Определение мощности полевой эквивалентной дозы

Цель работы: изучить характеристики дозиметрического прибора РКСБ-104 и научиться с его помощью измерять мощность эквивалентной дозы.

2.1 Теоретическая часть

При прохождении ионизирующих излучений через различные вещества их энергия поглощается этими веществами. Энергия ионизирующего излучения, поглощённая единицей массы вещества, называется *поглощённой дозой*:

$$D_{\text{погл}} = \frac{dE}{dm}, \quad (2.1)$$

где dE – приращение средней энергии, переданной излучением веществу в элементарном объёме, Дж; dm – масса вещества в элементарном объёме, кг.

В СИ поглощённая доза измеряется единицей Грей (Гр). $1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг}$. Внесистемная единица – рад. $1 \text{ рад} = 0,01 \text{ Гр}$. Поглощённая доза, отнесённая ко времени поглощения, носит название **мощности поглощённой дозы** и измеряется в Гр/ч, Гр/с, мГр/ч, рад/с, рад/год и т. д.

Для оценки воздействия ионизирующих излучений на биологическую ткань стандартного состава используют *эквивалентную дозу*.

Эквивалентная доза ионизирующего излучения $D_{\text{экв}}$ определяется как поглощённая доза излучения $D_{\text{погл}}$, умноженная на средний коэффициент качества излучения для биологической ткани стандартного состава \bar{k} и на модифицирующий фактор N – произведение эмпирических коэффициентов, которое в настоящее время принимается равным единице:

$$D_{\text{экв}} = D_{\text{погл}} \cdot \bar{k} \cdot N = \sum_i D_{\text{погл}j} \cdot \bar{k}_j \cdot N_j, \quad (2.2)$$

где j – индекс вида излучения.

Средний коэффициент качества излучения \bar{k} – безразмерный коэффициент, предназначенный для учёта влияния микрораспределения поглощённой энергии ионизирующего излучения на размер вредного биоло-

гического эффекта. Для гамма- и β -излучения $\bar{k}=1$, для α -излучения $\bar{k} = 20$, для нейтронного излучения $\bar{k} = 10$.

В системе СИ единицей измерения эквивалентной дозы является *Зиверт (Зв)*. Внесистемная единица – *БЭР (биологический эквивалент рада)*. $1 \text{ Зв} = 100 \text{ БЭР}$.

Отношение полевой эквивалентной дозы γ -излучения за определённый интервал времени к этому интервалу времени называется мощностью полевой эквивалентной дозы γ -излучения:

$$\dot{D}_{\text{ЭКВ}} = \frac{dD_{\text{ЭКВ}}}{dt}, \quad (2.3)$$

где $dD_{\text{ЭКВ}}$ – приращение полевой эквивалентной дозы γ -излучения; dt – интервал времени.

Мощность полевой эквивалентной дозы измеряется в *Зв/ч, мЗв/ч, мкЗв/ч, БЭР/ч*.

Эффективная эквивалентная доза – это сумма средних эквивалентных доз $D_{\text{ЭКВ}i}$ в различных органах, умноженных на соответствующие взвешивающие коэффициенты w_i :

$$D_{\text{эфф.ЭКВ}} = \sum_{i=1}^n D_{\text{ЭКВ}i} \cdot w_i, \text{ Зв}. \quad (2.4)$$

Взвешивающие коэффициенты w_i характеризуют отношение риска облучения данного органа или ткани к суммарному риску при равномерном облучении всего тела.

Сумма взвешивающих коэффициентов всех органов – $\sum_{i=1}^n w_i = 1$.

Коллективная эквивалентная доза – это сумма индивидуальных эквивалентных доз у группы людей:

$$D_{\text{кол}} = \sum_i^n D_{\text{ЭКВ}i} \cdot P_i, \quad (2.5)$$

где $D_{\text{ЭКВ}i}$ – эквивалентная доза одного человека i -й группы; P_i – число лиц, получивших эквивалентную дозу $D_{\text{ЭКВ}i}$; n – число групп людей.

Коллективная эквивалентная доза выражается в *человеко-зивертах* или *человеко-бэрах*: $1 \text{ чел.-Зв} = 100 \text{ чел.-бэр}$.

Исходные данные:

Точка № _____

2.2 Ход работы

2.2.1 Краткая характеристика приборов

Дозиметр ДКГ-105 предназначен для измерения мощности полевой эквивалентной дозы и величины полевой эквивалентной дозы гамма-излучения.

Диапазоны измерения:

- мощности полевой эквивалентной дозы (МЭД) – от 0,1 до 99,9 микрозиверт в час ($мкЗв/ч$);
- полевой эквивалентной дозы (ЭД) – от 0 до 999 $мкЗв$;
- диапазон энергий регистрируемого излучения от 0,0595 до 1,25 $МэВ$.

Прибор РКСБ-104 предназначен для индивидуального использования населением с целью контроля радиационной обстановки на местности, в жилых и рабочих помещениях. Он выполняет функции дозиметра и радиометра и обеспечивает возможность измерения:

- мощности полевой эквивалентной дозы гамма-излучения;
- плотности потока β -излучения с поверхности;
- удельной активности β -излучающих радионуклидов в веществах;
- звуковой сигнализации при превышении порогового значения мощности эквивалентной дозы гамма-излучения, установленного потребителем.

Основные технические данные и характеристики прибора РКСБ-104:

- диапазон измерений мощности полевой эквивалентной дозы гамма-излучения – 0,1-99,99 $мкЗв/ч$;
- диапазон измерений плотности потока β -излучения с поверхности – 0,1-99,99 $\frac{1}{с \cdot см^2}$ или 6-6000 $\frac{1}{мин \cdot см^2}$;
- диапазон измерений удельной активности β -излучающих радионуклидов – $2 \cdot 10^3 - 2 \cdot 10^6$ $Бк/кг$ или $5,4 \cdot 10^{-8} - 5,4 \cdot 10^{-5}$ $Ки/кг$.

2.2.2 Порядок проведения измерений

2.2.2.1 Прибор *ДКГ-105*:

- перевести переключатель Д-МД в положение МД и включить прибор;
- после прекращения пульсаций показаний величины МЭД (через 4–6 мин) снять показание прибора в $мкЗв/ч$ и занести в таблицу 2.1;
- повторить измерения МЭД 7 раз, для чего переключатель Д-МД перевести в положение Д и вернуть в положение МД, при этом полученный ранее результат не сохранится, начинается новый цикл измерения;
- занести полученные результаты в таблицу 2.1 и выключить прибор.

2.2.2.2 Прибор *РКСБ-104*:

- снять заднюю крышку-фильтр прибора. Установить движки кодового переключателя S4 следующим образом (см. рис. 2.4 [5]):
S4.1, S4.3, S4.7, S4.8 в положение «0»; S4.2, S4.4, S4.5, S4.6 в положение «1».
- установить на место крышку-фильтр;

- тумблеры на передней панели прибора поставить: S1 – вверх, S2 – вверх, S3 – вверх;
- значащую часть появившегося через 28 секунд четырёхразрядного числа умножить на пересчётный коэффициент 0,01 (получим результат в мкЗв/ч) и занести в таблицу 2.1;
- повторить предыдущий пункт 7 раз (сделать всего 8 измерений);
- выключить прибор, для чего перевести тумблер S1 (красного цвета) в нижнее положение («AUS»).

Таблица 2.1 – Результаты измерений мощности полевой эквивалентной дозы

№п/п	1	2	3	4	5	6	7	8
ДКГ-105, мкЗв/ч								
РКСБ-104, мкЗв/ч								

2.3 Статистическая обработка результатов

2.3.1 Оценка значимости результатов

По формуле (1) определяем Q -критерий для наибольшего и наименьшего значений, полученных по каждому из приборов.

ДКГ-105: $Q_6 = \frac{|x_1 - x_2|}{R} = \text{---} = \text{---}$ – оставляем (отбрасываем)
 Ненужное зачеркнуть

ДКГ-105: $Q_M = \frac{|x_1 - x_2|}{R} = \text{---} = \text{---}$ – оставляем (отбрасываем)
 Ненужное зачеркнуть

РКСБ-104: $Q_6 = \frac{|x_1 - x_2|}{R} = \text{---} = \text{---}$ – оставляем (отбрасываем)
 Ненужное зачеркнуть

РКСБ-104: $Q_M = \frac{|x_1 - x_2|}{R} = \text{---} = \text{---}$ – оставляем (отбрасываем)
 Ненужное зачеркнуть

где x_1 – сомнительный результат (наименьший и (или) наибольший из всех измеренных); x_2 – результат, который ближе всего к x_1 по значению; R – размах варьирования – разность между предельными значениями определяемой величины, т. е. максимальным и минимальным значениями.

2.3.2 Определение среднего значения

По формуле (2) определяем среднее значение измерений для каждого из приборов.

ДКГ-105: $\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = \text{---} = \text{---}$

$$\text{PKCB-104: } \bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = \text{-----} = \underline{\hspace{2cm}}$$

где x_i – каждый значимый результат; n – количество значимых результатов.

2.3.3 Определение среднеквадратичного отклонения

По формуле (3) определяем среднеквадратичное отклонение для измерений на каждом из приборов.

$$\text{ДКГ-105: } S = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\text{-----}} = \text{-----} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$\text{PKCB-104: } S = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\text{-----}} = \text{-----} = \underline{\hspace{2cm}}$$

где x_i – каждое измеренное значение; \bar{x} – среднее значение; n – число измерений.

2.3.4 Определение критерия Фишера

По формуле (5) определяем критерий Фишера (F -критерий) и сравниваем его с табличным (см. табл. 2):

$$F = \frac{S_2^2}{S_1^2} = \text{-----} = \text{-----} <> F_{\text{табл}} = \text{-----}$$

где $S_2^2 > S_1^2$ (в числителе большее значение); ставить свой результат и сравнивать с $F_{\text{табл}}$, которое брать из таблицы 2.

Вывод: измерения обоими приборами *принадлежат (не принадлежат)* к одной и той же генеральной совокупности (ненужный знак $< >$ и слово курсивом зачеркнуть).

2.3.5 Определение доверительного интервала

По формуле (7) определяем доверительный интервал для измеренных значений каждого из приборов:

$$\text{ДКГ-105: } \mu_1 = \bar{x} \pm \frac{t \cdot S}{\sqrt{n}} = \text{-----} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$\text{PKCB-104: } \mu_2 = \bar{x} \pm \frac{t \cdot S}{\sqrt{n}} = \text{-----} = \underline{\hspace{2cm}}$$

где t – коэффициент нормированных отклонений; S – стандартное отклонение; n – число измерений.

2.3.6 Определение погрешности измерений

По формуле (8) определяем погрешность измерений для каждого из приборов:

$$\text{ДКГ-105: } \Delta_1 = \frac{t \cdot S}{\bar{x} \cdot \sqrt{n}} \cdot 100\% = \text{-----} = \text{_____}.$$

$$\text{РКСБ-104: } \Delta_2 = \frac{t \cdot S}{\bar{x} \cdot \sqrt{n}} \cdot 100\% = \text{-----} = \text{_____}.$$

Вывод: при измерении мощности полевой эквивалентной дозы в установленной точке № _____ (_____) получены следующие результаты:

$$\text{ДКГ-105} - \mu_1 = \text{_____} \pm \text{_____} (\Delta_1 = \text{_____} \%).$$

$$\text{РКСБ-104} - \mu_2 = \text{_____} \pm \text{_____} (\Delta_2 = \text{_____} \%).$$

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что измеренные значения *не превышают (превышают)* естественное фоновое значение мощности полевой эквивалентной дозы для Беларуси ($\leq 0,20 \text{ мкЗв/ч}$) (ненужное слово, написанное курсивом, зачеркнуть).

Лабораторная работа 3

Определение плотности потока β -излучения с поверхности

Цель работы: *изучить характеристики прибора комбинированного РКС-107 и научиться измерять плотность потока β -излучения с поверхности с помощью различных приборов (прибор комбинированный РКС-107, дозиметр-радиометр бытовой АНРИ-01-02 «Сосна», прибор РКСБ-104).*

3.1 Теоретическая часть

Бета-распадом называется процесс превращения нестабильного ядра в ядро с тем же массовым числом, заряд которого отличается от исходного на $\Delta z = \pm 1$, сопровождаемый испусканием электрона, позитрона или захватом электрона с оболочки атома. Одновременно ядро испускает нейтрино или антинейтрино. Известны три вида β -распада.

1. β^- -распад, при котором из ядра вылетает электрон и антинейтрино ($\bar{\nu}$) и образуется ядро с тем же массовым числом, но с увеличением на единицу атомным номером ($\Delta z = +1$):



Пример такого распада – распад свободного нейтрона по схеме:



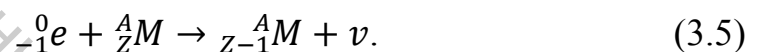
2. β^+ -распад, при котором из ядра вылетает позитрон и нейтрино, а новое ядро имеет атомный номер на единицу меньше ($\Delta Z = -1$):



По такому механизму может проходить распад протона внутри ядра:



3. Электронный захват, при котором ядро захватывает электрон с атомной оболочки и испускает нейтрино. Чаще всего захват происходит с K -оболочки (ближайшей к ядру) и потому процесс называется K -захватом:



При этом внутри ядра один протон превращается в нейтрон:



Поток ионизирующих частиц – отношение числа ионизирующих частиц dN , проходящих через данную поверхность за интервал времени dt , к этому интервалу:

$$F = dN/dt. \quad (3.7)$$

Плотность потока ионизирующих частиц (γ -квантов) выражается числом частиц (γ -квантов) в единицу времени (dF), падающих на единицу поверхности, перпендикулярной потоку частиц (dS):

$$\varphi = \frac{dF}{dS} = \frac{d^2N}{dt dS}. \quad (3.8)$$

Единицы измерения плотности потока: $\frac{1}{\text{с}\cdot\text{см}^2}, \frac{1}{\text{мин}\cdot\text{см}^2}$.

Исходные данные:

Поверхность № _____

3.2 Характеристика приборов

3.2.1 Прибор комбинированный РКС-107

Прибор РКС-107 предназначен для индивидуального контроля радиационной обстановки на местности, в жилых и рабочих помещениях. Он выполняет функции дозиметра и радиометра и обеспечивает измерение:

- мощности эквивалентной дозы в точке поля гамма-излучения (далее именуется мощностью полевой эквивалентной дозы);
- плотности потока β -излучения с поверхности, загрязнённой радионуклидами стронция-90 + иттрия-90;
- удельной активности радионуклида цезий-137 в водных растворах;
- индикации о превышении величиной мощности полевой эквивалентной дозы гамма-излучения пороговых значений, равных 0,6 и 1,2 мкЗв/ч.

Диапазон измерений:

- мощности полевой эквивалентной дозы γ -излучения – 0,1-999 мкЗв/ч;
- плотности потока β -излучения с поверхности, загрязнённой радионуклидами стронция-90 + иттрия-90, – 0,1-999 $\frac{1}{\text{с}\cdot\text{см}^2}$;
- удельной активности радионуклида Cs-137 – 2-9990 Бк/г.

Характеристики дозиметра-радиометра бытового АНРИ-01-02 «Сосна» приведены в лабораторной работе 1, характеристики прибора РКСБ-104 – в лабораторной работе 2.

3.3 Порядок проведения работы

3.3.1 Прибор РКС-107

3.3.1.1 Измерение прибором

1. Включить прибор, нажав кнопку «ВКЛ».
2. Нажать кнопку «РЕЖИМ» и установить указатель режима работы прибора в положение « $\frac{1}{\text{с}\cdot\text{см}^2}$ » – среднее положение на индикаторе.
3. Не поднося прибор к исследуемой поверхности ближе, чем на расстоянии 150 см, нажать кнопку «ПУСК», что сопровождается коротким звуковым сигналом. Указатель режима работы начнёт пульсировать, через $(37\pm 1,0)$ секунд отсчёт прекратится, вновь раздастся кратковременный звуковой сигнал. Записать полученный результат в таблицу 3.1 в строку (φ_{ϕ}).
4. Повторить измерения 7 раз и записать полученные результаты в таблицу 3.1 в строку (φ_{ϕ}). Выключить прибор, нажав кнопку «ВЫКЛ».
5. Снять заднюю крышку-фильтр (поз. 4 на рисунке 3.1 [5]). Поднести прибор к исследуемой поверхности на расстоянии не далее 1 см от неё. Включить прибор кнопкой «ВКЛ», установите режим « $\frac{1}{\text{с}\cdot\text{см}^2}$ », а затем нажать кнопку «ПУСК». Через $(37\pm 1,0)$ секунд отсчёт прекратится. Записать полученный результат в таблицу 3.1 в строку (φ_{nl}).

6. Повторить измерения 7 раз и записать полученные результаты в таблицу 3.1 в строку (φ_{n1}). Выключить прибор. Установить крышку-фильтр на место.

Таблица 3.1 – Результаты измерений прибором РКС-107

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8
$\varphi_{\Phi}, I/(c \cdot cM^2)$								
$\varphi_{n1}, I/(c \cdot cM^2)$								
$\varphi_{n2}, I/(c \cdot cM^2)$								

Примечание: 3-я строка таблицы 3.1 заполняется только при определении поглощающей способности защитного экрана монитора (дополнительная серия измерений без защитного экрана пп.5-6).

3.3.1.2 Статистическая обработка полученных результатов

По формуле (1) определяем Q -критерий для наибольшего и наименьшего значений каждого ряда измерений (табл. 3.1).

$$\text{Фон: } Q_{\Phi} = \frac{|x_1 - x_2|}{R} = \frac{\quad}{\quad} = \quad - \text{ оставляем (отбрасываем)}$$

Ненужное зачеркнуть

$$\text{Фон: } Q_M = \frac{|x_1 - x_2|}{R} = \frac{\quad}{\quad} = \quad - \text{ оставляем (отбрасываем)}$$

Ненужное зачеркнуть

$$\text{Поверхность 1: } Q_{\Phi} = \frac{|x_1 - x_2|}{R} = \frac{\quad}{\quad} = \quad - \text{ оставляем (отбрасываем)}$$

Ненужное зачеркнуть

$$\text{Поверхность 1: } Q_M = \frac{|x_1 - x_2|}{R} = \frac{\quad}{\quad} = \quad - \text{ оставляем (отбрасываем)}$$

Ненужное зачеркнуть

$$\text{Поверхность 2: } Q_{\Phi} = \frac{|x_1 - x_2|}{R} = \frac{\quad}{\quad} = \quad - \text{ оставляем (отбрасываем)}$$

Ненужное зачеркнуть

$$\text{Поверхность 2: } Q_M = \frac{|x_1 - x_2|}{R} = \frac{\quad}{\quad} = \quad - \text{ оставляем (отбрасываем)}$$

Ненужное зачеркнуть

где x_1 – сомнительный результат (наименьший и (или) наибольший из всех измеренных); x_2 – результат, который ближе всего к x_1 по значению; R – размах варьирования – разность между предельными значениями определяемой величины, т.е. максимальным и минимальным значениями.

По формуле (2) определяем среднее значение для каждого ряда измерений (табл. 3.1).

$$\text{Фон: } \bar{\varphi}_{\Phi} = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{\quad}{\quad} = \frac{\quad}{\quad} \left(\frac{1}{c \cdot cM^2} \right).$$

$$\text{Поверхность 1: } \bar{\varphi}_{\Pi 1} = \frac{\sum \varphi_{\Pi 1 i}}{n} = \frac{\quad}{\quad} = \frac{\quad}{\quad} \left(\frac{1}{c \cdot cM^2} \right).$$

$$\text{Поверхность 2: } \bar{\varphi}_{\Pi 2} = \frac{\sum \varphi_{\Pi 2 i}}{n} = \frac{\quad}{\quad} = \frac{\quad}{\quad} \left(\frac{1}{c \cdot cM^2} \right).$$

где φ_{fi} (φ_{ni}) – значимый результат; n – количество значимых результатов.

Определяем загрязнённость поверхности β -излучающими радионуклидами:

$$\varphi_1 = \bar{\varphi}_{\Pi 1} - \bar{\varphi}_{\Phi} = \frac{\bar{\varphi}_{\Pi 1} - \bar{\varphi}_{\Phi}}{\bar{\varphi}_{\Phi}} = \frac{\bar{\varphi}_{\Pi 1}}{\bar{\varphi}_{\Phi}} - 1 = \frac{1}{C \cdot \text{см}^2},$$

$$\varphi_2 = \bar{\varphi}_{\Pi 2} - \bar{\varphi}_{\Phi} = \frac{\bar{\varphi}_{\Pi 2} - \bar{\varphi}_{\Phi}}{\bar{\varphi}_{\Phi}} = \frac{\bar{\varphi}_{\Pi 2}}{\bar{\varphi}_{\Phi}} - 1 = \frac{1}{C \cdot \text{см}^2},$$

где $\bar{\varphi}_{\Phi}$ – среднее фоновое значение плотности потока β -излучения; $\bar{\varphi}_{\Pi 1}$ – среднее значение плотности потока β -излучения с поверхности 1; $\bar{\varphi}_{\Pi 2}$ – среднее значение плотности потока β -излучения с поверхности 2.

Если $\varphi_1(\varphi_2) < 0$, следовательно, поверхность не имеет β -загрязнения.

При наличии защитного экрана монитора дополнительно определяем его поглощающую способность:

$$PS = \varphi_2 / \varphi_1 = \frac{\varphi_2}{\varphi_1} = \frac{\bar{\varphi}_{\Pi 2} - \bar{\varphi}_{\Phi}}{\bar{\varphi}_{\Pi 1} - \bar{\varphi}_{\Phi}} = \frac{\bar{\varphi}_{\Pi 2}}{\bar{\varphi}_{\Pi 1}} - 1 = \frac{1}{C \cdot \text{см}^2}.$$

3.3.2 Прибор АНРИ-01-02 «Сосна»

3.3.2.1 Измерение прибором

1. Перевести переключатель режима работы в положение «МД» и включить прибор.
2. Поднести прибор плоскостью задней крышки к исследуемой поверхности на расстояние 0,5–1 см и кратковременно нажать кнопку «Пуск».
3. Выполнить измерение и записать показание прибора, умноженное на 1000, в таблицу 3.2 в строку N_{γ} .
4. Повторить измерения 8 раз и записать показания прибора, умноженные на 1000, в таблицу 3.2 в строку N_{γ} .
5. Открыть заднюю крышку прибора, повернув фиксатор (поз. 8, рис. 1.2 [5]).
6. Выполнить измерение с открытой задней крышкой аналогично п.3. Записать показания прибора в таблицу 3.2 в строку $N_{(\gamma+\beta)1}$.
7. Повторить измерения 7 раз и записать показания прибора, умноженные на 1000, в таблицу 3.2 в строку $N_{(\gamma+\beta)1}$.
8. Закрыть заднюю крышку прибора, выключить прибор.

Таблица 3.2 – Результаты измерений прибором АНРИ-01-02

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8
N_{γ} , <i>имп.</i>								
$N_{(\gamma+\beta)1}$, <i>имп.</i>								
$N_{(\gamma+\beta)2}$, <i>имп.</i>								

Примечание: 3-я строка таблицы 3.2 заполняется только при определении поглощающей способности защитного экрана монитора (дополнительная серия измерений без защитного экрана п.5-7).

3.3.2.2 Статистическая обработка полученных результатов

По формуле (1) определяем Q -критерий для наибольшего и наименьшего значений каждого ряда измерений (табл. 3.2).

Фон: $Q_{\phi} = \frac{ x_1 - x_2 }{R} = \text{-----} = \text{---}$	$=$	$-\text{ оставляем (отбрасываем)}$	Ненужное зачеркнуть
Фон: $Q_{\text{м}} = \frac{ x_1 - x_2 }{R} = \text{-----} = \text{---}$	$=$	$-\text{ оставляем (отбрасываем)}$	Ненужное зачеркнуть
Поверхность 1: $Q_{\phi} = \frac{ x_1 - x_2 }{R} = \text{-----} = \text{---}$	$=$	$-\text{ оставляем (отбрасываем)}$	Ненужное зачеркнуть
Поверхность 1: $Q_{\text{м}} = \frac{ x_1 - x_2 }{R} = \text{-----} = \text{---}$	$=$	$-\text{ оставляем (отбрасываем)}$	Ненужное зачеркнуть
Поверхность 2: $Q_{\phi} = \frac{ x_1 - x_2 }{R} = \text{-----} = \text{---}$	$=$	$-\text{ оставляем (отбрасываем)}$	Ненужное зачеркнуть
Поверхность 2: $Q_{\text{м}} = \frac{ x_1 - x_2 }{R} = \text{-----} = \text{---}$	$=$	$-\text{ оставляем (отбрасываем)}$	Ненужное зачеркнуть

По формуле (2) определяем среднее значение для каждого ряда измерений (табл. 3.2).

Фон: $\bar{\varphi}_{\phi} = 0,5 \cdot \frac{\sum N_{\gamma i}}{n} = \text{-----} = \text{-----}$
Поверхность 1: $\bar{\varphi}_{\text{п1}} = 0,5 \cdot \frac{\sum N_{(\gamma+\beta)1i}}{n} = \text{-----} = \text{-----}$
Поверхность 2: $\bar{\varphi}_{\text{п2}} = 0,5 \cdot \frac{\sum N_{(\gamma+\beta)2i}}{n} = \text{-----} = \text{-----}$

где $N_{\gamma i}$ – показание прибора с закрытой задней крышкой прибора без учёта запятой на табло, импульсов (значимые результаты); $N_{(\gamma+\beta)1i}$ – показание прибора с открытой задней крышкой прибора без учёта запятой на табло при измерении поверхности 1, импульсов (значимые результаты); $N_{(\gamma+\beta)2i}$ – показание прибора с открытой задней крышкой прибора без учёта запятой на табло при измерении поверхности 2, импульсов (значимые результаты); n – количество значимых результатов; $K_s = 0,5$ част/(см²·мин·импульс) – коэффициент счета импульсов прибора.

Определяем загрязнённость поверхности β -излучающими радионуклидами:

$$\varphi_1 = \bar{\varphi}_{\text{П1}} - \bar{\varphi}_{\text{Ф}} = \frac{\quad}{\quad} = \frac{\quad}{\quad} \text{ част/см}^2 \cdot \text{мин},$$
$$\varphi_2 = \bar{\varphi}_{\text{П2}} - \bar{\varphi}_{\text{Ф}} = \frac{\quad}{\quad} = \frac{\quad}{\quad} \text{ част/см}^2 \cdot \text{мин},$$

где $\bar{\varphi}_{\text{Ф}}$ – среднее фоновое значение плотности потока β -излучения; $\bar{\varphi}_{\text{П1}}$ – среднее значение плотности потока β -излучения с поверхности 1; $\bar{\varphi}_{\text{П2}}$ – среднее значение плотности потока β -излучения с поверхности 2.

Если $\varphi_1(\varphi_2) < 0$, следовательно, поверхность не имеет β -загрязнения.

При наличии защитного экрана монитора дополнительно определяем его поглощающую способность:

$$PS = \varphi_2 / \varphi_1 = \frac{\quad}{\quad} = \frac{\quad}{\quad}.$$

3.3.3 Прибор РКСБ-104

3.3.3.1 Измерение прибором

1. Снять заднюю крышку-фильтр прибора. Установить движки кодового переключателя S4 следующим образом (см. рис. 3.2 [5]):

S4.1, S4.4, S4.6, S4.8 в положение «0»;

S4.2, S4.3, S4.5, S4.7 в положение «1».

2. Установить на место крышку-фильтр.

3. Перевести органы управления прибора тумблера S2 и S3 в верхнее положение («MESS» для S2 и «x0.01 ,x0.01, x200» для S3).

4. Удалить прибор от исследуемой поверхности _____ на расстояние 110–120 см.

5. Перевести тумблер S1 (красного цвета) в верхнее положение («EIN»), при этом прибор должен начать регистрировать фоновое значение ($\varphi_{\text{Ф}}$), которое будет получено через 18 секунд.

6. Время индикации установившегося значения – около 14 секунд, за это время необходимо занести полученный результат в таблицу 3.3 в строку «Фоновое значение $\varphi_{\text{Ф}}$ ».

7. После прекращения звукового сигнала прибор автоматически повторяет измерение, получить 8 результатов и занести их в таблицу 3.3 в строку «Фоновое значение $\varphi_{\text{Ф}}$ ».

8. Выключить прибор, для чего перевести тумблер S1 (красного цвета) в нижнее положение («AUS»).

9. Снять заднюю крышку-фильтр прибора.

10. Поместить прибор над исследуемой поверхностью _____ (задней стороной к поверхности) на расстояние 0,5–1 см.

11. Перевести тумблер S1 (красного цвета) в верхнее положение («EIN»), при этом прибор должен начать регистрировать значение (φ_{n1}), которое будет получено через 18 секунд.

Время индикации установившегося значения – около 14 секунд, за это время необходимо занести полученный результат в таблицу 3.3 в строку: «Значение φ_{n1} ».

После прекращения звукового сигнала прибор автоматически повторяет измерение, получить 8 результатов и занести их в таблицу 3.3 в строку «Значение φ_{n1} ».

12. Выключить прибор, для чего перевести тумблер S1 (красного цвета) в нижнее положение («AUS»).

Таблица 3.3 – Результаты измерений прибором РКСБ-104

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8
Фоновое значение, φ_{Φ} , $1/(с \cdot см^2)$								
φ_{n1} , $1/(с \cdot см^2)$								
φ_{n2} , $1/(с \cdot см^2)$								

Примечание: 3-я строка таблицы 3.3 заполняется только при определении поглощающей способности защитного экрана монитора (дополнительная серия измерений без защитного экрана п. 9-11).

3.3.3.2 Статистическая обработка полученных результатов

По формуле (1) определяем Q-критерий для наибольшего и наименьшего значений каждого ряда измерений (табл. 3.1).

Фон: $Q_{\Phi} = \frac{|x_1 - x_2|}{R} = \frac{\quad}{\quad} = \quad - \text{оставляем (отбрасываем)}$
 Ненужное зачеркнуть

Фон: $Q_M = \frac{|x_1 - x_2|}{R} = \frac{\quad}{\quad} = \quad - \text{оставляем (отбрасываем)}$
 Ненужное зачеркнуть

Поверхность 1: $Q_{\Phi} = \frac{|x_1 - x_2|}{R} = \frac{\quad}{\quad} = \quad - \text{оставляем (отбрасываем)}$
 Ненужное зачеркнуть

Поверхность 1: $Q_M = \frac{|x_1 - x_2|}{R} = \frac{\quad}{\quad} = \quad - \text{оставляем (отбрасываем)}$
 Ненужное зачеркнуть

Поверхность 2: $Q_{\Phi} = \frac{|x_1 - x_2|}{R} = \frac{\quad}{\quad} = \quad - \text{оставляем (отбрасываем)}$
 Ненужное зачеркнуть

Поверхность 2: $Q_M = \frac{|x_1 - x_2|}{R} = \frac{\quad}{\quad} = \quad - \text{оставляем (отбрасываем)}$
 Ненужное зачеркнуть

По формуле (2) определяем среднее значение для каждого ряда измерений (табл. 3.3).

Фон: $\bar{\varphi}_{\Phi} = \frac{\sum \varphi_{\Phi i}}{n} = \frac{\quad}{\quad} = \quad$

Поверхность 1: $\bar{\varphi}_{\Pi 1} = \frac{\sum \varphi_{\Pi 1 i}}{n} = \text{-----} = \text{-----}$.

Поверхность 2: $\bar{\varphi}_{\Pi 2} = \frac{\sum \varphi_{\Pi 2 i}}{n} = \text{-----} = \text{-----}$.

где φ_{fi} (φ_{ni}) – значимый результат; n – количество значимых результатов.

Определяем загрязненность поверхности β -излучающими радионуклидами:

$$\varphi_1 = \bar{\varphi}_{\Pi 1} - \bar{\varphi}_{\Phi} = \text{-----} = \text{-----} \text{ I}/(\text{см}^2 \cdot \text{с}),$$

$$\varphi_2 = \bar{\varphi}_{\Pi 2} - \bar{\varphi}_{\Phi} = \text{-----} = \text{-----} \text{ I}/(\text{см}^2 \cdot \text{с}),$$

где $\bar{\varphi}_{\Phi}$ – среднее фоновое значение плотности потока β -излучения; $\bar{\varphi}_{\Pi 1}$ – среднее значение плотности потока β -излучения с поверхности 1; $\bar{\varphi}_{\Pi 2}$ – среднее значение плотности потока β -излучения с поверхности 2.

Если $\varphi_1(\varphi_2) < 0$, следовательно, поверхность не имеет β -загрязнения.

При наличии защитного экрана монитора дополнительно определяем его поглощающую способность:

$$PS = \varphi_2 / \varphi_1 = \text{-----} / \text{-----} = \text{-----}.$$

Вывод: Поверхность не имеет β -загрязнения (если $\varphi_1(\varphi_2) < 0$).

Плотность потока β -излучения составляет (ненужное зачеркнуть):

– по прибору РКС-107:

с поверхности 1 $\varphi_1 = \text{-----} \text{ I}/(\text{см}^2 \cdot \text{с}),$

с поверхности 2 $\varphi_2 = \text{-----} \text{ I}/(\text{см}^2 \cdot \text{с}),$

где поглощающая способность $PS = \frac{\varphi_2}{\varphi_1} = \text{-----}$ (при наличии защитного экрана).

– по прибору АНРИ-01-02 «Сосна»:

с поверхности 1 $\varphi_1 = \text{-----} \text{ част}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин}),$

с поверхности 2 $\varphi_2 = \text{-----} \text{ част}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин}),$

где поглощающая способность $PS = \frac{\varphi_2}{\varphi_1} = \text{-----}$ (при наличии защитного экрана).

– по прибору РКСБ-104:

с поверхности 1 $\varphi_1 = \text{-----} \text{ I}/(\text{см}^2 \cdot \text{с}),$

с поверхности 2 $\varphi_2 = \text{-----} \text{ I}/(\text{см}^2 \cdot \text{с}),$

где поглощающая способность $PS = \frac{\varphi_2}{\varphi_1} = \text{-----}$ (при наличии защитного экрана).

Лабораторная работа 4

Определение удельной и объёмной активности на приборе КРВП-ЗБ

Цель работы: изучить характеристики стационарного радиометра КРВП-ЗБ и научиться с его помощью измерять удельную и объёмную активность в твердых и жидких пробах.

4.1 Теоретическая часть

Радиоактивность – это самопроизвольное превращение неустойчивых ядер в более устойчивые, которое сопровождается испусканием ионизирующего излучения.

Ионизирующее излучение – это излучение, взаимодействие которого со средой приводит к образованию ионов.

Активность A – это физическая величина, характеризующаяся числом распадов ($-dN$) в данном количестве N_0 ядер в единицу времени dt :

$$A = (-dN)/dt. \quad (4.1)$$

Если N – число нераспавшихся радиоактивных ядер в момент времени t , то активность можно выразить следующим образом:

$$A = \lambda \cdot N, \quad (4.2)$$

где λ – постоянная радиоактивного распада, которая характеризует вероятность распада одного ядра за одну секунду и выражается в s^{-1} .

Единица активности в системе СИ – 1 *Беккерель* (1 *Бк*), что соответствует 1 распаду в секунду. Внесистемная единица активности – 1 *Кюри* (1 *Ки*).

1 *Кюри* – это величина активности, которая соответствует количеству распадов в 1 г радия (*Ra*) за 1 секунду. $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$.

Удельная активность (массовая) – это отношение активности радионуклида, содержащегося в пробе, к массе этой пробы:

$$A_m = \frac{A}{m}. \quad (4.3)$$

Единицы удельной активности: 1 *Бк/кг* или 1 *Ки/кг*.

Объёмная активность – это отношение активности радионуклида, содержащегося в образце, к объёму образца:

$$A_v = A/V. \quad (4.4)$$

Объёмная активность обычно измеряется в *Ки/л*.

Поверхностная активность – это отношение активности радионуклида, содержащегося в образце, к площади поверхности образца:

$$A_s = A/s. \quad (4.5)$$

Исходные данные:

4.2 Ход работы

4.2.1 Характеристика прибора

Радиометр КРВП-3Б является стационарным прибором, предназначен для измерения объёмной β -активности воды и пищевых продуктов.

Радиометр обеспечивает измерение объёмной β -активности воды и пищевых продуктов, загрязнённых β -активными веществами в пределах:

– прямым методом от $5 \cdot 10^{-9}$ до $5 \cdot 10^{-6}$ Ки/л при измерении воды и продуктов;

– методом с предварительным обогащением от $1 \cdot 10^{-10}$ до $1 \cdot 10^{-8}$ Ки/л при измерении β -активности воды.

4.2.1.1 Состав прибора

Пересчётный блок – состоит из литого металлического корпуса и шасси, на котором смонтированы все узлы.

Блок детектирования бета-излучения – смонтирован в плоском пластмассовом корпусе. Блок детектирования помещается на специальном держателе в свинцовый домик, чтобы уменьшить влияние γ -фона на результаты измерения низких уровней бета-активности воды и пищевых продуктов.

Блок обработки – служит для получения обогащённых проб из воды при измерении малых бета-активностей.

4.2.1.2 Подготовка радиометра КРВП-3Б к работе

1. Ознакомиться с расположением и назначением органов включения и управления, расположенных на лицевой панели радиометра.

2. Установить переключатель на пересчётном блоке в положение ВЫКЛ. Проверить завод часов, установить секундомер в исходное состояние кнопкой ПУСК. Пуск секундомера часов 59ЧП осуществляется после поворота кнопки ПУСК влево с последующим нажатием.

3. Подать напряжение на пересчётный блок. Выключатель сети пересчётного блока поставить в положение СЕТЬ.

4. По истечении 5 мин убедиться в исправности радиометра, для чего перевести переключатель РАБОТА-ПРОВЕРКА в положение ПРОВЕРКА, нажа-

тием кнопки секундомера ПУСК включить пересчётную схему и через 10 с повторным нажатием кнопки ПУСК остановить секундомер и пересчётную схему. Количество зарегистрированных декатронами импульсов должно быть равно 1000 ± 30 . Записать полученное число в отчёт _____.

4.2.2 Измерение прибором КРВП-3Б

1. Установить в блок детектирования на верхнюю полочку (вплотную к детектору) пустую кювету.
2. Закрыть блок детектирования и установить стопорный штырь.
3. Перевести переключатель РАБОТА-ПРОВЕРКА в положение РАБОТА.
4. Кратковременно нажать кнопку ПУСК. Провести измерение фона в течение 3 минут и повторным нажатием кнопки ПУСК остановить подсчёт импульсов. Полученный результат занести в строку N_ϕ таблицы 4.1.
5. Повторить измерение фона еще 4 раза и полученные результаты занести в строку N_ϕ таблицы 4.1.
6. В кювету после измерения фона насыпать пробу твёрдого вещества, тщательно разровнять её по внутренней кромке кюветы.
7. Кювету с пробой поместить в свинцовый домик под рабочее окно детектора.
8. Нажатием кнопки секундомера ПУСК включить пересчётную схему. Произвести измерение в течение 3 минут и повторно нажать кнопку ПУСК.
9. Занести полученный результат в строку N_n таблицы 4.1.
10. Повторить измерение пробы еще 4 раза и полученные результаты занести в строку N_n таблицы 4.1.

Таблица 4.1 – Результаты измерений прибором КРВП-3Б

№	1	2	3	4	5
N_ϕ					
N_n					

4.3 Статистическая обработка результатов

4.3.1 Оценка значимости результатов

По формуле (1) определяем Q -критерий для наибольшего и наименьшего значений, полученных для значений N_ϕ и N_n (табл. 4.1).

$$N_\phi: Q_6 = \frac{|x_1 - x_2|}{R} = \text{_____} = \text{_____} \text{ – оставляем (отбрасываем)}$$

Ненужное зачеркнуть

$$N_\phi: Q_m = \frac{|x_1 - x_2|}{R} = \text{_____} = \text{_____} \text{ – оставляем (отбрасываем)}$$

Ненужное зачеркнуть

$$N_n: Q_6 = \frac{|x_1 - x_2|}{R} = \text{_____} = \text{_____} \text{ – оставляем (отбрасываем)}$$

Ненужное зачеркнуть

$$N_n: Q_M = \frac{|x_1 - x_2|}{R} = \text{---} = \text{---} - \text{оставляем (отбрасываем)}$$

Ненужное зачеркнуть

где x_1 – сомнительный результат (наименьший и наибольший из всех измеренных); x_2 – результат, который ближе всего к x_1 по значению; R – размах варьирования – разность между предельными значениями определяемой величины, т. е. максимальным и минимальным значениями.

4.3.2 Определение среднего значения

По формуле (2) определяем среднее значение измерений для значений N_ϕ и N_n (табл. 4.1).

$$N_{\phi \text{ ср}}: \bar{N}_\phi = \frac{\sum N_{\phi i}}{n} = \text{---} = \text{---}$$

$$N_{n \text{ ср}}: \bar{N}_n = \frac{\sum N_{ni}}{n} = \text{---} = \text{---}$$

где $N_{\phi i}$ (N_{ni}) – значимый результат; n – количество значимых результатов.

4.3.3 Расчет объёмной активности пробы

Расчет объёмной активности пробы (A_v) проводим по формуле

$$A_v = \frac{N_{n \text{ ср}} - N_{\phi \text{ ср}}}{P \cdot t} = \text{---} \text{ Ки/л,}$$

где $N_{n \text{ ср}}$ – средняя скорость счёта импульсов при измерении пробы; $N_{\phi \text{ ср}}$ – средняя скорость счёта импульсов при измерении фона; $P = \text{---}$ – значение чувствительности радиометра к смеси радионуклидов в пробе (при измерении проб, содержащих различные соли калия, чувствительность прибора $P = 4,1 \cdot 10^7 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{Ки})$).

4.3.4 Расчёт доли распадающихся за 1 секунду ядер калия-40 в исследуемом веществе – _____

Плотность $\rho = \text{---} \text{ г/см}^3$ (кг/л) (см. для своего варианта табл. 4.5 [5]).

1. Количество распадающихся за 1 секунду ядер калия-40 в 1 литре исследуемого вещества: $A_v = A_v [\text{Ки/л}] \cdot 3,7 \cdot 10^{10} = \text{---} \text{ Бк/л}$.

2. Количество распадающихся за 1 секунду ядер калия-40 в 1 кг _____

$$A_m [\text{Бк/кг}] = \frac{A_v [\text{Бк/л}]}{\rho [\text{кг/л}]} = \text{---} \text{ Бк/кг}$$

3. Молярная масса _____: $M_K = nM_K + nM_X + nM_Y = \text{---}$;

4. Общее количество ядер всех изотопов калия в 1 кг _____:

$$N = n \cdot N_A \cdot \frac{m}{M} = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}};$$

5. Доля распадающихся за 1 секунду ядер калия в 1 кг $\underline{\hspace{2cm}}$:

$$\Delta = \frac{A_m \left[\frac{\text{Бк}}{\text{кг}} \right]}{N} = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}.$$

Вывод: согласно проведённым измерениям объёмная активность пробы

$$A_v = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Ки/л} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Бк/л}.$$

Приданной объёмной активности пробы, которая содержит соли калия $\underline{\hspace{2cm}}$, доля распадающихся за 1 секунду ядер калия составляет

$$\Delta = \underline{\hspace{2cm}}.$$

Лабораторная работа 5

Определение удельной и объёмной активности в твёрдых пробах

Цель работы: изучить характеристики приборов комбинированных РКСБ-104 и РКС-107 и научиться с их помощью измерять удельную и объёмную активность в твёрдых пробах.

5.1 Теоретическая часть

Активность (A) – это физическая величина, характеризующаяся числом распадов ($-dN$) в данном количестве N_0 ядер в единицу времени dt :

$$A = (-dN)/dt. \quad (5.1)$$

Единица активности в системе СИ – 1 Беккерель (1 Бк), что соответствует 1 распаду в секунду. Внесистемная единица активности – 1 Кюри (1 Ки).

Удельная активность – это отношение активности радионуклида, содержащегося в пробе, к массе этой пробы:

$$A_m = A/m. \quad (5.2)$$

Единицы удельной активности: 1 Бк/кг или 1 Ки/кг.

Объёмная активность – это отношение активности радионуклида, содержащегося в образце, к объёму образца:

$$A_v = A/V. \quad (5.3)$$

Объёмная активность обычно измеряется в Ки/л.

Исходные данные:

5.2 Характеристика приборов

Характеристики прибора РКСБ-104 приведены в лабораторной работе 2, характеристика прибора РКС-107 – в лабораторной работе 3.

5.3 Порядок проведения работы

5.3.1 Прибор РКСБ-104

5.3.1.1 Измерение прибором

1. Снять заднюю крышку-фильтр прибора. Для этого необходимо сдвинуть вниз запирающую защелку.
2. Установить движки кодового переключателя S4 следующим образом:
S 4.1, S4.3, S4.6, S4.7 в положение «0»;
S 4.2, S4.4, S4.5, S4.8 в положение «1», как показано на рисунке 5.2 [5].
3. Перевести органы управления прибора: тумблер S2 – в верхнее положение («MESS»), а тумблер S3 – в нижнее (для *C_S-137*) или верхнее (для *K-40*) положение.
4. Заполнить измерительную кювету (половину упаковки, в которую вкладывается прибор) чистой в радиационном отношении водой до метки буртика внутри кюветы.
5. Установить прибор на кювету.
6. Включить прибор, для чего перевести тумблер S1 (красного цвета) в верхнее положение («EIN»).
7. После остановки подсчёта импульсов, примерно через 400 секунд, записать полученный результат в строку «*A_ф*» таблицы 5.1.
8. После снятия показания произвести кратковременное выключение и новое включение прибора тумблером S1.
9. Повторить измерение 4 раза. Результаты занести в строку «*A_ф*» таблицы 5.1.
10. Вылить воду и заполнить кювету исследуемым веществом до той же метки. Вновь установить прибор на кювету и повторить измерения 4 раза. Результаты занести в строку «*A_н*» таблицы 5.1.
11. Выключить прибор, для чего перевести тумблер S1 (красного цвета) в нижнее положение («AUS»).

Таблица 5.1 – Результаты измерений прибором РКСБ-104

№ п/п	1	2	3	4
<i>A_ф</i> , Бк/кг				
<i>A_н</i> , Бк/кг				

5.3.1.2 Статистическая обработка полученных результатов

По формуле (1) определяем *Q*-критерий для наибольшего и наименьшего значений каждого ряда измерений (табл. 5.1).

Фон: $Q_{\phi} = \frac{|x_1 - x_2|}{R} = \text{---} = \text{---} - \text{оставляем (отбрасываем)}$
 Ненужное зачеркнуть

Фон: $Q_m = \frac{|x_1 - x_2|}{R} = \text{---} = \text{---} - \text{оставляем (отбрасываем)}$
 Ненужное зачеркнуть

Проба: $Q_{\phi} = \frac{|x_1 - x_2|}{R} = \text{---} = \text{---} - \text{оставляем (отбрасываем)}$
 Ненужное зачеркнуть

Проба: $Q_m = \frac{|x_1 - x_2|}{R} = \text{---} = \text{---} - \text{оставляем (отбрасываем)}$
 Ненужное зачеркнуть

где x_1 – сомнительный результат; x_2 – результат, который ближе всего к x_1 по значению; R – размах варьирования – разность между предельными значениями определяемой величины, т. е. максимальным и минимальным значениями.

По формуле (2) определяем среднее значение для каждого ряда измерений (табл. 5.1).

Фон: $A_{\phi \text{ ср}} = \bar{A}_{\phi} = \frac{\sum A_{\phi i}}{n} = \text{---} = \text{---} \text{ Бк/кг.}$

Проба: $A_{\text{п ср}} = \bar{A}_{\text{п1}} = \frac{\sum A_{\text{п1} i}}{n} = \text{---} = \text{---} \text{ Бк/кг,}$

где $A_{\phi i}$ ($A_{\text{п} i}$) – значимый результат; n – количество значимых результатов.

Рассчитываем величину удельной активности A_m β -излучающих радионуклидов в пробе:

– при содержании в пробе радиоактивного *Cs-137*:

$A_m = 20 \cdot (A_{\text{п ср}} - A_{\phi \text{ ср}}) = \text{---} = \text{---} \text{ Бк/кг;}$

– при содержании в пробе изотопов *K-40*:

$A_m = 5,85 \cdot (A_{\text{п ср}} - A_{\phi \text{ ср}}) = \text{---} = \text{---} \text{ Бк/кг.}$

5.3.2 Прибор РКС-107

5.3.2.1 Измерение прибором

1. Снять заднюю крышку-фильтр.
2. Заполнить измерительную кювету (половину упаковки прибора) чистой в радиационном отношении водой до метки буртика внутри кюветы.
3. Установить прибор на кювету и включить прибор кнопкой «ВКЛ».
4. Нажать кнопку «РЕЖИМ», установить указатель режима работы прибора в положение «Бк/г x10» – нижнее (третье) положение на индикаторе.
5. Нажать кнопку «ПУСК». Через $240 \pm 6,0$ секунд снять отсчёт фонового показания прибора и записать результат в таблицу 5.2 в строку A_{ϕ} .
6. Повторить измерения 4 раза, записать результаты в таблицу 5.2 в строку A_{ϕ} .

7. Выключить прибор и снять его с кюветы.

8. Вылить воду из кюветы, просушить её и заполнить исследуемым веществом до той же метки.

9. Вновь установить прибор на кювету, включить в режим «Бк/г х10», нажатием кнопок «ВКЛ», «РЕЖИМ» – дважды и «ПУСК». Через $240 \pm 6,0$ секунд снять отсчёт показания прибора и записать результат в таблицу 5.2 в строку A_n .

10. Повторить измерения исследуемой пробы 4 раза, записать результаты в таблицу 5.2 в строку A_n .

11. Выключить прибор и снять его с кюветы.

Таблица 5.2 – Результаты измерений прибором РКС-107

№ п/п	1	2	3	4
$A_{\phi}, \text{Бк/г}$				
$A_n, \text{Бк/г}$				

5.3.2.2 Статистическая обработка полученных результатов

По формуле (1) определяем Q-критерий для наибольшего и наименьшего значений каждого ряда измерений (табл. 5.2).

Фон: $Q_{\phi} = \frac{|x_1 - x_2|}{R} = \frac{\quad}{\quad} = \quad$ – оставляем (отбрасываем)
 Ненужное зачеркнуть

Фон: $Q_M = \frac{|x_1 - x_2|}{R} = \frac{\quad}{\quad} = \quad$ – оставляем (отбрасываем)
 Ненужное зачеркнуть

Проба: $Q_{\phi} = \frac{|x_1 - x_2|}{R} = \frac{\quad}{\quad} = \quad$ – оставляем (отбрасываем)
 Ненужное зачеркнуть

Проба: $Q_M = \frac{|x_1 - x_2|}{R} = \frac{\quad}{\quad} = \quad$ – оставляем (отбрасываем)
 Ненужное зачеркнуть

По формуле (2) определяем среднее значение для каждого ряда измерений (табл. 5.2).

Фон: $A_{\phi \text{ ср}} = \bar{A}_{\phi} = \frac{\sum A_{\phi i}}{n} = \frac{\quad}{\quad} = \quad \text{Бк/г.}$

Проба: $A_{\text{п ср}} = \bar{A}_{\text{п1}} = \frac{\sum A_{\text{п1}i}}{n} = \frac{\quad}{\quad} = \quad \text{Бк/г,}$

где $A_{\phi i}$ (A_{ni}) – значимый результат; n – количество значимых результатов.

Рассчитываем величину удельной активности A_m β -излучающих радионуклидов в пробе (при переводе в Бк/кг умножить значение Бк/г на 1000):

– при содержании в пробе радиоактивного Cs-137 :

$A_m = (A_{\text{п ср}} - A_{\phi \text{ ср}}) / 1 = \frac{\quad}{\quad} = \quad \text{Бк/г;}$

$$A_m = A_m [\text{Бк/г}] * 1000 = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{Бк/кг};$$

– при содержании в пробе изотопов *K-40*:

$$A_m = (A_{\text{Пср}} - A_{\text{Фср}}) / 3,42 = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{Бк/г} = \underline{\hspace{2cm}} \text{Бк/кг}.$$

Вывод: при измерении удельной активности радионуклида в пробе были получены следующие результаты:

Прибор РКСБ -104: $A_m = \underline{\hspace{2cm}} \text{Бк/кг} \lessgtr A_{\text{норма}} = \underline{\hspace{2cm}}$, следовательно, данная проба этого продукта – *пригодна (непригодна)* к употреблению (ненужное слово, написанное курсивом зачеркнуть).

Прибор РКС-107: $A_m = \underline{\hspace{2cm}} \text{Бк/кг} \lessgtr A_{\text{норма}} = \underline{\hspace{2cm}}$, следовательно, данная проба этого продукта – *пригодна (непригодна)* к употреблению (ненужное слово, написанное курсивом зачеркнуть).

Несовпадение показаний приборов обуславливается погрешностью измерения и погрешностью приборов.

Лабораторная работа 6

Определение активности радионуклидов в объектах окружающей среды гамма-радиометром РУГ-91М1 «ADANI»

Цель работы: измерить удельную активность γ -излучающих радионуклидов *Калия-40, Радия-226, Тория-232, Цезия-137* в пробах окружающей среды и определить допустимость их использования. Определить удельную эффективную активность строительных материалов.

6.1 Теоретическая часть

Активность – количество распадающихся за определённое время ядер.

Единицей измерения активности в радиоактивном источнике в системе СИ является (*Бк*), соответствует одному распаду в секунду для любого радионуклида. Внесистемная единица измерения – *Кюри (Ки)*.

Удельная активность – это отношение активности радионуклида, содержащегося в пробе, к массе этой пробы: $A_m = \frac{A}{m}$. Единицы удельной активности: 1 *Бк/кг* или 1 *Ки/кг*.

Объёмная активность – это отношение активности радионуклида, содержащегося в образце, к объёму образца: $A_v = \frac{A}{V}$. Единицы удельной активности: 1 *Бк/л* или 1 *Ки/л*.

Для регистрации излучений применяют особые устройства – *детекторы*, в которых под воздействием излучения происходит ионизация вещества детектора и образуются заряженные частицы, которые создают электрическое поле,

по напряжению электрического поля определяют энергию излучения, а по числу импульсов, прошедших через детектор, – число распадов (импульсов). Приборы, в которых используется такой принцип измерения радиоактивности, называются *радиометрами*. Для того, чтобы ослабить влияние радиационного фона, детекторы в радиометрах помещают в специальные свинцовые экраны.

Активность радионуклидов цезия определяется по γ -излучению, а стронция – β -излучению. Для измерения используются различные типы приборов – гамма-радиометры и бета-радиометры.

Исходные данные:

6.2 Ход работы

6.2.1 Характеристика прибора

Гамма-радиометр **РУГ-91М1 «ADANI»** предназначен для измерения удельной и объёмной активности гамма-излучающих радионуклидов *Цезия-134,-137*, природного *Калия-40*, а также *Радия-226* и *Тория-232* в пробах природной среды.

6.2.1.1 Технические данные

1. Пределы допустимой основной погрешности измерения объёмной активности радионуклида калий-40 при времени измерения 20 мин (0,2–50,0 *кБк/л*) – 50 %; 2 мин (0,5–50,0 *кБк/л*) – 50 %.

2. Пределы допускаемой дополнительной погрешности при измерении температуры 1%/1 °С, при измерении внешнего фона гамма-излучения до 50 *мкР/ч* – 25 %.

3. Время непрерывной работы – не менее часа.

4. Объём пробы – 0,5 *л*.

6.2.1.2 Подготовка прибора к работе

Подсоединить сетевой шнур к сети 220 В и нажать кнопку СЕТЬ. Звуковой сигнал и индикация «0» во всех разрядах табло означает готовность к работе.

6.2.2 Измерение прибором РУГ-91М1 «ADANI»

6.2.2.1 Измерение ФОНА

Измерение фона производится пустым сосудом Маринелли. Нажать кнопки **Фон (Background)** и _____ *мин* и снова **фон (Background)**. По оконча-

нии измерения записать значение фона суммарной эффективной активности пробы, которое высветилось на табло, в таблицу 6.1.

6.2.2.2 Измерение активности проб

1. Установить кювету с исследуемой пробой 1 внутрь свинцового экрана, закрыть крышку, нажать кнопку «Reset» («Сброс»).

2. Нажать кнопку **On**, затем последовательным нажатием кнопок «+» или «←» (**Tare⁺** или **Mass⁻**) ввести массу пустой кюветы (**90g**) и снова нажать кнопку **On**.

3. Кнопками «+» или «←» (**Tare⁺** или **Mass⁻**) ввести массу пробы № 1 кг. Нажать кнопку **On**.

4. Установить время измерения кнопками времени (**time**) и нажать кнопку **On** – начался отсчёт.

5. По окончании измерения снять показания суммарной удельной эффективной активности пробы $\Sigma A_{тэфф}$ и погрешности её измерения. Последовательно нажать кнопки **Cs-137**, **K-40**, **Ra-226**, **Th-232** и записать значения удельной массовой активности этих радионуклидов в таблицу 6.1 а – для строительных материалов или 6.1 б – для продуктов.

6. Нажать кнопки «Reset» и трижды «On» и повторить пункты 4–5 два раза, а результаты измерений занести в таблицу 6.1 а или 6.1 б.

7. По окончании измерений вынуть кювету из свинцового домика.

8. Повторить пп.1–7 для пробы № 2(3) и выключить прибор тумблером «Сеть» на задней панели прибора.

9. Рассчитать среднее значение всех измерений для каждой из проб.

Таблица 6.1 а – Результаты измерений (для строительных материалов)

Объект исследования	Показание прибора A_m , Бк/кг ± погрешность					
	Время изм.	$\Sigma A_{тэфф}$	Cs-137	K-40	Ra-226	Th-232
Фон			-	-	--	--
Проба № 1	изм.1					
	изм.2					
	изм.3					
среднее						
Про-ба № 2	изм.1					
	изм.2					
	изм.3					
среднее						
Про-ба № 3	изм.1					
	изм.2					
	изм.3					
среднее						

Таблица 6.1 б – Результаты измерений (для продуктов)

Объект исследования	Показание прибора $A_m, \text{Бк/кг} \pm \text{погрешность}$						Удельная активность $A_v, \text{Бк/л} \pm \text{погрешность}$				
	Время изм.	$\Sigma A_{mэфф}$	Cs-137	K-40	Ra-226	Th-232	$\Sigma A_{vэфф}$	Cs-137	K-40	Ra-226	Th-232
Фон			-	-	-	-		-	-	-	-
Проба1 изм.1											
изм.2											
изм.3											
среднее											
Проба2 изм.1											
изм.2											
изм.3											
среднее											
Проба3 изм.1											
изм.2											
изм.3											
среднее											

6.3 Обработка результатов измерений

6.3.1 Определение удельной эффективной активности ($A_{mэфф}$) строительных материалов

$$\begin{aligned} \text{Проба № 1: } A_{mэфф} &= A_{Ra} + 1,31 \cdot A_{Th} + 0,085 \cdot A_K + 0,22 \cdot A_{Cs} = \\ &= \underline{\hspace{10em}} \text{ Бк/кг;} \\ \text{Проба № 2: } A_{mэфф} &= A_{Ra} + 1,31 \cdot A_{Th} + 0,085 \cdot A_K + 0,22 \cdot A_{Cs} = \\ &= \underline{\hspace{10em}} \text{ Бк/кг;} \\ \text{Проба № 3: } A_{mэфф} &= A_{Ra} + 1,31 \cdot A_{Th} + 0,085 \cdot A_K + 0,22 \cdot A_{Cs} = \\ &= \underline{\hspace{10em}} \text{ Бк/кг,} \end{aligned}$$

где A_{Ra} – удельная активность радия-226, A_{Th} – удельная активность тория-232, A_K – удельная активность калия-40, A_{Cs} – удельная активность цезия-137.

При сравнении расчётных значений с измеренными установлено, что расчётные значения примерно *совпадают (не совпадают)* с измеренным, следовательно, измерения *проведены верно (не верно или неисправен прибор)* (ненужное, написанное курсивом, зачеркнуть).

6.3.2 Расчёт удельной объёмной активности (только для продуктовых проб)

$$\begin{aligned} \text{Плотность пробы № 1} & \underline{\hspace{10em}} \text{ кг/л.} \\ \text{Удельная объёмная активность пробы №1: } A_v &= A_m \rho = \\ &= \underline{\hspace{10em}} \text{ Бк/л.} \end{aligned}$$

$$\text{Плотность пробы № 2} \underline{\hspace{10em}} \text{ кг/л.}$$

Удельная объёмная активность пробы № 2: $A_v = A_m \rho =$
= _____ Бк/л.

Плотность пробы № 3 _____ кг/л.

Удельная объёмная активность пробы №3: $A_v = A_m \rho =$
= _____ Бк/л.

Вывод (для стройматериалов):

1. В пробе № 1 значения: $A_{mRa} =$ _____ Бк/кг *совпадают (меньше, больше)* со значениями, характерными для Ra в Республике Беларусь $A_{mRa\text{табл.}} =$ _____ Бк/кг.

$A_{mTh} =$ _____ Бк/кг *совпадают (меньше, больше)* со значениями, характерными для Th в Республике Беларусь $A_{mTh\text{табл.}} =$ _____ Бк/кг.

2. В пробе № 2 значения: $A_{mRa} =$ _____ Бк/кг *совпадают (меньше, больше)* со значениями, характерными для Ra в Республике Беларусь $A_{mRa\text{табл.}} =$ _____ Бк/кг.

$A_{mTh} =$ _____ Бк/кг *совпадают (меньше, больше)* со значениями, характерными для Th в Республике Беларусь $A_{mTh\text{табл.}} =$ _____ Бк/кг.

3. В пробе № 3 значения: $A_{mRa} =$ _____ Бк/кг *совпадают (меньше, больше)* со значениями, характерными для Ra в Республике Беларусь $A_{mRa\text{табл.}} =$ _____ Бк/кг.

$A_{mTh} =$ _____ Бк/кг *совпадают (меньше, больше)* со значениями, характерными для Th в Республике Беларусь $A_{mTh\text{табл.}} =$ _____ Бк/кг.

4. Суммарная эффективная удельная активность пробы № 1

$A_{m\text{эфф}} =$ _____ Бк/кг $<(>)$ _____ Бк/кг \Rightarrow согласно таблице 6.5 [5] определяем, что данный материал относится к _____ классу.

5. Суммарная эффективная удельная активность пробы № 2

$A_{m\text{эфф}} =$ _____ Бк/кг $<(>)$ _____ Бк/кг \Rightarrow согласно таблице 6.5 [5] определяем, что данный материал относится к _____ классу.

6. Суммарная эффективная удельная активность пробы № 3

$A_{m\text{эфф}} =$ _____ Бк/кг $<(>)$ _____ Бк/кг \Rightarrow согласно таблице 6.5 [5] определяем, что данный материал относится к _____ классу.

7. Суммарная эффективная удельная активность пробы № _____ $A_{m\text{эфф}} =$
= _____ Бк/кг \diamond пробы № _____ $A_{m\text{эфф}} =$ _____ Бк/кг \diamond № _____ $A_{m\text{эфф}} =$ _____ Бк/кг.

(ненужный знак зачеркнуть).

Вывод (для продуктовых проб):

1. Значения удельной активности цезия ($Cs-137$) в пробах:

Проба № 1: $A_{mCs} =$ _____ Бк/кг \diamond $A_{m\text{норма}} =$ _____ Бк/кг (нормативное значение (ненужный знак зачеркнуть)).

согласно РДУ-99) \Rightarrow проба *пригодна (не пригодна)* к употреблению.

Проба № 2: $A_{mCs} =$ _____ Бк/кг \diamond $A_{m\text{норма}} =$ _____ Бк/кг (нормативное значение (ненужный знак зачеркнуть)).

согласно РДУ-99) \Rightarrow проба *пригодна (не пригодна)* к употреблению.

Проба № 3: $A_{mCs} =$ _____ Бк/кг \diamond $A_{m\text{норма}} =$ _____ Бк/кг (нормативное значение (ненужный знак зачеркнуть)).

согласно РДУ-99) \Rightarrow проба *пригодна (не пригодна)* к употреблению.

2. Суммарная эффективная удельная активность пробы № _____ $A_{тэфф} =$
 $= \frac{\text{Бк/кг}}{A_{тэфф}} > \text{или} < \text{пробы №} \frac{\text{Бк/кг}}{A_{тэфф}} = \frac{\text{Бк/кг}}{A_{тэфф}} > \text{или} < \text{№} \frac{\text{Бк/кг}}{A_{тэфф}}$
 (ненужный знак зачеркнуть). (ненужный знак зачеркнуть).
 $A_{тэфф} = \frac{\text{Бк/кг}}{A_{тэфф}}$

Лабораторная работа 7

Определение мощности экспозиционной и эквивалентной доз прибором РД-1503 «Радекс»

Цель работы: изучить характеристики дозиметрического прибора РД-1503 «Радекс», а также научиться с его помощью измерять мощность экспозиционной дозы и мощность полевой эквивалентной дозы.

7.1 Теоретическая часть

Мощность экспозиционной дозы – это отношение приращения экспозиционной дозы за интервал времени к этому интервалу времени:

$$\dot{D}_{\text{экс}} = \frac{dD_{\text{экс}}}{dt}. \quad (7.1)$$

Мощность экспозиционной дозы обычно выражается во внесистемных единицах – $R/ч$ (рентген в час), $mR/ч$ (миллирентген в час), $\mu R/ч$ (микрорентген в час). $1 R/ч = 10^3 mR/ч = 10^6 \mu R/ч$; $1 mR/ч = 10^3 \mu R/ч$.

Системной единицей мощности экспозиционной дозы является $1 A/кг$ (ампер на килограмм). $1 A/кг = 1,08 \cdot 10^7 R/ч = 1,08 \cdot 10^{13} \mu R/ч$.

Мощность полевой эквивалентной дозы – это отношение полевой эквивалентной дозы γ -излучения за определённый интервал времени к этому интервалу времени:

$$\dot{D}_{\text{экр}} = \frac{dD_{\text{экр}}}{dt}. \quad (7.2)$$

Мощность полевой эквивалентной дозы измеряется в $Zв/час$, $mZв/час$, $\mu Zв/час$, $BЭР/час$.

Подробнее теория изложена в лабораторных работах 1 и 2.

Исходные данные:

Точка № _____

7.2 Характеристики прибора

Прибор РД-1503 «Радекс» – предназначен для оценки уровня радиации на местности, в помещениях и для оценки радиоактивного загрязнения материалов и продуктов. Он обеспечивает возможность измерения радиационной обстановки:

- по величине мощности эквивалентной дозы;
- по величине мощности экспозиционной дозы.

7.2.1 Технические характеристики

- Диапазон измерений:
 - мощности эквивалентной дозы – 0,05–9,99 мкЗв/ч;
 - мощности экспозиционной дозы – 5–999 мкР/ч;
 - энергии регистрируемого гамма-излучения – 0,1–1,25 МэВ.
- Время измерения – 40±0,5 с.

7.2.2 Состав прибора

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

7.2.3 Дисплей прибора

1. Пиктограмма состояния элемента питания.
2. Размерность.
3. Пиктограмма порога звукового сигнала.
4. Пиктограмма настройки звонка.
5. Пиктограмма настройки подсветки.
6. Функция кнопки «ВЫКЛ».
7. Результат наблюдений.
8. Функция кнопки «КУРСОР».
9. Функция кнопки «МЕНЮ».
10. Пиктограмма отображает количество выполненных циклов измерений.
11. Индикация зарегистрированной частицы.

7.3 Измерение мощности экспозиционной дозы гамма-излучения

7.3.1 Подготовка прибора и измерение

1. Вставить батареи.
2. Нажать большую кнопку (4 на рисунке 7.1 [5]), после чего на дисплее (1 на рисунке 7.1 [5]) начинается оценка радиационной обстановки.
3. Для изменения размерности нажать кнопку «МЕНЮ» (2 на рисунке 7.1 [5]).
4. Для перемещения курсора по пунктам меню использовать кнопку «КУРСОР» (3 на рисунке 7.1 [5]) – установить курсор на надпись «РАЗМЕРНОСТЬ» и нажать кнопку «ВЫБОР».
5. Выбрать единицу измерения с помощью кнопки «КУРСОР» – «мкР/ч».
6. Для возврата в главное меню нажать кнопку «ВОЗВ».
7. Результат наблюдения (мощность дозы) появляется на дисплее через 10 секунд. Полученных 8 результатов записать в таблицу 7.1.
8. Выключить прибор. Для чего нажать кнопку «ВЫКЛ» (4 на рисунке 7.1 [5]) и удерживать её до исчезновения сообщений с дисплея.

Таблица 7.1 – Результаты измерений мощности экспозиционной дозы

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8
Мощность эксп.дозы, мкР/ч								

7.3.2 Статистическая обработка результатов

7.3.2.1 Оценка значимости результатов

По формуле (1) определяем Q -критерий для наибольшего и наименьшего значений, полученных по прибору.

$$\text{«Радекс»}: Q_6 = \frac{|x_1 - x_2|}{R} = \frac{\quad}{\quad} = \quad \text{–оставляем (отбрасываем)}$$

Ненужное зачеркнуть

$$\text{«Радекс»}: Q_m = \frac{|x_1 - x_2|}{R} = \frac{\quad}{\quad} = \quad \text{–оставляем (отбрасываем)}$$

Ненужное зачеркнуть

где x_1 – сомнительный результат (наименьший и (или) наибольший из всех измеренных); x_2 – результат, который ближе всего к x_1 по значению; R – размах варьирования – разность между предельными значениями определяемой величины, т. е. максимальным и минимальным значениями.

7.3.2.2 Определение среднего значения

По формуле (2) определяем среднее значение измерений для прибора

$$\text{«Радекс»}: \bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{\quad}{\quad} = \quad,$$

где x_i – каждый значимый результат; n – количество значимых результатов.

7.3.2.3 Определение среднеквадратичного отклонения

По формуле (3) определяем среднеквадратичное отклонение для прибора

$$\text{«Радекс»}: S = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = \text{-----}$$

$$\text{-----} = \text{-----},$$

где x_i – каждое измеренное значение; \bar{x} – среднее значение.

7.3.2.4 Определение доверительного интервала

По формуле (7) определяем доверительный интервал для измеренных значений прибора «Радекс»: $\mu_1 = \bar{x} \pm \frac{t \cdot S}{\sqrt{n}} = \text{-----}$

$$\text{-----} = \text{-----}.$$

где t – коэффициент нормированных отклонений; S – стандартное отклонение; n – число измерений.

7.3.2.5 Определение погрешности измерений

По формуле (8) определяем погрешность измерений для прибора «Радекс»: $\Delta_1 = \frac{t \cdot S}{\bar{x} \cdot \sqrt{n}} \cdot 100\% = \text{-----} = \text{-----}.$

7.4 Измерение мощности полевой эквивалентной дозы

7.4.1 Подготовка прибора и измерение

1. Нажать большую кнопку (4 на рисунке 7.1 [5]), после чего на дисплее (1 на рисунке 7.1 [5]) начинается оценка радиационной обстановки.
2. Для изменения размерности нажать кнопку «МЕНЮ» (2 на рисунке 7.1 [5]).
3. Для перемещения курсора по пунктам меню использовать кнопку «КУРСОР» (3 на рисунке 7.1 [5]) – установить курсор на надпись «РАЗМЕРНОСТЬ» и нажать кнопку «ВЫБОР».
4. Выбрать единицу измерения с помощью кнопки «КУРСОР» – «мкЗв/ч».
5. Для возврата в главное меню нажать кнопку «ВОЗВ».
6. Результат наблюдения (мощность эквивалентной дозы) появляется на дисплее через 10 секунд.
7. Полученных 8 результатов записать в таблицу 7.2.
8. Выключить прибор. Для чего нажать кнопку «ВЫКЛ» (4 на рисунке 7.1 [5]) и удерживать её до исчезновения сообщений с дисплея.

Таблица 7.2 – Результаты измерений мощности полевой эквивалентной дозы

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8
Мощность экв.дозы, мкЗв/ч								

7.4.2 Статистическая обработка результатов

7.4.2.1 Оценка значимости результатов

По формуле (1) определяем Q -критерий для наибольшего и наименьшего значений, полученных по прибору.

«Радекс»: $Q_6 = \frac{|x_1 - x_2|}{R} = \text{---} = \text{---} - \text{оставляем (отбрасываем)}$

Ненужное зачеркнуть

«Радекс»: $Q_M = \frac{|x_1 - x_2|}{R} = \text{---} = \text{---} - \text{оставляем (отбрасываем)}$

Ненужное зачеркнуть

где x_1 – сомнительный результат (наименьший и (или) наибольший из всех измеренных); x_2 – результат, который ближе всего к x_1 по значению; R – размах варьирования – разность между предельными значениями определяемой величины, т. е. максимальным и минимальным значениями.

7.4.2.2 Определение среднего значения

По формуле (2) определяем среднее значение измерений для прибора
«Радекс»: $\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = \text{---} = \text{---}$.

где x_i – каждый значимый результат; n – количество значимых результатов.

7.4.2.3 Определение среднеквадратичного отклонения

По формуле (3) определяем среднеквадратичное отклонение для прибора

«Радекс»: $S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = \text{---}$

$\text{---} = \text{---}$,

где x_i – измеренное значение; \bar{x} – среднее значение; n – число измерений.

7.4.2.4 Определение доверительного интервала

По формуле (7) определяем доверительный интервал для измеренных значений прибора «Радекс»: $\mu_1 = \bar{x} \pm \frac{t \cdot S}{\sqrt{n}} = \text{---} = \text{---}$

7.4.2.5 Определение погрешности измерений

По формуле (8) определяем погрешность измерений для каждого из прибора «Радекс»: $\Delta_1 = \frac{t \cdot S}{\bar{x} \cdot \sqrt{n}} \cdot 100\% = \text{---} = \text{---}$.

Вывод: при измерении прибором РД-1503 «Радекс» в установленной точке № _____ (_____) получены следующие результаты:

1. Мощности экспозиционной дозы (фона)

$$\mu_1 = \text{---} \pm \text{---} (\Delta_1 = \text{---} \%).$$

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что измеренные значения *не превышают (превышают)* естественное фоновое значение мощности экспозиционной дозы для Беларуси (10–20 мкР/ч) (ненужное слово, написанное курсивом, зачеркнуть).

2. Мощности полевой эквивалентной дозы

$$\mu_2 = \text{---} \pm \text{---} (\Delta_2 = \text{---} \%).$$

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что измеренные значения *не превышают (превышают)* естественное фоновое значение мощности полевой эквивалентной дозы для Беларуси (0,10–0,20 мкЗв/ч) (ненужное слово, написанное курсивом, зачеркнуть).

Лабораторная работа 8

Определение средней длины пробега альфа-частиц в воздухе

Цель работы: изучить характеристики дозиметрического прибора МКС-АТ1117М, научиться с его помощью измерять плотность потока и длину пробега альфа-частиц в воздухе.

8.1 Теоретическая часть

Радиация – излучение (от radiare – испускать лучи) – распространение энергии в форме волн или частиц.

Радиоактивное превращение атомного ядра, сопровождающееся вылетом из него альфа-частицы, называют альфа-распадом. Альфа-частицы представляют собой ядра атомов гелия. Зарядовое число Z распадающегося ядра A_ZX при альфа-распаде уменьшается на две единицы, массовое число A – на четыре единицы. Из ядра вылетает альфа-частица (два протона и два нейтрона). В результате аварии на Чернобыльской АЭС в природной среде на значительных территориях рассеяны искусственные долгоживущие альфа-излучатели Pu-238, Pu-239, Pu-240, Pu-241, а также выброшенные при взрыве природные радионуклиды U-235, U-238 и альфа-активные члены их радиоактивных семейств.

Альфа-частицы обладают высокой ионизирующей способностью и наименьшей проникающей способностью. Проходя через вещество, альфа-частицы расходуют свою энергию на ионизацию, возбуждение атомов и молекул, диссоциацию молекул и тормозятся. Длина пробега альфа-частицы зависит от её энергии и природы поглотителя. Например, альфа-частица с энергией 6 МэВ пробегает в стекле – 40 мкм, в алюминии – 28,8 мкм, в биологической ткани – 46,8 мкм, в воздухе при нормальных условиях – 4,37 см. Максимальный пробег альфа-частиц с энергией 10 МэВ составляет более 10,2 см. В воздухе длина пробега альфа-частиц существенно зависит от его давления и температуры. В воздухе при нормальных условиях среднюю длину пробега альфа-частиц с энергией 3,0–7,0 МэВ можно найти по эмпирической формуле:

$$R_{\alpha} = 0,318 \cdot E_{\alpha}^{2/3}, \quad (8.1)$$

где R_{α} – средняя длина пробега альфа-частицы, см; E_{α} – энергия альфа-частицы, МэВ.

Поток ионизирующих частиц – отношение числа ионизирующих частиц dN , проходящих через данную поверхность за интервал времени dt , к этому интервалу:

$$F = dN/dt. \quad (8.2)$$

Плотность потока ионизирующих частиц (γ -квантов) выражается числом частиц (γ -квантов) в единицу времени (dF), падающих на единицу поверхности, перпендикулярной потоку частиц (dS):

$$\varphi = \frac{dF}{dS} = \frac{d^2N}{dtdS}. \quad (8.3)$$

Единицы измерения плотности потока: $\frac{1}{\text{см}^2 \cdot \text{мин}}$, $\frac{1}{\text{см}^2 \cdot \text{с}}$.

Исходные данные:

Образец № 1: _____

8.2 Ход работы

8.2.1 Краткая характеристика прибора

Дозиметр-радиометр МКС-АТ1117М предназначен для измерения:

- экспозиционной дозы и мощности экспозиционной дозы рентгеновского и гамма-излучения;
- плотности потока альфа-частиц ^{239}Pu ;
- плотности потока бета-частиц;

- поверхностной активности ^{239}Pu и $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$;
- оперативного поиска источников ионизирующих излучений и радиоактивных материалов.

Дозиметр-радиометр МКС-АТ1117М состоит из блока обработки информации (БОИ) и блока детектирования (БД) БДПС-02. В блоке детектирования БДПС-02 используются газоразрядные счётчики. Алгоритм работы обеспечивает непрерывность процесса измерения, вычисление «скользящих» средних значений и оперативное представление получаемой информации на табло, быструю адаптацию к изменению уровней радиации.

Конструктивно прибор выполнен в виде отдельных функционально законченных БД и БОИ.

8.2.2 Порядок проведения измерений

8.2.2.1 Подготовка прибора к работе

1. Проверить состояние соединений блока обработки информации (БОИ) с блоком детектирования БДПА-01.

2. Подключить прибор к электрической сети переменного тока напряжением 220 В. На передней панели БОИ появится индикация «ЗАРЯД».

3. Включить прибор (кнопка «ПУСК»). Прибор переходит в режим самоконтроля и на табло индицируется тестовое изображение. После завершения самоконтроля на табло индицируется режим «1» и прибор переходит в режим измерения плотности потока альфа-частиц. При обнаружении ошибки в ходе тестирования прибор выдает прерывистый звуковой сигнал, а на табло индикатора – мигающее сообщение «Err ХХ» и дальнейшая работа с прибором невозможна.

4. Для перехода из режима «1» в другие режимы в течение 5–10 с удерживайте нажатой кнопку «ПАМЯТЬ. РЕЖИМ», на табло появится индикация «2», отпустите кнопку и индикация «2» исчезнет, прибор будет работать в этом режиме.

5. Для возвращения из любого режима в «1» в течение 5–10 с удерживайте нажатой кнопку «ПАМЯТЬ. РЕЖИМ», появится индикация «1», отпустите кнопку и прибор будет работать в «1» режиме.

6. Измерение плотности потока альфа-излучения производить только с вычитанием фона. При включении прибора на табло индицируется значение фона, единица измерения плотности потока ($\text{min}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$) и значение статистической погрешности.

8.2.2.2 Измерение прибором

1. Измерить фон, для чего нажать кнопку «ПУСК» и в течение 10–15 мин провести измерения. При достижении статистической погрешности, равной 20 %, завершить набор фона. Занести полученные значения в память прибора, для чего выполнить одно из следующих действий:

– удерживать нажатой в течение 1–2 с кнопку «ПУСК» – при этом измерение останавливается и на табло перед значащими цифрами появляется индикация «█»;

– нажать кнопку «ПАМЯТЬ. РЕЖИМ» – запоминается значение фона.

2. Перейти в режим измерения с вычитанием фона. Для этого в течение 1–2 с удерживать нажатой кнопку «ПУСК», после чего появится мигающая индикация «█» – начинается процесс измерения.

3. Для измерения плотности потока альфа-частиц установите источник альфа-излучения вплотную к входному окну БДПА, нажмите кнопку «ПУСК» и при достижении статистической погрешности, равной 20 %, записать результат, высветившийся на табло, в таблицу 8.1.

4. Повторить измерения 4 раза, увеличивая с шагом 1–1,5 см расстояние l между источником и блоком детектирования до 9–10 см. Результаты записать в таблицу 8.1.

5. После проведения измерений выключите прибор. Выключение осуществляется быстрым трехкратным нажатием кнопки «ПУСК». При этом на табло появляется сообщение «OFF» и через 1–2 с прибор выключается.

Таблица 8.1 – Результаты измерений

№ п/п	$l, \text{см}$	$\varphi, I/(\text{мин} \cdot \text{см}^2)$	$\varepsilon, \%$	$R_{\text{сред}}, \text{см}$	$R_{\text{макс}}, \text{см}$	$R_{\text{табл}}, \text{см}$	$E\alpha_{\text{табл}}, \text{МэВ}$	$E\alpha, \text{МэВ}$
1								
2								
3								
4								
5								

8.3 Статистическая обработка результатов

8.3.1 Построение графика поглощения альфа-частиц в воздухе

1. Исходя из экспериментальных данных постройте зависимость поглощения альфа-частиц в воздухе $\varphi=f(l)$. Определите из графика среднюю и максимальную длину пробега альфа-частиц в воздухе.

2. Из формулы (8.1) найдите среднюю энергию $E\alpha$ регистрируемых альфа-частиц и запишите значение в последний столбец таблицы 8.1. Сравните полученные значения $E\alpha$ с табличными значениями энергии альфа-частиц, испускаемых источником.

Вывод: При измерении плотности потока альфа-излучения у образца № _____ (_____) средний пробег альфа-частиц в воздухе составляет _____ см.

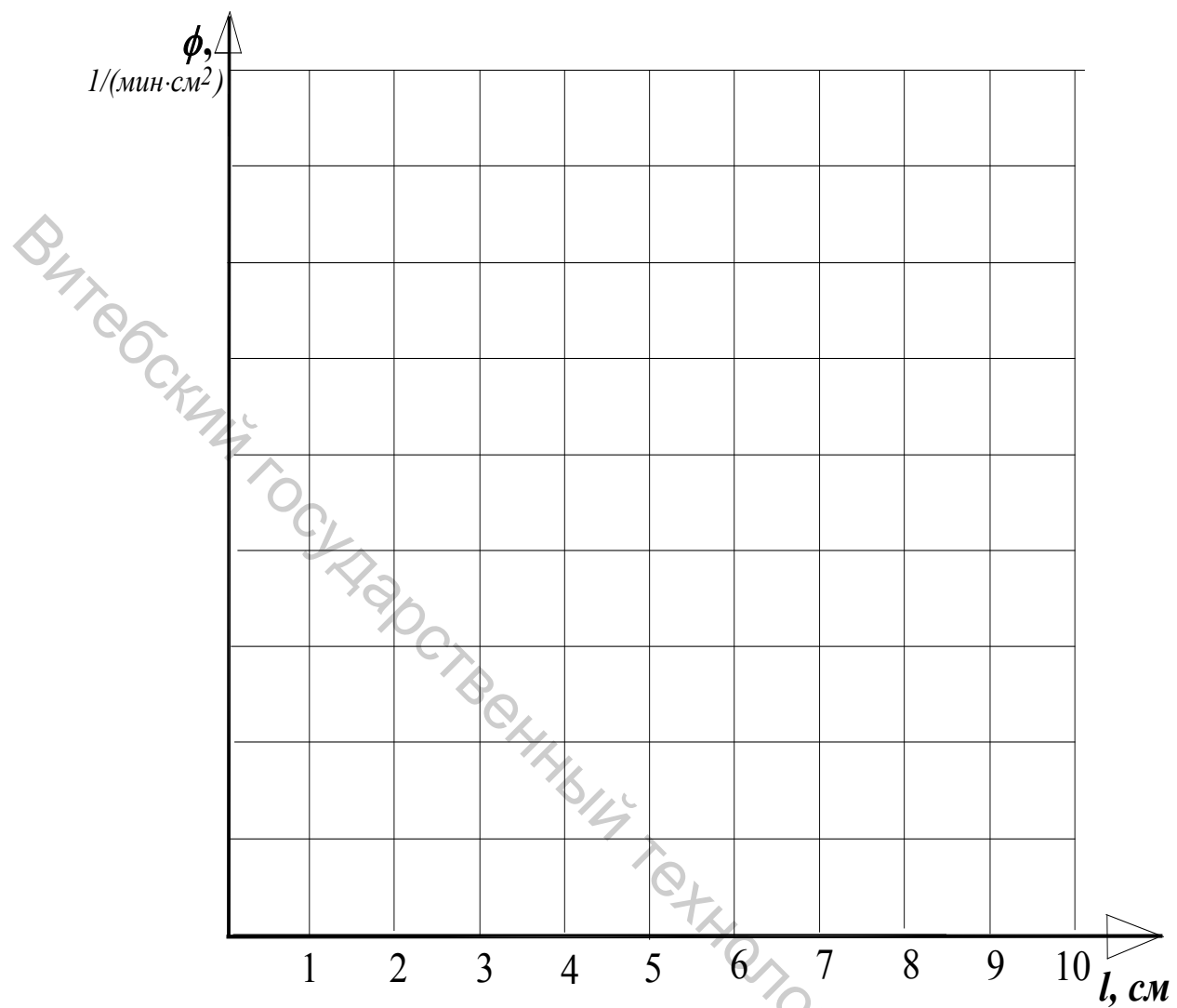


Рисунок 8.1 – Зависимость $\phi=f(l)$

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Дорожко, С. В. Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях. Радиационная безопасность : учеб. пособие. В 3 ч. Ч. 3 : Радиационная безопасность / С. В. Дорожко, В. П. Бубнов, В. Т. Пустовит. – Минск : Технопринт, 2003. – 208 с.
2. Защита населения и объектов от чрезвычайных ситуаций : практикум для студ. техн. спец. / В. Е. Савенок, А. А. Трутнёв. – Витебск : УО «ВГТУ», 2010. – 96 с.
3. Защита населения и объектов от чрезвычайных ситуаций : практикум для студ. экономических спец. / В. Е. Савенок, А. А. Трутнёв. – Витебск : УО «ВГТУ», 2014. – 103 с.
4. Ковчур, С. Г. Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях. Радиационная безопасность : пособие / С. Г. Ковчур, В. Н. Потоцкий, А. А. Трутнёв. – Витебск : УО «ВГТУ», 2006. – 131 с.
5. Козлов, В. Ф. Справочник по радиационной безопасности / В. Ф. Козлов. – Минск : Энергоатомиздат, 1991. – 352 с.
6. Радиационная безопасность : лабораторный практикум для студ. техн. спец. / С. Г. Ковчур, В. В. Ушаков, А. А. Трутнёв. – Витебск : УО «ВГТУ», 2006. – 66 с.
7. Радиоактивные загрязнения и их измерение : учебное пособие / М. Т. Максимов, Г. О. Оджагов. – Москва : Энергоатомиздат, 1989. – 304 с.
8. Савенок, В. Е. Радиационная экология / В. Е. Савенок. – Витебск: УО «ВГУ имени П.М. Машерова», 2007. – 176 с.
9. Типовая учебная программа / сост. В. Е. Гурский [и др.] / Безопасность жизнедеятельности человека. Рег. № ТД-ОН-005/тип. – Минск : ГУО «РИВШ», 2013. – 20 с.
10. Радиационная безопасность: рабочая тетрадь для лабораторных работ для студентов технологических специальностей дневной формы обучения / В. Е. Савенок. – Витебск : УО «ВГТУ», 2017. – 48 с.

Учебное издание

Радиационная безопасность

Рабочая тетрадь

Составитель:

Савенок Владимир Евгеньевич

Редактор *Т.А. Осипова*

Корректор *Т.А. Осипова*

Компьютерная верстка *В.Е. Савенок*

Подписано к печати 07.05.2020. Формат $60 \times 90 \frac{1}{8}$. Усл. печ. листов 6,4.
Уч.-изд. листов 4,0. Тираж 215 экз. Заказ № 131.

Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет»
210038, г. Витебск, Московский пр., 72.

Отпечатано на ризографе учреждения образования

«Витебский государственный технологический университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/172 от 12 февраля 2014 г.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 3/1497 от 30 мая 2017 г.