

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Учреждение образования  
Витебский государственный технологический университет

**ЗАЩИТА НАСЕЛЕНИЯ И ОБЪЕКТОВ ОТ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ  
СИТУАЦИЙ. РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

Лабораторный практикум  
для студентов специальностей:

6-05-0713-04 «Автоматизация технологических процессов и производств»,  
6-05-0714-02 «Технология машиностроения,  
металлорежущие станки и инструменты»,  
7-07-0712-02 «Теплоэнергетика и теплотехника»,  
6-05-0716-01 «Метрология, стандартизация и контроль качества»  
дневная форма обучения

Витебск  
2025

УДК 658.345:574

Составители:

А. В. Гречаников, И. А. Тимонов

Одобрено кафедрой «Экология и химические технологии»  
УО «ВГТУ», протокол № 8 от 21.01.2025.

Рекомендовано к опубликованию редакционно-издательским советом  
УО «ВГТУ», протокол № 5 от 29.01.2025.

**Защита населения и объектов от чрезвычайных ситуаций. Радиационная безопасность:** лабораторный практикум / сост. А. В. Гречаников, И. А. Тимонов – Витебск : УО «ВГТУ», 2025. – 87 с.

Практикум содержит методику статистической обработки результатов, необходимый теоретический материал по теме каждой лабораторной работы, задания для лабораторных работ и алгоритмы их выполнения

УДК 658.345:574

© УО «ВГТУ», 2025

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1. ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ ПРИ ВЗРЫВАХ ЯДЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ.....	5
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2. ОЦЕНКА ХИМИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ НА ХИМИЧЕСКИ ОПАСНЫХ ОБЪЕКТАХ МЕТОДОМ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ	13
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3. ОЦЕНКА ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЫ ПЕРСОНАЛА ОБЪЕКТОВ ЭКОНОМИКИ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ .....	23
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4. ОЦЕНКА ПОЖАРНОЙ ОБСТАНОВКИ.....	31
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5. ИССЛЕДОВАНИЕ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ.....	41
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 6. ДОЗИМЕТРИЯ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ.....	51
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ БЕТА-АКТИВНОСТИ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ МЕТОДОМ РАДИОМЕТРИИ .....	60
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ БЕТА-АКТИВНОСТИ ИСТОЧНИКА ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ.....	68
ЛИТЕРАТУРА .....	75
Приложение А. Статистическая обработка данных.....	76
Приложение Б. Республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов .....	80
Приложение В. Таблица Менделеева.....	83
Приложение Г. Допустимые уровни радиоактивного загрязнения рабочих поверхностей, частиц/см <sup>2</sup> ·мин (гн № 213).....	84
Приложение Д. Периоды полураспада, вид радиоактивного распада и энергия излучения радионуклидов, индуцированных космическим излучением.....	85
Приложение Е. Периоды полураспада, вид радиоактивного распада и энергия излучения основных радионуклидов аварийного чернобыльского выброса в 1986 г.....	86

## ВВЕДЕНИЕ

Курс «Защита населения и объектов от чрезвычайных ситуаций. Радиационная безопасность» – научно-практическая учебная дисциплина, содержащая вопросы защиты населения и территорий Республики Беларусь от чрезвычайных ситуаций.

На современном этапе развития человеческого общества наблюдается рост количества опасных природных процессов и явлений, увеличивается количество техногенных аварий и катастроф, загрязняется среда обитания, появляются новые виды инфекционных заболеваний. Не устранена опасность военных конфликтов. Все это создает предпосылки для чрезвычайных ситуаций. Масштабы ущерба от них могут представлять угрозу национальной безопасности страны. В этих условиях стоит проблема выживания каждого человека, нации, человечества в чрезвычайных ситуациях. Каждый гражданин, прежде всего, сам должен уметь выживать в чрезвычайных ситуациях, спасать материальные ценности.

Современные радиационные технологии как результат расширения масштабов и сфер использования ядерной энергии, альтернативы которой нет, существенно изменили экологическую обстановку вследствие поступления в природные среды радиоактивных продуктов искусственного происхождения.

В Республике Беларусь более 1000 радиационно-опасных объектов, имеющих важное значение для экономики страны и социальной сферы. Явление радиоактивности используется в медицине, в промышленности и в научных лабораториях. Ежегодно образуется около 8 т радиоактивных отходов. Основной причиной радиоактивного загрязнения территории, изменения состояния биосферы и негативного влияния на здоровье людей является радиационное воздействие ядерно-топливного цикла как в условиях нормальной эксплуатации объектов из-за накопления радиоактивных отходов, так и в результате аварийных ситуаций.

Катастрофа на ЧАЭС явилось грозным, глобального уровня предупреждением человечеству. Ущерб, нанесенный Республике Беларусь, не имеющей своей АЭС, оказал деструктивное воздействие на все сферы жизнедеятельности в пострадавших регионах и государства в целом.

Учебно-методические указания подготовлены в соответствии с учебной программой «Защита населения и объектов от ЧС. Радиационная безопасность» и предназначены для выполнения лабораторных занятий.

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1

## ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ ПРИ ВЗРЫВАХ ЯДЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ

**Цель работы:** *изучить методику оценки радиационной обстановки при взрывах ядерных объектов и авариях на АЭС.*

### Основные теоретические положения

Под *радиационной обстановкой* понимаются масштабы и степень радиоактивного заражения местности, оказывающие влияние на работоспособность формирований ГО, работу промышленных объектов и жизнедеятельность населения.

*Масштабы и степень радиоактивного заражения* местности зависят от мощности и вида ядерного взрыва (аварии), времени, прошедшего с момента ядерного удара, и метеоусловий.

Оценка радиационной обстановки проводится с помощью *методов разведки и прогнозирования*. При прогнозировании радиационной обстановки предполагается район, в пределах которого с вероятностью до 90 % возможно образование радиационного следа.

Степень опасности и возможные последствия радиоактивного заражения определяются путем расчета ожидаемых доз облучения людей и сопоставления их значений с допустимыми нормами, характеризующими потерю работоспособности.

При взрыве ядерного боеприпаса исходными данными для прогнозирования радиационной обстановки являются:

- |                          |                   |
|--------------------------|-------------------|
| – вид взрыва             | - наземный;       |
| – координаты взрыва      | - место на карте; |
| – эквивалентная мощность | - т, кт, Мт;      |
| – скорость ветра         | - км/ч;           |
| – направление ветра      | - градусы.        |

Размеры площади, заражаемой радиоактивными веществами, и уровни радиации при наземных ядерных взрывах определяются главным образом мощностью взрыва, направлением и скоростью ветра на высотах подъема радиоактивного облака, а также временем, прошедшим с момента ядерного взрыва.

При этом сам процесс образования радиоактивного заражения местности происходит не сразу, а в течение определенного промежутка времени. В момент взрыва местность заражается только в районе взрыва. По мере подъема облака некоторая часть наиболее крупных частиц радиоактивной пыли и шлака выпадает из облака на землю, усиливая радиоактивное заражение местности в районе взрыва. Затем по мере движения радиоактивного облака и оседания частиц радиоактивной пыли образуются зоны радиоактивного заражения. Наибольшее значение уровней радиации наблюдается по оси следа. Скорость оседания частиц пыли зависит от их плотности и размеров. Чем крупнее части-

цы, тем быстрее они оседают на поверхность земли. Оказывается, что с более крупными частицами в первые 2 часа выпадает на землю примерно до одной трети радиоактивных веществ, образовавшихся при ядерном взрыве. Остальная часть радиоактивной пыли, изотопов остается в воздухе более продолжительное время.

При оценке прогнозируемой радиационной обстановки при использовании ядерного боеприпаса предполагаемый район заражения местности условно делят на четыре зоны радиоактивного заражения (рис.1.1).

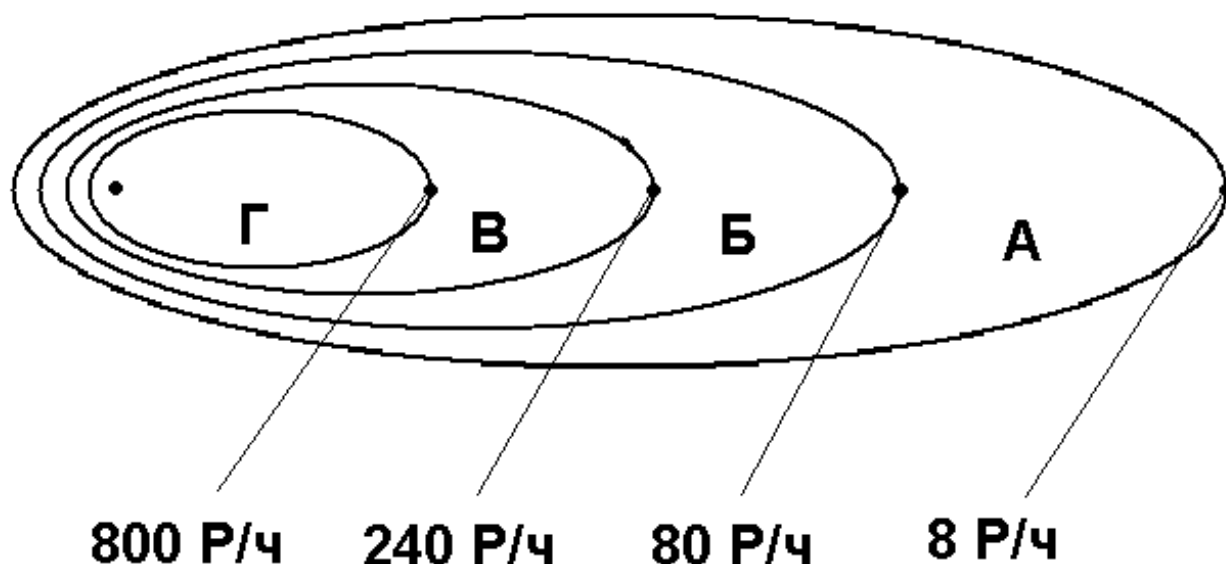


Рисунок 1.1 – Зоны радиоактивного заражения при использовании ядерного боеприпаса

В таблице 1.1 приведены значения уровней радиации через 1 час и через 10 часов после подрыва ядерного заряда (боеприпаса) на границах зон радиоактивного заражения.

Таблица 1.1 – Значения уровней радиации на границе зон радиоактивного заражения после ядерного взрыва

Зоны	Р-уровень радиации через 1 час после взрыва, P/ч	Р-уровень радиации через 10 часов после взрыва, P/ч
А	8	0,50
Б	80	5,00
В	240	15,00
Г	800	50,00

В зависимости от мощности ядерного боеприпаса для построения зон радиоактивного заражения из таблицы выбираются значения радиусов с наветренной стороны (табл. 1.2) и из таблицы 1.3 выбираются длина и ширина зон радиоактивного заражения с подветренной стороны.

Таблица 1.2 – Радиусы заражения в районе взрыва с наветренной стороны, м

Мощность взрыва, кт	Зоны заражения			
	А	Б	В	Г
0,01	81	–	–	–
0,02	105	–	–	–
0,05	150	–	–	–
0,1	195	–	–	–
0,2	245	–	–	–
0,5	325	150*	–	–
1	390	195	130*	–
2	465	245	170*	–
5	575	325	230*	150*
10	660	390	290*	195*
20	735	450	340*	235*
50	865	560	430	310*
100	970	645	510	375*
200	1070	735	595	450*
500	1220	865	710	560
1000	1290	930	770	610
2000	1400	1030	870	700
5000	1550	1180	1000	855
10000	1670	1290	1110	1070

Примечание: \* – радиусы заражения в районе взрыва с наветренной стороны при наличии соответствующей зоны, м.

### ***Определение возможных доз излучения за время пребывания в зоне радиоактивного заражения после аварии на АЭС***

Решение этой задачи позволяет оценить степень опасности пребывания людей на зараженной местности и наметить пути целесообразных действий. Для этого значение возможной дозы излучения сравнивают с допустимой (установленной) дозой  $D_{уст}$ . Если окажется, что люди получают дозу излучения, превышающую допустимую, то надо изменить порядок действия людей на зараженной местности: сократить время пребывания; изменить условия пребывания; начать работу позже.

Таблица 1.3 – Размеры зон заражения на следе облака (длина – максимальная ширина)

Мощность взрыва, кт	Скорость среднего ветра, км/ч	Зоны заражения, км			
		А	Б	В	Г
2,0	25	19,0–6,9	5,5–2,7	1,8–0,5	–
	50	24,0–5,2	5,3–1,5	–	–
	75	26,0–4,4	4,4–0,9	–	–
5,0	10	23,0–12,0	8,6–0,7	4,2–3,7	1,4–0,9
	25	31,0–8,8	9,4–3,8	4,2–1,8	–
	50	38,0–6,7	9,8–2,4	2,3–0,1	–
	75	42,0–5,7	9,4–1,7	–	–
10,0	10	32,0–15,0	12,0–7,5	6,3–4,8	2,6–2,0
	25	44,0–11,0	14,0–4,8	6,6–2,7	–
	50	54,0–8,3	15,0–3,3	5,6–1,3	–
	75	61,0–7,0	15,0–2,5	–	–
	100	65,0–6,3	14,0–1,9	–	–
20,0	10	43,0–16,0	15,0–8,1	8,4–5,3	3,5–2,6
	25	58,0–12,0	18,0–5,3	8,8–3,1	–
	50	72,0–9,2	20,0–3,7	7,9–1,6	–
	75	81,0–7,9	20,0–2,8	5,3–0,4	–
	100	88,0–7,0	20,0–2,3	–	–
50,0	10	68,0–21,0	25,0–11,0	14,0–7,3	6,5–4,1
	25	93,0–16,0	31,0–7,1	16,0–4,5	5,4–1,9
	50	115,0–12,0	34,0–5,1	15,0–2,9	–
	75	130,0–11,0	35,0–4,1	14,0–1,9	–
	100	140,0–10,0	35,0–3,5	11,0–1,1	–

Изменение уровней радиации на радиоактивно загрязненной местности в общем виде характеризуется зависимостью:

$$P_t = P_0 \left( \frac{t}{t_0} \right)^{-n} \quad (1.1)$$

где  $P_t$  – уровень радиации в момент времени  $t$  после аварии, рад/ч;  $P_0$  – уровень радиации в момент времени  $t_0$  после аварии, рад/ч;  $n$  – показатель степени, характеризующий величину спада радиации по времени и зависящий от изотопного состава радионуклидов.

Величина спада радиации при аварии (разрушении АЭС), где, как известно, другой изотопный состав радионуклидов, чем при ядерном взрыве, должна в каждом конкретном случае определяться по данным радиационной разведки. Для чего из формулы (1.1) выразим  $n$ :

$$n = \frac{\ln \frac{P_1}{P_2}}{\ln \frac{t_2}{t_1}} \quad (1.2)$$

где  $\frac{P_1}{P_2}$  – отношение уровней радиации при первом измерении к уровню радиации при втором измерении (в начале и в конце);  $\frac{t_2}{t_1}$  – отношение времени, прошедшего после аварии до второго измерения, к времени, прошедшего после аварии при первом измерении.

Для решения практических задач  $n = 0,4$  (определено опытным путем по результатам многократных замеров уровней радиации в зоне аварии Чернобыльской АЭС). При таком показателе спада уровень радиации при аварии на АЭС за семикратный промежуток времени уменьшается примерно в 2 раза, а не в 10, как при ядерном взрыве (*справочно: при ядерном взрыве  $n = 1,2$* ).

При расчетах необходимо также учитывать коэффициент ослабления излучения ( $k_{осл}$ ) различными материалами (на открытой местности  $k_{осл} = 1$ ).

С учетом коэффициента ослабления доза излучения  $D$  (рад), полученная за период времени от  $t_n$  до  $t_k$  определяется по формуле

$$D = \frac{1,7 \cdot (P_k t_k - P_n t_n)}{k_{осл}}, \text{ рад.} \quad (1.3)$$

где  $D$  – доза полученная за период времени от  $t_n$  до  $t_k$ , рад;  $P_n$  – уровень радиации на время, соответствующее началу пребывания в зоне радиоактивного заражения (отсчитывается от момента аварии), рад/ч;  $t_n$  – время начала пребывания в зоне, ч;  $T$  – продолжительность работы в зоне, ч;  $k_{осл}$  – коэффициент ослабления радиации зданием, сооружением, местом, где будут находиться люди;  $t_k = t_n + T$  – время окончания работ в зоне, ч;  $P_k$  – уровень радиации на мо-

мент окончания работ в зоне, рад/ч.

При расчетах используют коэффициенты пересчета уровней радиации на различное время после аварии на АЭС, который определяется по формуле:

$$k_t = t^{-0,4} \quad (1.4)$$

Численные значения коэффициента пересчета уровней радиации на различное время после аварии на АЭС приведены в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Коэффициенты  $k_t = t^{-0,4}$  для пересчета уровней радиации на различное время  $t$  после аварии (разрушения) АЭС

$t, ч$	$k_t$	$t, ч$	$k_t$	$t, ч$	$k_t$	$t, ч$	$k_t$
0,5	1,32	4,5	0,545	8,5	0,427	16,0	0,33
1,0	1,0	5,0	0,525	9,0	0,417	20,0	0,303
1,5	0,85	5,5	0,508	9,5	0,408	24,0	0,282
2,0	0,76	6,0	0,49	10,0	0,4	48,0	0,213
2,5	0,7	6,5	0,474	10,5	0,39	72,0	0,182
3,0	0,645	7,0	0,465	11,0	0,385	96,0	0,162
3,5	0,61	7,5	0,447	11,5	0,377	120,0	0,146
4,0	0,575	8,0	0,434	12,0	0,37	144,0	0,137

Уровень радиации на время, соответствующее моменту окончания работ в зоне аварии на АЭС, определяется по формуле:

$$P_k = P_n \cdot \frac{k_k}{k_n}, \text{ рад/ч.} \quad (1.5)$$

где  $P_k$  – уровень радиации на момент окончания работ в зоне, рад/ч;  $P_n$  – уровень радиации на время, соответствующее началу пребывания в зоне радиоактивного заражения (отсчитывается от момента аварии), рад/ч;  $k_n$  – коэффициент пересчета уровней радиации на момент времени начала пребывания в зоне ( $t_n$ );  $k_k$  – коэффициент пересчета уровней радиации на момент времени окончания работ в зоне ( $t_k$ ).

### Порядок проведения работы

1. Изучить методику оценки радиационной обстановки при взрывах ядерных объектов.

2. Студенты получают задание с описанием чрезвычайной ситуации, при которой произошел взрыв ядерного объекта и в соответствии с методикой провести оценку радиационной обстановки на объекте народного хозяйства.

3. Построить зоны радиационного заражения.

Построение зон радиоактивного заражения производят следующим образом:

1) Центр (эпицентр) взрыва совпадает с расположением ядерного объекта.

2) При оценке прогнозируемой радиационной обстановки при использо-

вании ядерного боеприпаса предполагаемый район заражения местности условно делят на четыре зоны радиоактивного заражения А, Б, В, Г.

3) Центральная ось зон радиоактивного заражения направлена в сторону объекта народного хозяйства и проходит через него.

4) В зависимости от мощности ядерного боеприпаса из таблицы 1.2 выбираются значения радиусов зон радиоактивного заражения (в метрах) с наветренной стороны: наносятся противоположно центральной оси зон радиоактивного заражения в точке взрыва.

5) В зависимости от мощности ядерного боеприпаса и скорости среднего ветра из таблицы 1.3 выбираются значения длины и ширины зон радиоактивного заражения (в километрах): наносятся по центральной оси зон радиоактивного заражения в сторону объекта народного хозяйства.

6) Если в таблице 1.3 отсутствуют размеры зоны Г радиоактивного заражения, то предполагаемый район заражения местности условно делят на 3 зоны радиоактивного заражения А, Б, В.

4. Определить уровень радиации на объекте народного хозяйства спустя 1 час после взрыва.

5. Определить дозу излучения, которую получит личный состав формирования МЧС за период времени, длящийся от времени начала пребывания в зоне радиоактивного заражения  $t_n(t)$  до времени конца проведения спасательных работ пребывания в зоне радиоактивного заражения  $t_k(t)$ .

### ***Примерные варианты задания***

1. Описание чрезвычайной ситуации, при которой произошел взрыв ядерного объекта:

Вариант 1 – Эквивалентная мощность взрыва – 10 кт; средняя скорость ветра – 10 км/ч; удаление от объекта народного хозяйства – 7 км; направление на место взрыва ядерного объекта –  $0^\circ$ .

Вариант 2 – Эквивалентная мощность взрыва – 5 кт; средняя скорость ветра – 10 км/ч; удаление от объекта народного хозяйства – 5 км; направление на место взрыва ядерного объекта –  $90^\circ$ .

Вариант 3 – Эквивалентная мощность взрыва – 2 кт; средняя скорость ветра – 25 км/ч; удаление от объекта народного хозяйства – 2 км; направление на место взрыва ядерного объекта –  $180^\circ$ .

Вариант 4 – Эквивалентная мощность взрыва – 20 кт; средняя скорость ветра – 10 км/ч; удаление от объекта народного хозяйства – 10 км; направление на место взрыва ядерного объекта –  $270^\circ$ .

Вариант 5 – Эквивалентная мощность взрыва – 10 кт; средняя скорость ветра – 25 км/ч; удаление от объекта народного хозяйства – 10 км; направление на место взрыва ядерного объекта –  $45^\circ$ .

Вариант 6 Эквивалентная мощность взрыва – 50 кт; средняя скорость ветра – 10 км/ч; удаление от объекта народного хозяйства – 15 км; направление на место взрыва ядерного объекта –  $135^\circ$ .

Вариант 7 – Эквивалентная мощность взрыва – 20 кт; средняя скорость

ветра – 25 км/ч; удаление от объекта народного хозяйства – 10 км; направление на место взрыва ядерного объекта – 225°.

Вариант 8 – Эквивалентная мощность взрыва – 5 кт; средняя скорость ветра – 25 км/ч; удаление от объекта народного хозяйства – 5 км; направление на место взрыва ядерного объекта – 0°.

Вариант 9 – Эквивалентная мощность взрыва – 10 кт; средняя скорость ветра – 50 км/ч; удаление от объекта народного хозяйства – 8 км; направление на место взрыва ядерного объекта – 90°.

Вариант 10 – Эквивалентная мощность взрыва – 50 кт; средняя скорость ветра – 25 км/ч; удаление от объекта народного хозяйства – 20 км; направление на место взрыва ядерного объекта – 180°.

Вариант 11 – Эквивалентная мощность взрыва – 5 кт; средняя скорость ветра – 50 км/ч; удаление от объекта народного хозяйства – 6 км; направление на место взрыва ядерного объекта – 270°.

Вариант 12 – Эквивалентная мощность взрыва – 20 кт; средняя скорость ветра – 50 км/ч; удаление от объекта народного хозяйства – 16 км; направление на место взрыва ядерного объекта – 135°.

2. Описание чрезвычайной ситуации, при которой произошел взрыв ядерного объекта: Формированию МЧС предстоит проводить спасательные работы  $T$  часов на радиоактивно зараженной в результате аварии на АЭС местности. Определить дозу излучения, которую получит личный состав формирования за период времени, длящийся от времени начала пребывания в зоне радиоактивного заражения  $t_n(t)$  до времени конца проведения спасательных работ пребывания в зоне радиоактивного заражения  $t_k(t)$ , если уровень радиации к этому времени составил  $P_n$ .

Таблица 1.5 – Варианты заданий

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$T, ч$	6	7	8	9	10	9	8	7	6	5	4	3
$t_n, ч$	4	4,5	3	2,5	6	3	3,5	2	3	4	5	5
$P_n, рад/ч$	5	6	7	8	10	9	11	12	11	10	9	10

**Контрольные вопросы:**

1. Что понимается под оценкой радиационной обстановки?
2. Как определяется полученная доза излучения за период времени?
3. Что такое показатель спада уровня радиации?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2

### ОЦЕНКА ХИМИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ НА ХИМИЧЕСКИ ОПАСНЫХ ОБЪЕКТАХ МЕТОДОМ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

**Цель работы:** *изучить методику оценки химической обстановки на объектах, имеющих сильнодействующие вещества (СДЯВ), и научиться применять ее на практике.*

#### **Основные теоретические положения**

Химически опасный объект (ХОО) – это объект, на котором хранят, перерабатывают, используют или транспортируют опасные химические вещества, при аварии на котором или при разрушении которого может произойти гибель или химическое заражение людей, сельскохозяйственных животных и растений, а также химическое заражение окружающей среды.

Химическая обстановка создается в результате разлива (выброса) СДЯВ или применения химического оружия с образованием зон химического заражения и очагов химического поражения (ОХП).

*Оценка химической обстановки включает:*

- определение масштабов и характера химического заражения;
- анализ их влияния на деятельность объектов, формирований МЧС и населения;
- выбор наиболее целесообразных вариантов действий, при которых исключается поражение людей.

Оценка химической обстановки производится методом прогнозирования и по данным химической разведки.

*Исходными данными для оценки химической обстановки являются:*

- тип и количество СДЯВ;
- средства применения химического оружия и способ доставки отравляющих веществ;
- район и время выброса СДЯВ, применения химического оружия;
- степень защищенности людей;
- топологические условия (застройка местности, вид местности);
- метеоусловия (скорость и направление ветра, температура воздуха и почвы, степень вертикальной устойчивости).

Степень вертикальной устойчивости характеризует состояние приземных воздушных слоев. Существует 3 степени вертикальной устойчивости:

1. *Инверсия* – возникает в вечернее время за 1 час до захода солнца и разрушается в течение часа после его восхода. При инверсии нижние слои воздуха холоднее верхних, что препятствует его рассеиванию вверх и создает условия для сохранения высоких концентраций зараженного воздуха.

2. *Изотермия* – характеризуется стабильным равновесным состоянием воздушных масс. Она наиболее характерна для пасмурной погоды, но может возникать и в утренние и вечерние часы как переходное состояние от инверсии

к конвекции (утром) и наоборот (вечером).

3. *Конвекция* – возникает обычно через 2 часа после восхода солнца, разрушается за 2–2,5 часа до его захода и наблюдается в наиболее ясные дни. При конвекции нижние слои воздуха нагреты сильнее, чем верхние, что способствует быстрому рассеиванию зараженного облака и уменьшению его поражающего действия.

Для оценки обстановки на химически опасных объектах используется методика прогнозирования масштабов заражения сильнодействующими ядовитыми веществами (РД-52-04.253-90). Методика предназначена для решения задач гражданской обороны и позволяет определить только границы зоны порогового поражения. Оценка обстановки на ХОО, имеющих СДЯВ (в специальной литературе применяется также термин – «аварийные химически опасные вещества» – АХОВ.), проводится с целью организации защиты людей, которые могут оказаться в очаге поражения.

Оценка химической обстановки на объектах, имеющих СДЯВ, предусматривает:

- определение зон химического заражения и очагов химического поражения;
- определение времени подхода зараженного воздуха к определенному рубежу (объекту);
- определение времени поражающего действия;
- определение возможных людских потерь.

Исходными данными для прогнозирования являются:

- общее количество СДЯВ на ХОО и данные по его размещению в емкостях и технологических трубопроводах;
- количество СДЯВ, выброшенных в атмосферу, и характер их разлива (в поддон, в обваловку или свободный);
- токсические свойства СДЯВ;
- метеорологические условия (температура воздуха, скорость ветра на высоте 10 м, состояние приземного слоя воздуха);
- пороговая токсодоза  $D_{пор}$ , мг·мин/л, при ингаляционном воздействии на организм человека.

*Определение количественных характеристик выброса.*

Количественные характеристики выброса СДЯВ для расчета масштабов заражения определяются по их эквивалентным значениям.

Для сжатых газов эквивалентное количество вещества определяется только по первичному облаку.

Для сжиженных СДЯВ, имеющих температуру кипения ( $t_K$ ) выше температуры окружающей среды ( $t_B$ ),  $t_K > t_B$ , эквивалентное количество вещества определяется только по вторичному облаку.

Для СДЯВ, температура кипения которых ниже температуры окружающей среды,  $t_K < t_B$ , эквивалентное количество вещества определяется по первичному и вторичному облаку.

При прогнозировании химической обстановки принимается, что при разгерметизации емкости произошел разлив всего имеющегося в ней запаса СДЯВ.

При этом площадь разлива определяется:

$$S_p = \frac{G}{\rho \cdot H}, \quad (2.1)$$

где  $S_p$  – площадь разлива, м<sup>2</sup>;  $G$  – масса (количество) СДЯВ, т;  $\rho$  – плотность СДЯВ, т/м<sup>3</sup> (таблица 5);  $H$  – толщина слоя СДЯВ, м.

Толщина слоя СДЯВ, разлившегося свободно по подстилающей поверхности, принимается по всей площади разлива  $H = h = 0,05$  м.

При проливе СДЯВ из ёмкостей, имеющих самостоятельный поддон (обваловку), толщина слоя жидкости принимается:

$$H = h - 0,2, \quad (2.2)$$

где  $H$  – высота жидкости, м;  $h$  – высота поддона (обваловки), м.

*Определение эквивалентного количества вещества по первичному облаку*

Эквивалентное количество СДЯВ в первичном (вторичном) облаке – это такое количество хлора, масштаб заражения которым при инверсии эквивалентен масштабу заражения при данной степени вертикальной устойчивости атмосферы количеством СДЯВ, перешедшим в первичное (вторичное) облако.

Эквивалентное количество СДЯВ по первичному облаку определяется по формуле:

$$Q_{Э1} = K_1 \cdot K_3 \cdot K_5 \cdot K_7 \cdot G, \quad (2.3)$$

где  $Q_{Э1}$  – эквивалентное количество СДЯВ по первичному облаку, т;  $K_1$  – коэффициент, зависящий от условий хранения СДЯВ (табл. 2.2);  $K_3$  – коэффициент, учитывающий токсичность СДЯВ, равный отношению пороговой токсодозы хлора к пороговой токсодозе другого СДЯВ (табл. 2.2);  $K_5$  – коэффициент, учитывающий степень вертикальной устойчивости воздуха (степень вертикальной устойчивости воздуха определяется по табл. 2.1 после чего принимается: для инверсии –  $K_5 = 1$ ; для изотермии –  $K_5 = 0,23$ ; для конвекции –  $K_5 = 0,08$ );  $K_7$  – коэффициент, учитывающий влияние температуры воздуха (может быть меньше единицы (при высоких температурах) и больше единицы (при низких температурах) (табл. 2.2);  $G$  – количество разлившегося при аварии вещества, т.

Таблица 2.1 – Степень вертикальной устойчивости атмосферы

Скорость ветра, м/с	Ночь		Утро		День		Вечер	
	Ясно, переменная облачность	Сплошная облачность	Ясно, переменная облачность	Сплошная облачность	Ясно, переменная облачность	Сплошная облачность	Ясно, переменная облачность	Сплошная облачность
< 2	ин	из	из(ин)	из	кон(из)	из	ин	из
2-3,9	ин	из	из(ин)	из	из	из	из(ин)	из
≥ 4	из	из	из	из	из	из	из	из

*Примечания.*

1. Обозначение : **ин** – инверсия; **из** – изотермия; **кон** – конвекция, буквы в скобках – при снежном покрове.

2. Под термином «**утро**» понимается период времени в течение двух часов после восхода солнца; под термином «**вечер**» – в течение двух часов после захода солнца. Период от восхода до захода за вычетом двух утренних часов – **день**, а период от захода до восхода за вычетом двух вечерних часов – **ночь**.

3. Скорость ветра и степень вертикальной устойчивости воздуха принимается в расчетах на момент аварий.

*Определение эквивалентного количества вещества по вторичному облаку*

Эквивалентное количество вещества по вторичному облаку рассчитывается по формуле:

$$Q_{\text{Э2}} = (1 - K_1) \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot \frac{G}{H \cdot \rho}, \quad (2.4)$$

где  $Q_{\text{Э2}}$  – эквивалентное количество СДЯВ по вторичному облаку, т;  $K_1$  – коэффициент, зависящий от условий хранения СДЯВ (табл. 2.2);  $K_2$  – коэффициент, зависящий от физико-химических свойств СДЯВ (табл. 2.2);  $K_4$  – коэффициент, учитывающий скорость ветра (табл. 2.3);  $K_5$  – коэффициент, учитывающий степень вертикальной устойчивости воздуха (степень вертикальной устойчивости воздуха (табл. 2.1) после чего принимается: для инверсии –  $K_5 = 1$ ; для изотермии –  $K_5 = 0,23$ ; для конвекции –  $K_5 = 0,08$ );  $K_6$  – коэффициент, зависящий от времени, прошедшего после начала аварии –  $\tau = 1$  час;  $H$  – толщина слоя СДЯВ, м;  $\rho$  – плотность жидкой фазы СДЯВ, т/м<sup>3</sup> (табл. 2.2);  $G$  – количество разлившегося при аварии вещества, т.

Коэффициент  $K_6$  определяется исходя из условия:

$$K_6 = \tau_{\text{исп}}^{0,8}; \text{ где } \tau_{\text{исп}} - \text{ время испарения СДЯВ, ч.}$$

Время испарения рассчитывается по формуле:

$$\tau_{\text{исп}} = \frac{H \cdot \rho}{K_2 \cdot K_4 \cdot K_7}, \text{ ч.} \quad (2.5)$$

*Расчет глубины зоны заражения при аварии на химически опасном объекте*

Используя значения  $Q_{\text{Э1}}$  и  $Q_{\text{Э2}}$ , полученных по таблице 2.4 определяется глубина зоны заражения для первичного  $\Gamma_1$  и вторичного  $\Gamma_2$  облаков в зависимости от скорости ветра  $v$ .

Если расчетное эквивалентное количество вылившегося вещества ( $Q_{\text{Э1}}$  или  $Q_{\text{Э2}}$ ) не совпадает с табличными значениями  $\Gamma_1$  и  $\Gamma_2$ , тогда принимаются ближайшие по значению табличные значения  $\Gamma_1$  и  $\Gamma_2$  соответственно.

Полная глубина зоны заражения  $\Gamma_{\text{ЗАР}}$ , обусловленная воздействием первичного и вторичного облака СДЯВ, определяется:

$$\begin{aligned}
 \Gamma_{\text{ЗАР}} &= \Gamma_1 + 0,5\Gamma_2, \text{ если } \Gamma_1 > \Gamma_2 && \text{или} \\
 \Gamma_{\text{ЗАР}} &= \Gamma_2 + 0,5\Gamma_1, \text{ если } \Gamma_1 < \Gamma_2. && (2.6)
 \end{aligned}$$

Предельно возможное значением глубины переноса воздушных масс  $\Gamma_{\text{ПРЕД}}$ , которое определяется по формуле:

$$\Gamma_{\text{ПРЕД}} = \tau_{\text{ИСП}} \cdot \upsilon_{\text{П}}, \quad (2.7)$$

где  $\upsilon_{\text{П}}$  – скорость переноса переднего фронта заражённого воздуха при заданной скорости ветра и степени вертикальной устойчивости атмосферы, км/ч (табл. 2.2);  $\tau_{\text{ИСП}}$  – время испарения разлившегося вещества, ч.

Таблица 2.2 – Скорость переноса переднего фронта облака зараженного воздуха

Скорость ветра, м/с	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Скорость переноса, км/ч	ИНВЕРСИЯ														
	5	10	15	21											
	ИЗОТЕРМИЯ														
	6	12	18	24	29	35	41	47	53	59	65	71	76	82	88
	КОНВЕКЦИЯ														
	7	14	21	28											

#### Определение площади зоны заражения

Площадь зоны фактического заражения  $S_{\Phi}$  в км<sup>2</sup> рассчитывается по формуле:

$$S_{\Phi} = K_8 \cdot \Gamma_{\text{ЗАР}}^2 \cdot \tau^{0,2}, \quad (2.8)$$

где  $K_8$  – коэффициент, зависящий от степени вертикальной устойчивости воздуха, принимаемый равным: при инверсии – 0,081, при изотермии – 0,133 при конвекции 0,285;  $\tau$  – время полного перехода вещества во вторичное облако с подстилающей поверхности, ч ( $\tau = t_{\text{ИСП}}$ );  $\Gamma_{\text{ЗАР}}$  – полная глубина зоны заражения, км.

Таблица 2.3 – Характеристика СДЯВ и вспомогательные коэффициенты для определения глубин зон заражения

Наименование СДЯВ	Плотность		Температура кипения, °С	Пороговая токсодоза, мг·мин/л	Значения вспомогательных коэффициентов							
	Газ	Жидкость			$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_7$				
								- 40 °С	- 20 °С	0 °С	20 °С	40 °С
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>
Акрилонитрил	–	0,806	77,3	0,75	0	0,007	0,8	0,04	0,1	0,4	1	2,4
Акролеин	–	0,839	52,7	0,2*	0	0,013	3,0	0,1	0,2	0,4	1	2,2
Аммиак: хранение под давлением	0,0008	0,681	-33,42	15,0	0,18	0,025	0,04	0 0,9	0,3 1	0,6 1	1 1	1,4
изотермическое хранение	–	0,681	-33,42	15,0	0,01	0,025	0,04	0 0,9	1 1	1 1	1 1	1,4 1
Водород мышьяковистый	0,0086	1,64	-62,47	0,2	0,17	0,054	0,857	0,3 1	0,5 1	0,8 1	1 1	1,2 1
Водород фтористый	–	0,989	19,52	4,0	0	0,028	0,15	0,1	0,2	0,5	1	1
Водород хлористый	0,0016	1,191	-85,10	2,0	0,28	0,037	0,30	0,64 1	0,6 1	0,8 1	1 1	1,2 1
Водород цианистый	–	0,687	25,7	0,2	0	0,026	3,0	0	0	0,4	1	1,3
Метилакрилат	–	0,953	80,2	6,0*	0	0,005	0,025	0,1	0,2	0,4	1	3,1
Метилмеркаптан	–	0,867	5,95	1,7*	0,06	0,043	0,363	0 0,1	0 0,3	0 0,8	1 1	2,4 1
Нитрил акриловой кислоты	–	0,806	77,3	0,75	0	0,007	0,80	0,04	0,1	0,4	1	2,4
Оксид этилена	–	0,882	10,7	2,2*	0,05	0,041	0,27	0 0,1	0 0,3	0 0,7	1 1	3,2 1
Сероуглерод	–	1,263	46,2	45,0	0	0,021	0,013	0,1	0,2	0,4	1	2,1
Соляная кислота (концентрированная)	–	1,198	–	2,0	0	0,021	0,30	0	0,1	0,3	1	1,6

Окончание таблицы 2.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Формальдегид	–	0,815	-19,0	0,6*	0,19	0,034	1,0	0 0,4	0 1	0,5 1	1 1	1,5 1
Фтор	0,0017	1,512	-188,2	0,2*	0,95	0,038	3,0	0,7 1	0,8 1	0,9 1	1 1	1,1 1
Фосфора хлороокись	–	1,675	107,2	0,6	0	0,003	10,0	0,05	0,1	03,	1	2,6
Хлор	0,0032	1,553	-31,1	0,6	0,18	0,052	1,0	0 0,9	0,3 1	0,6 1	1 1	1,4 1
Хлорциан	0,0021	1,220	12,6	0,75	0,04	0,048	0,80	0	0	0	1	3,9
Этиленимин	–	0,838	55,0	4,8	0	0,009	0,125	0,05	0,1	0,4	1	2,2

Примечание.1. В графах 9–13 в числителе значение  $K_7$  – для первичного, в знаменателе – для вторичного облака.

2. В графе 5 численные значения токсодоз, помеченные звездочками, определены ориентировочно:  $D = 240 \cdot K \cdot ПДК_{p.z.}$ , где  $ПДК_{p.z.}$  – ПДК рабочей зоны, мг/л;  $K = 5$  – для раздражающих веществ (помечены одной звездочкой),  $K = 9$  – для всех прочих СДЯВ (помечены двумя звездочками).

3. Значение  $K_1$  для изотермического хранения аммиака приведено для случая разливов (выбросов) в поддон.

Таблица 2.4 – Значение коэффициента  $K_4$  в зависимости от скорости ветра

Скорость ветра, м/с	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$K_4$	1,0	1,33	1,67	2,00	2,34	2,67	3,00	3,34	3,674	5,680

Таблица 2.5 – Глубины зон возможного заражения СДЯВ, км

Скорость ветра, м/с	Эквивалентное количество СДЯВ															
	0,01	0,05	0,1	0,5	1,0	3,0	5,0	10,0	20,0	30,0	50,0	70,0	100,0	300,0	500,0	1000,0
1	0,38	0,85	1,25	3,16	4,75	9,18	12,53	19,20	29,56	38,13	52,67	65,23	81,91	166,0	231,0	363,0
2	0,26	0,59	0,84	1,92	2,84	5,35	7,20	10,83	16,44	21,02	28,73	35,35	44,09	87,79	121,0	189,0
3	0,22	0,48	0,68	1,53	2,17	3,99	5,34	7,96	11,94	15,18	20,59	25,21	31,30	61,47	84,50	130,0
4	0,19	0,42	0,59	1,33	1,88	3,28	4,36	6,46	9,62	12,18	16,43	20,05	24,80	48,18	65,92	101,0
5	0,17	0,38	0,53	1,19	1,68	2,91	3,75	5,53	8,19	10,33	13,88	16,89	20,82	40,11	54,67	83,60
6	0,15	0,34	0,48	1,09	1,53	2,66	3,43	4,88	7,20	9,06	12,14	14,79	18,13	34,67	47,09	71,70
7	0,14	0,32	0,45	1,00	1,42	2,46	3,17	4,49	6,48	8,14	10,87	13,17	16,17	30,73	41,63	63,16
8	0,13	0,30	0,42	0,94	1,33	2,30	2,97	4,20	5,92	7,42	9,90	11,98	14,68	27,75	37,49	56,70
9	0,12	0,28	0,40	0,88	1,25	2,17	2,80	3,96	5,60	6,86	9,12	11,03	13,50	25,39	34,24	51,60
10	0,12	0,26	0,38	0,84	1,19	2,06	2,66	3,76	5,31	6,50	8,50	10,23	12,54	23,49	31,61	47,53
11	0,11	0,25	0,36	0,80	1,13	1,96	2,53	3,58	5,06	6,20	8,01	9,61	11,74	21,91	29,44	44,15
12	0,11	0,24	0,34	0,76	1,08	1,88	2,42	3,43	4,85	5,94	7,67	9,07	11,06	20,58	27,61	41,30
13	0,10	0,23	0,33	0,74	1,04	1,80	2,37	3,29	4,66	5,70	7,37	8,72	10,48	19,45	26,04	38,90
14	0,10	0,22	0,32	0,71	1,00	1,74	2,24	3,17	4,49	5,50	7,10	8,40	10,04	18,46	24,69	36,81
15	0,10	0,22	0,31	0,69	0,97	1,68	2,17	3,07	4,34	5,31	6,86	8,11	9,70	17,60	23,50	34,98

Примечание. 1. При скорости ветра  $v > 15$  м/с размеры зон заражения принимать как при скорости ветра 15 м/с.

2. При скорости ветра  $v < 1$  м/с размеры зон заражения принимать как при скорости ветра 1 м/с.

Площадь зоны возможного заражения первичным (вторичным) облаком СДЯВ определяется по формуле:

$$S_{ВОЗ} = 8,72 \cdot 10^{-3} \cdot \Gamma_{ЗАР}^2 \cdot \varphi, \quad (2.9)$$

где  $S_{ВОЗ}$  – площадь зоны возможного заражения СДЯВ, км<sup>2</sup>;  $\Gamma_{ЗАР}$  – полная глубина зоны заражения, км;  $\varphi$  – угловые размеры зоны возможного заражения (табл. 2.6), град.

Таблица 2.6 – Угловые размеры зоны возможного заражения СДЯВ в зависимости от скорости ветра

Скорость ветра, м/с	< 0,5	0,5–1,0	1,1–2,0	> 2
$\varphi$ , град	360	180	90	45

### Порядок проведения работы

1. Изучить методику оценки химической обстановки при авариях на химически опасных объектах.

2. Студенты получают задание с описанием чрезвычайной ситуации, при которой произошла авария на ХОО с разливом СДЯВ (табл. 2.7) и в соответствии с методикой провести оценку химической обстановки на объекте народного хозяйства.

Таблица 2.7 – Описание чрезвычайной ситуации, при которой произошла авария на ХОО с разливом СДЯВ

№ Варианта	Химически-опасный объект (ХОО)					
	СДЯВ	кол-во, т	характер разлива h, м	скорость ветра, м/с	Температура воздуха $t_{в}$ , °С	Время суток и условия погоды
1	2	3	4	5	6	7
1	Акролеин	350	Поддон, 1,2	1	+20	Ночь (ясно)
2	Аммиак (под давлением)	250	Свободный, 0,05	2	0	Вечер (ясно)
3	Водород мышьяковистый	130	Свободный, 0,05	6	-20	Ночь (облачно)
4	Водород фтористый	110	Поддон, 1	7	0	Вечер (облачно)
5	Водород цианистый	95	Поддон, 0,7	9	0	Утро (ясно)
6	Метилакрилат	400	Обваловка, 1,2	2	-20	Вечер (ясно)
7	Меркаптан	350	Обваловка, 1,3	3	+20	Ночь (ясно)

Окончание таблицы 2.7

1	2	3	4	5	6	7
8	Нитрил акриловой кислоты	600	Обваловка, 1,5	4	-20	Вечер (ясно)
9	Окись этилена	90	Обваловка, 0,9	5	+20	Вечер (облачно)
10	Серовуглерод	140	Поддон, 1,0	8	-20	Утро (ясно)
11	Соляная кислота (концент.)	235	Поддон, 1,2	9	0	День (облачно)
12	Формальдегид	220	Обваловка, 0,8	11	0	День (облачно)
13	Фтор	320	Свободный, 0,05	1	-20	Вечер (ясно)
14	Хлор	75	Свободный, 0,05	4	+20	Ночь (облачно)
15	Хлорциан	100	Свободный, 0,05	6	+20	Ночь (облачно)

**Контрольные вопросы:**

1. Что включает оценка химической обстановки?
2. Какие степени вертикальной устойчивости атмосферы вы знаете?
3. Как определяются количественные характеристики выброса СДЯВ?
4. Что такое эквивалентное количество СДЯВ?
5. Как определяется глубина и площадь зоны заражения СДЯВ?

### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3

## ОЦЕНКА ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЫ ПЕРСОНАЛА ОБЪЕКТОВ ЭКОНОМИКИ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

**Цель работы:** *получить практические навыки расчета основных параметров сооружений защитного характера.*

#### Основные теоретические положения

Одним из основных способов защиты персонала объекта от современных средств поражения в результате крупномасштабных ЧС, вызванных авариями и катастрофами на химических и радиационно опасных объектах, пожарами и взрывами, является укрытие персонала предприятий в защитных сооружениях.

*Защитные сооружения* – это инженерные сооружения, предназначенные для защиты персонала объекта, а также другого населения, от поражающих факторов чрезвычайных ситуаций.

В соответствии с техническим кодексом установившейся практики (ТКП 45–2.03–231–2011 «Защитные сооружения гражданской обороны. Нормы проектирования») защитные сооружения делят *по их защитным свойствам*:

1) на убежища, защищающие от поражающих факторов современных средств поражения, АХОВ, высоких температур и продуктов горения при пожарах. Обеспечивают непрерывное пребывание в них укрываемых в течение двух суток;

2) противорадиационные укрытия (ПРУ), защищающие от воздействия ионизирующих излучений, возникающих при радиоактивном заражении местности (коэффициент защиты от ионизирующих излучений не ниже 100 и от избыточного давления ударной волны не ниже 20 кПа);

3) сооружения двойного назначения, обеспечивающие защиту от избыточного давления ударной волны не ниже 20 кПа и допускающие непрерывное пребывание в них укрываемых до 6 ч;

4) защитные укрытия, обеспечивающие защиту укрываемых от избыточного давления ударной волны не ниже 20 кПа и допускающие непрерывное пребывание укрываемых до двух суток.

*Убежища* – сложные в техническом отношении сооружения, оборудованные различными инженерными системами и измерительными приборами для обеспечения защиты людей.

Для защиты от химически опасных веществ, биологических средств и радиоактивной пыли убежища герметизируют и оснащают фильтровентиляционным оборудованием, которое очищает наружный воздух, распределяет его по отсекам. Для жизнеобеспечения укрываемых защитные сооружения помимо системы фильтровентиляции, снабжающей людей воздухом, должны иметь надежное электроснабжение, санитарно–технические системы (водопровод, канализацию, отопление), радио– и телефонную связь, а также запасы воды и продовольствия.

По степени защиты убежища подразделяются на классы в зависимости от расчетной величины избыточного давления воздушной ударной волны (которую они могут выдержать) и коэффициента защиты от ионизирующих излучений (табл.3.1). Убежища классов А-I и А-II предназначены для размещения пунктов управления и крупных узлов связи, строятся по особому указанию. Для укрытия населения и персонала промышленных объектов используют убежища класса А-IV.

Таблица 3.1 – Классификация убежищ по защитным свойствам

Класс убежища	Степень защиты от	
	избыточного давления ударной волны, кПа	ионизирующих излучений (коэффициент защиты)
А-I	500	5000
А-II	300	3000
А-III	200	2000
А-IV	100	1000

По месту расположения в застройке убежища делятся на убежища отдельно стоящие и встроенные. Отдельно стоящие убежища возводят на свободных от застройки участках, а встроенные убежища сооружают в подвалах, полуподвальных (цокольных) и первых этажах зданий. К встроенным относятся убежища, возводимые внутри одноэтажных производственных зданий и не связанные с его ограждающими конструкциями.

*Инженерная защита персонала* – это комплекс мероприятий, направленных на создание фонда сооружений, обеспечивающих защиту населения и работающих на производстве от поражающих факторов чрезвычайных ситуаций.

#### *Расчет и оценка основных параметров сооружений защитного характера*

1. *Оценка соответствия вместимости защитного сооружения по установленным нормам.* Вместимость защитного сооружения (убежищ, противорадиационных укрытий) определяется в соответствии с нормами объемно-планировочных решений. Возможность укрытия наиболее многочисленной рабочей смены в защитном сооружении оценивается по количеству имеющихся в нем мест.

Рассчитываем количество мест (М) для укрываемых людей на имеющейся площади основного помещения исходя из установленных норм на одного человека:

$$M_i = \frac{S_{\Pi}}{S_1} \quad (3.1)$$

$$M_{\text{ОБЩ}} = \sum_{i=1}^n M_i \quad (3.2)$$

где  $S_n$  – площадь основного помещения для укрываемых в защитных сооруже-

ниях,  $\text{м}^2$ ;  $S_1$  – норма площади основного помещения на одного укрываемого,  $\text{м}^2$  (табл. 3.2).

Проверяем соответствие объема помещений в зоне герметизации установленной норме на одного укрываемого (норма: не менее  $1,5 \text{ м}^3/\text{чел.}$ ):

$$V_1 = \frac{S_0 h}{M}, \quad (3.3)$$

где  $V_1$  – объем помещения, приходящийся на одного укрываемого,  $\text{м}^3$ ;  $S_0$  – площадь всех помещений (общая),  $\text{м}^2$ ;  $h$  – высота помещения, м.

Проверяем соответствие площади вспомогательных помещений установленным нормам:

$$S_{всп} = M \cdot S_2 \quad (3.4)$$

где  $S_{всп}$  – площадь вспомогательных помещений,  $\text{м}^2$ ;  $M$  – количество мест для укрываемых;  $S_2$  – норма площади вспомогательного помещения на одного укрываемого,  $\text{м}^2$  (табл. 3.2).

Определяем количество нар ( $H$ ) для размещения укрываемых:

$$H = M \cdot D, \quad (3.5)$$

где  $D$  – установленная норма:  $0,1$  – при одноярусном расположении нар (высота помещения –  $2,2 \text{ м}$ ),  $0,2$  – при двухярусном расположении нар (высота помещения –  $2,25\text{--}2,85 \text{ м}$ ),  $0,3$  – при трехярусном расположении нар (высота помещения –  $2,9 \text{ м}$  и выше).

Рассчитываем коэффициент вместимости  $K_{вм}$ , который характеризует возможности защитного сооружения по укрытию людей:

$$K_{вм} = \frac{M_{общ}}{N}, \quad (3.6)$$

где  $N$  – численность персонала, подлежащего укрытию (наибольшая работающая смена).

Требования к защитным сооружениям (табл. 3.2) приведены в соответствии с техническим кодексом установившейся практики для убежищ, противорадиационных укрытий (ПРУ), сооружений двойного назначения и защитных укрытий ТКП 45.3.02–21–2011 «Защитные сооружения гражданской обороны. Нормы проектирования». В таблице приведены объемно-планировочные и конструктивные решения к основным и вспомогательным помещениям, основные данные по микроклимату защитных сооружений.

2. *Оценка защитных свойств сооружения.* Защитные свойства сооружения определяем в зависимости от ионизирующего излучения.

Вычисляем коэффициент ослабления ( $K_{осл}$ ) ионизирующих излучений:

$$K_{осл} = K_{зас} \cdot 2^{\frac{h}{d_{пол}}} \quad (3.7)$$

где  $K_{зас}$  – коэффициент, учитывающий условия расположения защитного сооружения (для встроенных равен 1,5, для отдельно стоящих – 1,0);  $h$  – толщина слоя материала защитного сооружения, см;  $d_{пол}$  – толщина слоя половинного ослабления, см (табл. 3.3).

Для защитных сооружений, имеющих *многослойное перекрытие* из разных материалов, коэффициент ослабления радиации находим по формуле 3.7.

Таблица 3.2 – Требования к защитным сооружениям гражданской обороны

Основные требования	Норма
Площадь пола основного помещения на одного человека, м <sup>2</sup> , при высоте помещения:	
2,15 м	0,6
2,15–2,9 м	0,5
2,9 м и более	0,4
В защитных сооружениях двойного назначения	1,0
Внутренний объем помещения на одного человека, м <sup>3</sup>	1,5
Место для сидения на одного человека, м	0,45×0,45
Место для лежания на одного человека, м	1,8×0,55
Площадь вспомогательных помещений на одного человека, м <sup>2</sup> :	
без автономных систем водо-, электроснабжения	0,12
при наличии ДЭС, но без автономного водоснабжения	0,13
с автономными системами водо-, электроснабжения при вместимости:	0,23
До 600 чел.	0,22
600–1200 чел.	0,2
Более 1200 чел.	
Площадь медпункта при вместимости 900–1200 чел., м <sup>2</sup>	9
Санпост на каждые 500 чел., м <sup>2</sup>	2
Площадь помещения на один комплект ФВК–1 (ФВК–2), м <sup>2</sup>	9–12
Площадь помещения для ДЭС, м <sup>2</sup>	16–20
Содержание кислорода, не менее, %	16,5
Концентрация углекислого газа, не более, %	4
Концентрация окиси углерода, не более, мг/м <sup>3</sup>	100
Концентрация метана, не более, мг/м <sup>3</sup>	300
Концентрация пыли, не более, мг/м <sup>3</sup>	10
Относительная влажность воздуха не менее и не более, %	30 и 90
Температура воздуха в убежище, не более, °С	32

Таблица 3.3 – Толщина слоев половинного ослабления ( $d_{пол}$ ) ионизирующих излучений для некоторых материалов

Материал	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Толщина слоя половинного ослабления ( $d_{пол}$ ), см	
		для гамма-излучения на следе облака	для нейтронов
Свинец	11,3	1,3	12,0
Железо, броня	7,8	1,8	11,5
Бетон	2,3	5,6	12,0
Кирпич	1,6	8,4	10,0
Грунт	1,8	7,2	12,0
Древесина	0,7	19,0	9,7
Вода	1,0	13,0	2,7
Полиэтилен	0,95	14,0	2,7

3. Оценка системы жизнеобеспечения защитного сооружения: оценка системы воздухообеспечения. В ходе расчетов выбираем тип и параметры фильтровентиляционных комплектов (ФВК), определяем количество подаваемого воздуха системой в режиме I – чистой вентиляции и в режиме II – фильтровентиляции.

Вычисляем количество ( $N$ ) укрываемых людей, которые может обеспечить очищенным воздухом система водоснабжения:

$$N_{возд} = \frac{W_o}{W_n}, \quad (3.8)$$

где  $W_o$  – общая производительность системы воздухообеспечения, м<sup>3</sup>/ч (табл. 3.4);  $W_n$  – норма подачи воздуха на одного человека в час, м<sup>3</sup>/ч: в режиме чистой вентиляции – 10 м<sup>3</sup>/ч, в режиме фильтровентиляции – 2 м<sup>3</sup>/ч на человека.

4. Оценка системы водоснабжения защитного сооружения. Определяем количество ( $N$ ) укрываемых людей, которое может обеспечить водой система водоснабжения:

$$N_{вод} = \frac{W_{о.вод}}{W_{1н} \cdot C} \quad (3.9)$$

где  $W_{о.вод}$  – общий запас воды в защитном сооружении, л;  $W_{1н}$  – норма обеспечения водой одного укрываемого в сутки (норма – 3 л/сут);  $C$  – заданный срок пребывания укрываемых в защитном сооружении, сут.

Таблица 3.4 – Характеристики фильтровентиляционных комплектов и вентиляторов

Название фильтровентиляционных комплектов и вентиляторов	Производительность, м <sup>3</sup> /ч	
	в режиме вентиляции	в режиме фильтровентиляции
1	2	3
Фильтровентиляционный комплект ФВА–100/50	–	100

Окончание таблицы 3.4

1	2	3
Фильтровентиляционный комплект ФВА–50/25	–	50
Комплект ФВК–200	–	200
Комплект ФВК–1, ФВК–2	1200	300
Фильтровентиляционный агрегат ФВА–49:		
с одним фильтром ФП–100у	450	100
с двумя фильтрами ФП–100у	450	200
с тремя фильтрами ФП–100у	450	300
Вентилятор ЭРВ–72	900	–
Вентилятор ЭРВ–72–2	1000	–
Вентилятор ЭРВ 600/300	600	–

*Примечание.* При выборе фильтровентиляционных комплектов брать основной – ФВК–1 (ФВК–2) из расчета один комплект на 150 чел., а в случае недостатка их производительности – другие комплекты совместно с вентиляторами.

5. *Оценка санитарно-технических систем.* Санузел подключается к внешним водопроводным и канализационным сетям; оборудуется аварийным резервуаром для сбора стоков.

Вместимость резервуара определяется из расчета 2 л/сут сточных вод. Количество обслуживаемых системой укрываемых находится по формуле:

$$N_{\text{ост}} = \frac{W_{\text{о.ст}}}{W_{\text{н}} \cdot C} \quad (3.10)$$

где  $W_{\text{о.ст}}$  – общая вместимость санитарно-технической системы, ед. изм.;  $W_{\text{н}}$  – норма сточных вод на одного укрываемого в сутки (норма – 2 л/сут).

На основании расчетов оценивается возможность системы жизнеобеспечения по минимальному показателю. При этом учитывается, что определяющим показателем является система воздушноснабжения.

6. *Оценка подготовленности защитных сооружений к своевременному укрытию людей.* Оценка подготовленности защитных сооружений к своевременному укрытию людей проводится в зависимости от расположения защитного сооружения и места работы. Нормы для расчетов: скорость движения человека от места работы до места убежища – 100 м за 2 мин; время заполнения убежища – 2 мин.

### Порядок выполнения работы

1. Ответить на контрольные вопросы.
2. Провести оценку обеспечения инженерной защиты персонала наиболее многочисленной рабочей смены объекта, и предложите меры по повышению этой защиты (исходные данные в табл. 3.5).

2. На основании расчета (формулы 3.1–3.10) сделайте общие выводы.

*Пример вывода.*

1. На объекте инженерной защитой обеспечивается (%) наибольшей работающей смены.

2. Возможности имеющегося убежища используются не полностью из-за ограниченной производительности системы вентиляции.

3. Для обеспечения инженерной защиты всего состава работающей смены необходимо:

– дооборудовать систему воздухообмена убежища одним комплектом ФВК-1;

– построить дополнительно одно убежище вместимостью (количество человек с пунктом управления и защищенной ДЭС для аварийного электрообеспечения двух убежищ на объекте).

4. До завершения строительства убежища предусмотреть защиту неукрываемой части персонала в подвальных помещениях, оборудовав их фильтровентиляционными системами.

**Контрольные вопросы:**

1. Каковы основные способы защиты населения в чрезвычайных ситуациях?
2. Какие вы знаете категории защитных сооружений в соответствии с ТКП?
3. Какие вы знаете факторы, влияющие на вместимость людей в убежище?
4. Как вы охарактеризуете виды убежищ по месту их размещения?

Таблица 3.5 – Исходные данные

Номер варианта	Численность наибольшей работающей смены, чел.	Убежища (в числителе формулы (строка 1) даются параметры встроенных убежищ, в знаменателе – параметры отдельно стоящих убежищ)								Срок нахождения, сут
		Количество	Толщина, м		Высота, м	Площадь пола основного помещения, м <sup>2</sup>	Площадь пола вспомогательного помещения, м <sup>2</sup>	Запас воды, л	Емкость для сбора сточных вод, л	
			Бетонного перекрытия	Грунтовой засыпки						
1	2405	$\frac{6}{2}$	$\frac{0,55}{0,2}$	$\frac{-}{0,63}$	$\frac{2,1}{5}$	$\frac{154}{152}$	$\frac{63}{62}$	$\frac{2730}{2700}$	$\frac{1900}{1800}$	2
2	2910	$\frac{6}{1}$	$\frac{0,53}{0,23}$	$\frac{-}{0,64}$	2,95	$\frac{150}{305}$	$\frac{60}{120}$	$\frac{2700}{5400}$	$\frac{1950}{3600}$	2
3	2397	$\frac{6}{2}$	$\frac{0,57}{0,22}$	$\frac{-}{0,65}$	2,2	$\frac{160}{155}$	$\frac{63}{62}$	$\frac{1900}{1850}$	$\frac{1300}{1250}$	3
4	2205	$\frac{4}{2}$	$\frac{0,56}{0,54}$	$\frac{-}{0,66}$	3,0	$\frac{151}{152}$	$\frac{61}{62}$	$\frac{2000}{1900}$	$\frac{1260}{1300}$	3
5	2390	$\frac{6}{2}$	$\frac{0,52}{0,25}$	$\frac{-}{0,67}$	2,3	$\frac{149}{155}$	$\frac{59}{60}$	$\frac{2700}{2720}$	$\frac{1950}{1850}$	2
6	2400	$\frac{4}{1}$	$\frac{0,54}{0,25}$	$\frac{-}{0,68}$	3,1	$\frac{154}{150}$	$\frac{60}{100}$	$\frac{1980}{1900}$	$\frac{2000}{2500}$	2
7	3210	$\frac{6}{2}$	$\frac{0,55}{0,32}$	$\frac{-}{0,69}$	$\frac{3,0}{5}$	$\frac{151}{152}$	$\frac{63}{120}$	$\frac{3000}{4500}$	$\frac{2000}{1700}$	3
8	2850	$\frac{4}{2}$	$\frac{0,54}{0,28}$	$\frac{-}{0,62}$	2,98	$\frac{160}{154}$	$\frac{59}{100}$	$\frac{2750}{5200}$	$\frac{2500}{2600}$	2
9	2650	$\frac{6}{1}$	$\frac{0,57}{0,25}$	$\frac{-}{0,70}$	2,5	$\frac{155}{300}$	$\frac{60}{64}$	$\frac{2700}{2700}$	$\frac{2000}{1500}$	2
10	3300	$\frac{6}{3}$	$\frac{0,55}{0,24}$	$\frac{-}{0,71}$	$\frac{2,2}{5}$	$\frac{154}{150}$	$\frac{61}{120}$	$\frac{2730}{5550}$	$\frac{1900}{1300}$	2

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4 ОЦЕНКА ПОЖАРНОЙ ОБСТАНОВКИ

**Цель работы:** *изучить методику оценки пожарной обстановки.*

### **Основные теоретические положения**

Безопасность людей при пожарах и взрывах, а также сокращение возможного ущерба от них достигается обеспечением пожарной безопасности производственных объектов и взрывобезопасности производственных процессов.

Под *пожарной безопасностью* подразумевается такое состояние объекта, при котором с большой вероятностью предотвращается возможность возникновения пожара, а в случае его возникновения обеспечивается эффективная защита людей от опасных и вредных факторов пожара и спасение материальных ценностей.

Пожарная безопасность производственных объектов и взрывобезопасность производственных процессов обеспечиваются разработкой и осуществлением систем предотвращения пожаров и взрывов и систем пожарной защиты и взрывозащиты. Система предотвращения пожара должна разрабатываться по каждому объекту из расчета, что нормативная вероятность возникновения пожара и взрыва принимается равной не более  $10^{-6}$  в год в расчете на отдельный пожароопасный элемент данного объекта. Нормативная вероятность воздействия опасных факторов взрыва на людей в течение года также не должна превышать  $10^{-6}$  на человека. Оценка пожарной обстановки производится на основе данных прогноза и пожарной разведки.

### *Исходные данные для прогнозирования пожарной обстановки*

Под пожарной обстановкой понимается совокупность последствий стихийных бедствий, аварий (катастроф), первичных и вторичных поражающих факторов ядерного оружия, других современных средств поражения и прежде всего зажигательных средств, в результате которых возникают пожары, оказывающие влияние на устойчивость работы объектов хозяйства и жизнедеятельность населения.

### *Оценка пожарной обстановки включает:*

- определение масштаба и характера (вида) пожара (отдельные очаги, сплошные пожары, пожары в завалах, низовые, верховые, подземные, полевые); скорость и направление пожара; площади зон задымления и время сохранения дыма и др;

- анализ влияния пожара на устойчивость работы отдельных элементов и объекта в целом, а также на жизнедеятельность населения;

- выводы об устойчивости отдельных элементов и объекта в целом к возгоранию и рекомендации по ее повышению, предположения по выбору наиболее целесообразных действий формирований МЧС по локализации и тушению пожара, эвакуации при необходимости рабочих и служащих, населения и материальных ценностей из зоны (очага) пожара.

### *Расчет категорий помещений по взрывопожарной и пожарной опасности*

Основой для проведения расчетов служит ТКП 474-2013 «Категорирование помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» .

*Методика расчета включает следующие этапы:*

1. Изучение характеристики помещения, технологического процесса производства, запроектированных технических средств противопожарной защиты.
2. Выбор расчетного варианта разгерметизации технологического оборудования.
3. Сбор и подготовка исходных данных для расчета.
4. Расчет количественных параметров взрывопожароопасности аварийной ситуации, массы взрывопожароопасных веществ, поступивших в помещение при разгерметизации технологического оборудования, избыточного давления взрыва.
5. Проверка принадлежности помещения от высшей категории к низшей.

При расчёте значений критериев взрывопожарной опасности в качестве расчётного следует выбирать наиболее неблагоприятный вариант аварии или период нормальной работы аппаратов, при котором во взрыве участвует наибольшее количество веществ или материалов, наиболее опасных в отношении последствий взрыва.

Количество поступивших в помещение веществ, которые могут образовать взрывоопасные газовоздушные или паровоздушные смеси, определяется исходя из следующих предпосылок:

- а) происходит расчётная авария одного из аппаратов;
- б) всё содержимое аппарата поступает в помещение;
- в) происходит одновременно утечка веществ из трубопроводов, питающих аппарат по прямому и обратному потоку в течение времени, необходимого для отключения трубопроводов (времени срабатывания системы автоматики отключения трубопроводов согласно паспортным данным установки, если вероятность отказа системы автоматики в соответствии с нормативными документами не превышает 0,000001 в год или обеспечено резервирование её элементов (но не более 3 с); 120 с, если вероятность отказа системы автоматики превышает 0,000001 в год и не обеспечено резервирование её элементов; 300 с при ручном отключении;
- г) происходит испарение с поверхности разлившейся жидкости, и площадь испарения при разливе на пол определяется (при отсутствии справочных данных) исходя из расчёта, что 1 л смесей и растворов, содержащих 70 % и менее (по массе) растворителей, разливается на площади 0,5 м, а остальных жидкостей – на 1 м<sup>2</sup> пола помещения;
- д) происходит испарение жидкости из ёмкостей, эксплуатируемых с открытым зеркалом жидкости, или со свежеекрашенными поверхностями;
- е) длительность испарения жидкости принимается равной времени её полного испарения, но не более 3600 с.

Свободный объем помещения определяется как разность между объемом помещения и объемом, занимаемым технологическим оборудованием. Если свободный объем помещения определить невозможно, то его допускается принимать условно равным 80 % геометрического объема помещения.

Таблица 4.1 – Категории помещений по взрывопожароопасности в соответствии с ТКП 474-2013 «Категорирование помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности»

Категория помещения	Характеристика веществ и материалов, находящихся (обращающихся) в помещении
А (взрывопожаро-опасная)	Горючие газы (ГГ), легковоспламеняющиеся жидкости (ЛВЖ) с температурой вспышки не более 28 °С в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные парогазовоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчётное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа. Вещества и материалы, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом в таком количестве, что расчётное избыточное давление взрыва в помещении превышает 5 кПа
Б (взрывопожаро-опасная)	Горючие пыли или волокна, ЛВЖ с температурой вспышки более 28 °С, горючие жидкости (ГЖ) в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные пылевоздушные или паровоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчётное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа
В1–В4 (пожароопасные)	ГГ, ЛВЖ, ГЖ и трудногорючие жидкости, твёрдые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть, при условии, что помещения, в которых они имеются в наличии или обращаются, не относятся к категориям А или Б
Г1	ГГ, ЛВЖ, ГЖ, твёрдые горючие вещества и материалы, которые сжигаются или утилизируются в процессе контролируемого горения в качестве топлива
Г2	Негорючие вещества и материалы в горячем, раскалённом или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени
Д	Негорючие вещества и материалы в холодном состоянии, горючие и трудногорючие вещества и материалы в таком количестве, что удельная пожарная нагрузка на участке их размещения в помещении не превышает МДж/м <sup>2</sup> , а пожарная нагрузка в пределах помещения –1000 МДж

*Определение категории помещения при применении легковоспламеняющихся жидкостей*

Алгоритм расчета категорий помещений по взрывопожарной и пожарной опасности с применением ЛВЖ:

1. Определяется стехиометрическая концентрация паров ЛВЖ:

$$C_{\text{стх}} = \frac{100}{1 + 4,84 \times \beta} \quad (4.1)$$

где  $C_{стx}$  – стехиометрическая концентрация паров ЛВЖ;  $\beta$  – стехиометрический коэффициент кислорода в реакции горения;  $n_C, n_H, n_O, n_X$  – число атомов  $C, H, O$  и галоидов в молекуле углеводородного горючего (при отсутствии данных принимать  $n_x = 0$ ).

Стехиометрический коэффициент кислорода в реакции горения определяется по формуле:

$$\beta = n_C + \frac{n_H + n_X}{4} + \frac{n_O}{2} \quad (4.2)$$

2. Определяется общая масса паров ЛВЖ, вышедших в помещение при расчетной аварии:

$$m_{нар.ЛВЖ} = m_p + m_{емк} + m_{св.окр}, \quad (4.3)$$

где  $m_{нар.ЛВЖ}$  – общая масса паров ЛВЖ, вышедших в помещение при расчетной аварии, кг;  $m_p$  – общая масса ЛВЖ, вышедшей в помещение при аварии, кг;  $m_{емк}$  – масса жидкости, испарившейся с поверхности открытых емкостей, кг (в случае отсутствия  $m_{емк} = 0$ );  $m_{св.окр}$  – масса жидкости, испарившейся со свежескрашенных изделий, кг (в случае отсутствия  $m_{св.окр} = 0$ ).

Общая масса ЛВЖ, вышедшей в помещение при аварии, определяется по формуле:

$$m_p = m_{p1} + m_{p2}, \quad (4.4)$$

где  $m_{p1}$  – масса ЛВЖ, вышедшей из бака в помещение при аварии, кг;  $m_{p2}$  – масса ЛВЖ, вышедшей в помещение при аварии до отключения питающего трубопровода, кг.

Масса ЛВЖ, вышедшая из бака в помещение при аварии:

$$m_{p1} = K_{\bar{\sigma}} \cdot V_{\bar{\sigma}} \cdot \rho_{ж}, \quad (4.5)$$

где  $K_{\bar{\sigma}}$  – коэффициент заполнения бака;  $V_{\bar{\sigma}}$  – объем бака,  $m^3$ ;  $\rho_{ж}$  – плотность ЛВЖ,  $кг/м^3$ .

Масса ЛВЖ, вышедшая в помещение до отключения питающего трубопровода:

$$m_{p2} = (q \cdot \tau_{откл} + 0,785 \cdot d^2 \cdot l) \cdot \rho_{ж}, \quad (4.6)$$

где  $q$  – производительность насоса,  $m^3/с$ ;  $\tau_{откл}$  – расчетное время отключения насоса, с;  $0,785 \cdot d^2$  – площадь сечения питающего трубопровода,  $m^2$ ;  $l$  – длина питающего трубопровода, м;  $\rho_{ж}$  – плотность ЛВЖ,  $кг/м^3$ .

3. Определяется площадь испарения при разливе ЛВЖ на пол исходя из условия, что 1 л ЛВЖ разливается на площади 1  $m^2$ , т. е. толщина пленки  $\delta = 1 \text{ мм} = 0,001 \text{ м}$ :

$$F_{исп} = \frac{m_p}{\rho_{ж} \cdot \delta}, \quad (4.7)$$

где  $F_{исп}$  – площадь испарения при разливе ЛВЖ на пол,  $м^2$ ;  $m_p$  – общая масса ЛВЖ, вышедшей в помещение при аварии,  $кг$ ;  $\rho_{ж}$  – плотность ЛВЖ,  $кг/м^3$ ;  $\delta$  – толщина пленки,  $\delta = 1 \text{ мм} = 0,001 \text{ м}$ .

4. Определяется интенсивность испарения:

$$W_u = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot p_{н.п.}, \quad (4.8)$$

где  $W_u$  – интенсивность испарения,  $кг \cdot с^{-1} \cdot м^{-2}$ ;  $\eta$  – коэффициент испарения, зависящий от скорости и температуры воздушного потока над поверхностями помещения (табл. 4.2);  $M$  – молекулярная масса ЛВЖ;  $p_{н.п.}$  – давление насыщенных паров,  $кПа$ .

5. Расчетное время испарения  $T_{исп}$  при определении массы паров ЛВЖ, поступивших в помещение, принимается равным времени полного испарения жидкости с рассматриваемой поверхности, но не более 3600 с, по формуле

$$T_{исп} = \frac{m_{пар.ЛВЖ}}{W_u \cdot F_{исп}} \leq 3600, \quad (4.9)$$

где  $T_{исп}$  – расчётное время испарения,  $с$ ;  $m_{пар.ЛВЖ}$  – общая масса паров ЛВЖ, вышедших в помещение при расчетной аварии,  $кг$ ;  $W_u$  – интенсивность испарения,  $кг \cdot с^{-1} \cdot м^{-2}$ ;  $F_{исп}$  – площадь испарения при разливе ЛВЖ на пол,  $м^2$ .

6. Определяется масса паров, образующихся в помещении и могущих участвовать во взрыве:

$$m_{исп} = W_u \cdot T_{исп} \cdot (F_{исп} + F_{исп1}), \quad (4.10)$$

где  $m_{исп}$  – масса паров, образующихся в помещении и могущих участвовать во взрыве,  $кг$ ;  $W_u$  – интенсивность испарения,  $кг \cdot с^{-1} \cdot м^{-2}$ ;  $T_{исп}$  – расчётное время испарения,  $с$ ;  $F_{исп1}$  – площадь дополнительных источников испарения,  $м^2$  (при отсутствии дополнительных источников  $F_{исп1} = 0$ );  $F_{исп}$  – площадь испарения при разливе ЛВЖ на пол,  $м^2$ ;

Таблица 4.2 – Значение коэффициента испарения  $\eta$

Скорость воздушного потока в помещении $м/с$	Температура воздуха в помещении, $^{\circ}C$				
	10	15	20	30	35
0	1	1	1	1	1
0,1	3,0	2,6	3,4	1,8	1,6
0,2	4,6	3,8	3,5	2,4	2,3
0,3	6,6	5,7	5,4	3,6	3,2
0,5	10,0	8,7	7,7	5,6	4,6

7. В процессе испарения часть паров ЛВЖ удаляется из помещения под действием аварийной вентиляции. Массу паров жидкости, которая остается в помещении при расчётной аварии, определяют по формуле:

$$m_{исп.расч} = \frac{m_{исп}}{\frac{A \cdot T_{исп}}{3600} + 1} \quad (4.11)$$

где  $m_{исп.расч}$  – масса паров ЛВЖ, которая остаётся в помещении при расчетной аварии, кг;  $T_{исп}$  – расчётное время испарения, с;  $A$  – кратность аварийной вентиляции, ч<sup>-1</sup>.

Работа аварийной вентиляции учитывается, если она обеспечена резервными вентиляторами с автоматическим пуском при превышении предельно допустимой взрывобезопасной концентрации и электроснабжением по I категории надежности (ПУЭ), при условии расположения устройств для удаления воздуха из помещения в непосредственной близости от места возможной аварии.

8. Избыточное давление взрыва  $\Delta p$  определяется по формуле

$$\Delta p = (p_{max} + p_0) \cdot \frac{m_{исп.расч} \cdot z}{V_{св} \cdot \rho_n} \cdot \frac{100}{C_{стx}} \cdot \frac{1}{K_n}, \quad (4.12)$$

где  $\Delta p$  – избыточное давление взрыва, кПа;  $p_{max}$  – максимальное давление взрыва, принимается  $p_{max} = 900 \text{ кПа}$ ;  $p_0$  – начальное давление, принимается  $p_0 = 101 \text{ кПа}$ ;  $m_{исп.расч}$  – масса паров ЛВЖ, которая остаётся в помещении при расчетной аварии, кг;  $z$  – коэффициент участия горючего во взрыве (таблица 4.3);  $V_{св}$  – свободный объем помещения, м<sup>3</sup>;  $\rho_n$  – плотность пара при расчетной температуре, кг/м<sup>3</sup>;  $C_{стx}$  – стехиометрическая концентрация паров ЛВЖ;  $K_n$  – коэффициент, учитывающий негерметичность помещения и неадиабатичность процесса горения, принимаем  $K_n = 3$ .

Свободный объем помещения определяется по формуле

$$V_{св} = 0,8 \cdot V, \quad (4.13)$$

где  $V_{св}$  – свободный объем помещения, м<sup>3</sup>;  $V$  – объем помещения, м<sup>3</sup>.

Таблица 4.3 – Значение коэффициента участия горючего во взрыве ( $z$ )

Вид горючего вещества	Значение $z$
Водород	1,0
Горючие газы (кроме водорода)	0,5
Легковоспламеняющиеся и горючие жидкости, нагретые до температуры вспышки и выше	0,3
Легковоспламеняющиеся и горючие жидкости, нагретые ниже температуры вспышки, при наличии возможности образования аэрозоля	0,3
Легковоспламеняющиеся и горючие жидкости, нагретые ниже температуры вспышки, при отсутствии возможности образования аэрозоля	0

В заключение, на основании расчетов определяется категория рассматриваемого помещения (табл. 4.1).

*Определение категории помещения при применении горючих газов*

Алгоритм расчета категорий помещений по взрывопожарной и пожарной опасности с применением горючих газов:

1. Масса газа ( $m_0$ ), вышедшего в помещение при расчетной аварии:

$$m_0 = (V_a + V_T) \cdot \rho_g, \quad (4.14)$$

где  $m_0$  – масса газа, вышедшего в помещение при расчетной аварии, кг;  $V_a$  – объем газа, вышедшего из аппарата,  $m^3$ ;  $V_T$  – объем газа, вышедшего из трубопроводов,  $m^3$ ;  $\rho_g$  – плотность газа,  $кг/м^3$ .

Объем газа, вышедшего из аппарата, определяется по формуле:

$$V_a = 0,01 \cdot p_1 \cdot V_б, \quad (4.15)$$

где  $V_a$  – объем газа, вышедшего из аппарата,  $m^3$ ;  $V_б$  – объем баллона,  $m^3$ ;  $p_1$  – давление газа в баллоне,  $кПа$ .

Общий объем газа, вышедшего из подводящего и отводящего трубопроводов, определяется по формуле

$$V_T = V_{IT} + V_{2T}, m^3 \quad (4.16)$$

где  $V_T$  – общий объем газа, вышедшего из подводящего и отводящего трубопроводов,  $m^3$ ;  $V_{IT}$  – объем газа, вышедшего из подводящего трубопровода до его отключения,  $m^3$ ;  $V_{2T}$  – объем газа, вышедшего из подводящего и отводящего трубопровода после отключения компрессора,  $m^3$ .

Объем газа, вышедшего из подводящего трубопровода до его отключения, определяется по формуле

$$V_{IT} = q \cdot \tau_{откл}, \quad (4.17)$$

где  $V_{IT}$  – объем газа, вышедшего из подводящего трубопровода до его отключения,  $m^3$ ;  $q$  – расход газа (производительность компрессора),  $m^3/с$ ;  $\tau_{откл}$  – время отключения компрессора,  $с$ .

Объем газа, вышедшего из подводящего и отводящего трубопровода после отключения компрессора, определяется по формуле

$$V_{2T} = 0,01 \cdot \pi \cdot p_2 \cdot (r_1^2 \cdot l_0 + r_2^2 \cdot l_n), \quad (4.18)$$

где  $V_{2T}$  – объем газа, вышедшего из подводящего и отводящего трубопровода после отключения компрессора,  $m^3$ ;  $p_2$  – максимальное давление в трубопроводе по технологическому регламенту,  $кПа$  (принять  $p_1 = p_2$ );  $r_1$  и  $r_2$  – внутренний радиус трубопроводов, м;  $l_0$  и  $l_n$  – длина отводящего и подводящего трубопроводов, м.

2. Расчетная масса газа, вышедшего в объем помещения с учетом работы аварийной вентиляции, определяется по формуле, приняв  $T = 60$  с:

$$m_p = \frac{m_0}{\frac{A \cdot T}{3600} + 1}, \text{ кг.} \quad (4.19)$$

где  $m_p$  – расчетная масса газа, вышедшего в объем помещения, кг;  $m_0$  – масса газа, вышедшего в помещение при расчетной аварии, кг;  $T_{исп}$  – расчетное время поступления газа в помещение при аварии, с;  $A$  – кратность аварийной вентиляции,  $\text{ч}^{-1}$ .

3. Стехиометрическая концентрация газа:

$$C_{стх} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot \beta} \quad (4.20)$$

где  $C_{стх}$  – стехиометрическая концентрация газа;  $\beta$  – стехиометрический коэффициент кислорода в реакции горения;  $n_C$ ,  $n_H$ ,  $n_O$ ,  $n_X$  – число атомов C, H, O и галоидов в молекуле углеводородного горючего (при отсутствии данных принимать  $n_X = 0$ ).

Стехиометрический коэффициент кислорода в реакции горения определяется по формуле

$$\beta = n_C + \frac{n_H + n_X}{4} + \frac{n_O}{2} \quad (4.21)$$

4. Избыточное давление взрыва  $\Delta p$  определяется по формуле

$$\Delta p = (p_{max} + p_0) \cdot \frac{m_p \cdot z}{V_{св} \cdot \rho_g} \cdot \frac{100}{C_{стх}} \cdot \frac{1}{K_H}, \quad (4.22)$$

где  $p_{max} = 900$  кПа – максимальное давление взрыва;  $p_0 = 101$  кПа – начальное давление (равно  $p_{атм}$ );  $m_p$  – расчетная масса газа, кг;  $z$  – коэффициент участия горючего во взрыве (табл. 4.3);  $V_{св}$  – свободный объем помещения,  $\text{м}^3$ ;  $\rho_g$  – плотность газа по воздуху (относительная плотность);  $C_{стх}$  – стехиометрическая концентрация газа;  $K_H$  – коэффициент, учитывающий негерметичность помещения и неадиабатичность процесса горения, принимаем  $K_H = 3$ .

Свободный объем помещения определяется по формуле

$$V_{св} = 0,8 \cdot V, \quad (4.23)$$

где  $V_{св}$  – свободный объем помещения,  $\text{м}^3$ ;  $V$  – объем помещения,  $\text{м}^3$ .

В заключение, на основании расчетов определяется категория рассматриваемого помещения (табл. 4.1).

## Порядок проведения работы

1. Изучить методику оценки пожарной обстановки.
2. Изучить методику расчета категорий помещений по взрывопожарной и пожарной опасности

3. Студенты получают задание с описанием ситуации для расчета категорий помещений по взрывопожарной и пожарной опасности.

3.1. Описание ситуации для расчета категорий помещений по взрывопожарной и пожарной опасности использующего ЛВЖ:

Рассчитать категорию производственного помещения (размеры:  $l \times b \times h$ ), использующего в своем технологическом процессе ЛВЖ по взрывопожарной и пожарной опасности, если коэффициент свободного объема помещения  $K_{св} = 0,8$ , кратность аварийной вентиляции  $A = 10ч^{-1}$ , температура воздуха –  $t_в$ .

ЛВЖ имеет следующие характеристики: температура вспышки –  $t_{всп}$ , молекулярная масса –  $M$ , давление насыщенных паров –  $p_{нп}$ , плотность жидкости –  $\rho_{жс}$ , плотность пара при расчетной температуре –  $\rho_n$ .

Характеристики технологического процесса: объем аппарата –  $V_{ан}$ . Степень заполнения –  $\kappa_б$ , температура жидкости в аппарате –  $t_{жс}$ , избыточное давление в аппарате  $p_p = 0$ , подача насоса –  $q$ , питающий трубопровод имеет длину:  $l_0 = 10м$ , диаметр  $d_0 = 20мм$ , время отключения насоса (закрытия задвижек) ручное –  $\tau_{откл} = 300с$ .

При проведении оценки принять: начальное давление  $p_0 = p_{атм} = 101 кПа$ , максимальное давление взрыва  $p_{max} = 900кПа$ ,  $\eta = 1 (v_{возд} = 0м/с)$ .

Таблица 4.4 – Варианты заданий

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ЛВЖ	Ацетон C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O	Ацетон C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O	Ацетон C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O	Бензол C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	Бензол C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	Бензол C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	Гексан C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	Гексан C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	Гексан C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	Ацетон C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O
$l \times b \times h$ , м	20×20×3	10×20×5	40×20×3	20×20×3	10×20×5	40×20×3	20×20×3	10×20×5	40×20×3	10×20×3
$t_в$ , °C	20	25	30	20	30	35	20	25	30	22
$t_{всп}$ , °C	-18	-18	-18	-11	-11	-11	-23	-23	-23	-18
$M$	50	50	50	78	78	78	86	86	86	50
$p_{н.п}$ , кПа	24,8	29,16	37,63	11,42	18,91	23,92	16,10	20,13	24,90	26,72
$\rho_{жс}$ , кг/м <sup>3</sup>	792	792	792	879	879	879	660	660	660	792
$\rho_n$ , кг/м <sup>3</sup>	2,08	2,04	2,00	3,24	3,13	3,08	3,57	3,51	3,45	2,06
$V_{ан}$ , м <sup>3</sup>	0,2	0,3	0,4	0,2	0,3	0,4	0,2	0,3	0,4	0,5
$\kappa_б$ , %	90	92	95	90	92	95	90	92	95	95
$t_{жс}$ , °C	20	25	30	20	30	35	20	25	30	22
$q$ , м <sup>3</sup> /с	1·10 <sup>-4</sup>	1·10 <sup>-4</sup>	1·10 <sup>-4</sup>	1·10 <sup>-4</sup>	1·10 <sup>-4</sup>	1·10 <sup>-4</sup>	1·10 <sup>-4</sup>	1·10 <sup>-4</sup>	1·10 <sup>-4</sup>	1·10 <sup>-4</sup>

3.2. Описание ситуации для расчета категорий помещений по взрывопожарной и пожарной опасности использующего горючий газ:

Рассчитать категорию производственного помещения (размеры  $l \times b \times h$ ), использующего в своем технологическом процессе горючий газ по

взрывопожарной и пожарной опасности, если коэффициент свободного объема помещения  $K_{св} = 0,8$ , кратность аварийной вентиляции  $A = 8ч^{-1}$ , температура воздуха –  $t_в$ .

Газ имеет следующие характеристики: молекулярную массу  $M$ , плотность газа по воздуху –  $\rho_г$ .

Характеристики технологического процесса: производительность компрессора для сжатия газа –  $q$ ,  $м^3/ч$ ; подводный трубопровод имеет длину  $l_n = 10 м$ , диаметр  $d_n = 25 мм$ ; отводящий трубопровод имеет длину  $l_o = 15 м$ , диаметр  $d_o = 25 мм$ ; емкость одного баллона  $0,5 м^3$ , количество баллонов –  $n$ ; давление газа в баллоне –  $p_1$ ,  $Па$ ; максимальное давление в трубопроводе по техническому регламенту –  $p_2$ ,  $Па$ ; отключение компрессора и баллонов ручное –  $\tau_{откл} = 300 с$ . При расчетах принять: начальное давление  $p_o = p_{атм} = 101 кПа$ , максимальное давление взрыва  $p_{max} = 900 кПа$ .

Таблица 4.5 – Варианты заданий

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
газ	Метан CH <sub>4</sub>	Метан CH <sub>4</sub>	Метан CH <sub>4</sub>	Пропан C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	Пропан C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	Пропан C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	Бутан C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	Бутан C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	Бутан C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	Метан CH <sub>4</sub>
$l \times b \times h$ , м	20×20×10	10×20×12	40×20×15	20×20×10	10×20×12	40×20×15	20×20×10	10×20×12	40×20×15	10×20×15
$t_в$ , °C	20	25	30	20	30	35	20	25	30	30
$M$	16	16	16	78	78	78	86	86	86	50
$\rho_г$	0,55	0,55	0,55	1,52	1,52	1,52	2,06	2,06	2,06	0,55
$q$ , $м^3/с$	0,03	0,05	0,1	0,03	0,05	0,1	0,03	0,05	0,1	0,08
$n$	40	60	80	40	60	80	40	60	80	50
$p_1$ , $кПа$	30	35	40	30	35	40	30	35	40	25
$p_2$ , $кПа$	30	35	40	30	30	30	30	35	40	25

### Контрольные вопросы:

1. Что означает термин «пожарная безопасность»?
2. Перечислите исходные данные для прогнозирования пожарной обстановки.
3. Назовите категории помещений по взрывопожарной и пожарной опасности.
4. Какие этапы включает методика расчета категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5 ИССЛЕДОВАНИЕ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ

**Цель работы:** *изучить характеристики дозиметрических приборов АН-РИ-01-02 «Сосна» и РАДЭКС РД1503, научиться с их помощью измерять мощность экспозиционной дозы гамма-излучения*

### Основные теоретические положения

Ионизация – это явление (процесс) образования положительных и отрицательных ионов и свободных электронов из электрически нейтральных атомов и молекул. Ионизирующее излучение – потоки частиц и электромагнитных квантов, взаимодействие которых со средой приводит к ионизации ее атомов и молекул. Ионизирующие излучения делятся на фотонные (электромагнитные) и корпускулярные (поток частиц), а по механизму воздействия на вещество они могут быть непосредственно или косвенно ионизирующими.

*Фотонное* излучение представляет собой электромагнитное излучение – это гамма-излучение, рентгеновское и тормозное излучение. Фотонное излучение имеет такую же природу образования, как и видимый свет или радиоволны, но отличается от них меньшей длиной волны. С возрастанием частоты энергия квантов электромагнитного поля (фотонов), а, следовательно, и их разрушительное влияние на молекулы вещества возрастает.

Длина волны  $\lambda$  рентгеновского излучения лежит в диапазоне от 10–100 нм до 0,01–1 пм, а гамма-излучения – менее 0,1 пм. Энергия фотонов связана с их волновыми характеристиками соотношениями:

$$\varepsilon = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda}, \quad (5.1)$$

где  $h$  – постоянная Планка;  $c$  – скорость света;  $\nu$  – частота.

Отсюда следует, что энергия рентгеновских квантов лежит в диапазоне от 10–100 эВ до 1–100 МэВ, а  $\gamma$ -квантов – более 10 кэВ.

Явление самопроизвольного (спонтанного) изменения структуры ядра атома одного элемента и превращение его в более устойчивое ядро атома другого элемента называется *радиоактивностью*, а само неустойчивое ядро – *радиоактивным*.

Радиоактивность характеризуется сортом и энергией вылетающих частиц, длительностью протекания процесса (постоянная распада  $\lambda$ , среднее время жизни  $\tau$ , период полураспада  $T_{1/2}$ ).

Существует два вида радиоактивного распада – *альфа* ( $\alpha$ ) и *бета* ( $\beta$ ). Бета- и гамма-радиоактивность присуща и легким, и средним, и тяжелым ядрам, альфа-радиоактивность встречается только среди тяжелых ядер. Принято говорить о *естественной* и *искусственной радиоактивности* (возникновение искусственной радиоактивности произошло из-за человеческой деятельности –

создание ускорителей и реакторов). В настоящее время большинство радиоактивных ядер произведено искусственным путем.

Каждый такой отдельный акт самопроизвольного превращения ядер с испусканием элементарных частиц или их групп называется *радиоактивным распадом*. Если радиоактивный распад сопровождается испусканием альфа-частиц, он называется *альфа-распадом*; бета-частиц – *бета-распадом*.

Альфа- и бета-распад обычно сопровождаются *гамма-излучением*. Возникающие при самостоятельных превращениях ядер атомов потоки элементарных частиц или их групп являются *ионизирующими излучениями*.

Источником гамма-излучения являются возбужденные ядра, образованные в результате альфа-, бета-распада или других радиоактивных превращений. Возбужденные ядра в течение  $10^{-12}$  с переходят в основное состояние, испуская избыток энергии в виде фотонов. Если значком «\*» обозначить возбужденное состояние ядра, то процесс излучения фотона может быть записан так:



где  $h\nu$  – энергия гамма-фотона, испускаемая при переходе ядра из возбужденного энергетического состояния в стабильное.

*Гамма-излучение* – коротковолновое электромагнитное излучение с чрезвычайно малой длиной волны  $\lambda \leq 10^{-10}$  м (0,1 нм). Это излучение имеет квантовый характер, т. е. испускается и распространяется в среде и поглощается веществом в виде отдельных дискретных квантов-фотонов. Фотон с энергией больше 100 кэВ обычно называется *гамма-квантом*.

Гамма-кванты не обладают ни зарядом, ни массой покоя. Их испускание не приводит к образованию ядер новых элементов. Возбужденное и стабильное ядро одного элемента отличается только энергией, т. е. при гамма-переходах изменение зарядового числа  $Z$  и массового числа  $A$  не происходит.

В качестве характеристики воздействия фотонного излучения с энергией от 5 кэВ до 3 МэВ на окружающую среду используют экспозиционную дозу  $X$ .

*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:

$$X = \frac{dV}{dm}. \quad (5.3)$$

Системная единица (СИ) экспозиционной дозы – 1 Кл/кг (кулон на килограмм), внесистемная единица – 1 Р (рентген).

$$1 \text{ Кл/кг} = 3,88 \cdot 10^3 \text{ Р}.$$

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

$$\dot{X} = \frac{dX}{dt}. \quad (5.4)$$

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

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

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

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

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

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

Космическое излучение, которое постоянно воздействует на атмосферу Земли, называется первичным. В составе первичного космического излучения обнаружены около 200 различных видов элементарных частиц, альфа-частицы, осколки лёгких ядер и фотоны с энергиями до  $10^{12}$  МэВ.

Космическое излучение, которое достигает поверхности Земли после взаимодействия с атмосферой, называется вторичным и состоит из гамма-фотонов с энергией до 3 МэВ. Остальная энергия первичного космического излучения затрачивается на ионизацию верхних слоёв атмосферы.

Естественными радиоактивными веществами считают те, которые образовались и постоянно вновь образуются без участия человека. В первую очередь это долгоживущие (с большим периодом полураспада) радиоактивные элементы, которые образовались одновременно с образованием Земли: калий-40 (период полураспада  $1,3 \cdot 10^9$  лет), кальций-48 (период полураспада  $2 \cdot 10^{16}$  лет), рубидий-87 (период полураспада  $6,2 \cdot 10^{10}$  лет), олово-124 (период полураспада  $2 \cdot 10^{17}$  лет), теллур-130 (период полураспада  $1 \cdot 10^{21}$  лет), лантан-138 (период полураспада  $2 \cdot 10^{11}$  лет), висмут-209 (период полураспада  $3 \cdot 10^{17}$  лет), торий-232 (период полураспада  $1,4 \cdot 10^{10}$  лет), уран-235 (период полураспада  $1,13 \cdot 10^8$  лет), уран-238 (период полураспада  $4,5 \cdot 10^9$  лет), всего 23 элемента.

К естественным радиоактивным элементам относятся также радионуклиды, образующиеся в верхних слоях атмосферы под действием первичного космического излучения: углерод-14, сера-35, хлор-36, тритий (водород-3), кислород-18.

В настоящее время известно более 100 естественных радионуклидов. Поскольку по химическим свойствам радиоизотопы не отличаются от стабильных, они обнаруживаются в растениях, а также организмах животных и человека.

В земной коре радионуклиды равномерно рассеяны, но могут быть сконцентрированы в виде месторождений.

Максимальное содержание в земной коре имеет калий-40 – около 2,5 %, содержание тория-232 –  $1,3 \cdot 10^{-3}$  %, содержание всех изотопов урана –  $2,6 \cdot 10^{-4}$  %. Естественные радионуклиды содержатся в земной коре в количестве от 0,0005 % (рений-187) до 84 (рубидий-87) грамма на тонну. Поэтому в величину естественного фона основной вклад вносит космическое излучение. Наибольшее влияние из естественных изотопов на величину естественного фона оказывает калий-40, затем следуют рубидий-87, уран-238, торий-232, уран-235, лантан-138. Остальные радионуклиды играют гораздо меньшую роль вследствие либо большого периода полураспада ( $10^{16}$ – $10^{21}$  лет), либо из-за очень низкого содержания в земной коре.

Следует отметить, что в смеси изотопов данного элемента содержание радионуклидов постоянно. Так, например, содержание калия-40 в смеси изотопов калия составляет  $1,19 \cdot 10^{-2}$  %, рубидия-87 – 27,85 %. У висмута, тория и урана все изотопы радиоактивны.

Начиная с 1934 года, помимо естественных изотопов, были получены искусственные радионуклиды, которые образуются при бомбардировке стабильных ядер альфа-частицами или нейтронами в ядерных реакторах, а также в результате ядерных взрывов. Искусственным путём созданы радиоизотопы всех известных элементов.

В связи с этим образуется радиационный фон, который отличается от естественного.

*Фон* – это доза ионизирующего излучения, которая создается естественным фоном и излучением посторонних источников.

В глобальном масштабе посторонними источниками являются искусственные радионуклиды, которые были выброшены в окружающую среду в результате испытаний ядерного оружия.

В любом помещении измеряется фон, так как там посторонними источниками являются продукты распада естественных изотопов, содержащихся в строительных материалах, т. е. в результате деятельности человека происходит накопление радиоизотопов в помещении или вблизи зданий и сооружений. Кроме того, строительные конструкции частично экранируют естественный фон. Фон в помещении, следовательно, может быть, как больше, так и меньше естественного.

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

Радиационный фон Земли складывается из естественного (природного) радиационного фона, технологически измененного естественного радиационного фона и искусственного радиационного фона. В настоящее время на территории СНГ мощность эквивалентной (экспозиционной) дозы, или природный радиационный фон, в среднем составляет 0,05–0,50 мкЗв/ч (5–50 мкР/ч), а для Беларуси – 0,1–0,2 мкЗв/ч (10–20 мкР/ч). Естественный радиационный фон в пределах: 0,1–0,2 мкЗв/ч (10–20 мкР/ч) признано считать нормальным; фон 0,2–0,6 мкЗв/ч (20–60 мкР/ч) считается допустимым; фон свыше 0,6–1,2 мкЗв/ч (60–120 мкР/ч) – повышенным.

## Используемые приборы.

*Индикатор радиоактивности РАДЭКС РД1503 (рисунок 5.1)*

Технические характеристики:

- Диапазон измерений мощности амбиентного эквивалента дозы от 0,05 до 9,99 мкЗв/ч.
- Диапазон измерений мощности экспозиционной дозы от 5 до 999 мкР/ч.
- Диапазон энергий регистрируемого гамма-излучения от 0,1 до 1,25 МэВ.
- Время измерения –  $40 \pm 0,5$  с.
- Время индикации показаний – непрерывно.

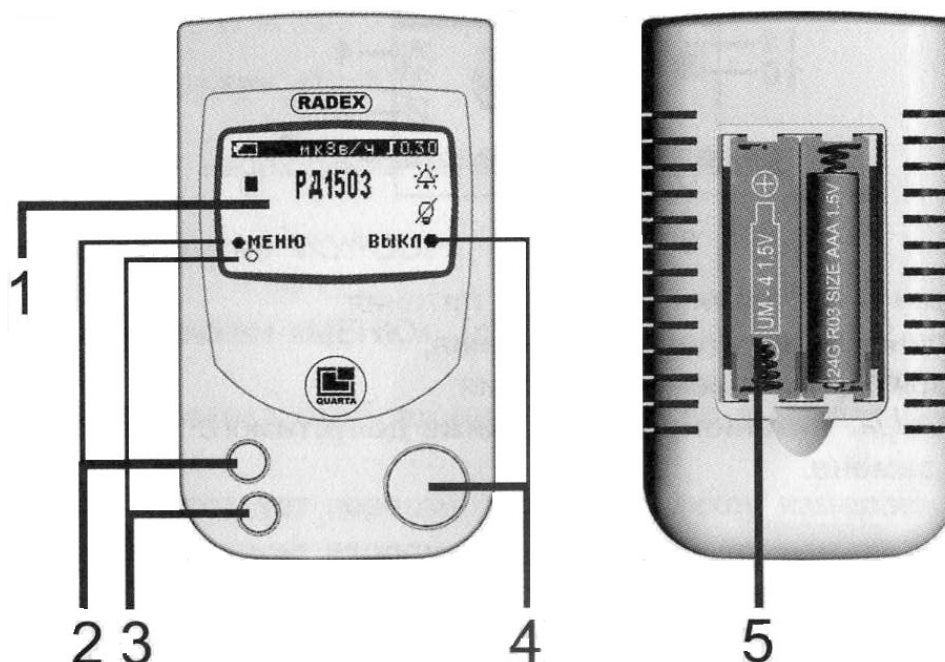


Рисунок 5.1 – Индикатор радиоактивности РАДЭКС РД1503:  
1 – ЖК-дисплей; 2 – кнопка «МЕНЮ» и её пиктограмма на дисплее;  
3 – кнопка «КУРСОР» и её пиктограмма на дисплее; 4 – кнопка «ВЫКЛ»  
и её пиктограмма на дисплее; 5 – батарейный отсек

### *Дозиметр-радиометр бытовой АНРИ-01-02 «СОСНА»*

Дозиметр-радиометр бытовой АНРИ-01-02 «СОСНА» (рис. 5.2) предназначен для индивидуального использования для контроля радиационной обстановки на местности, в жилых и рабочих помещениях, в том числе:

- измерения мощности экспозиционной дозы гамма-излучения (МЭД);
- измерения плотности потока бета-излучения с загрязненных поверхностей;
- оценки объемной активности радионуклидов в веществах.

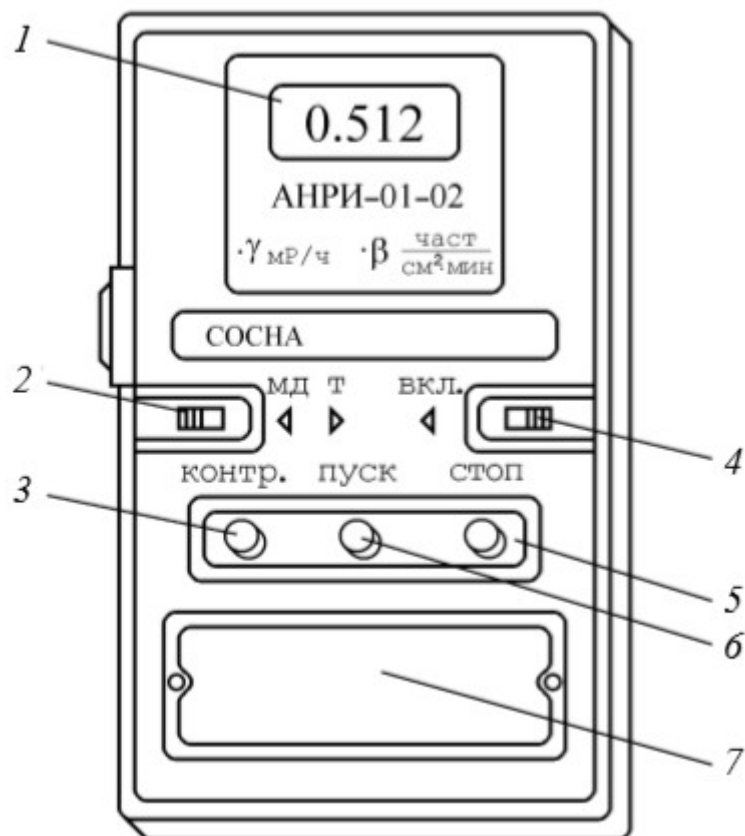


Рисунок 5.2 – Внешний вид дозиметра-радиометра АНРИ-01-02 «СОСНА»:  
 1 – цифровой индикатор; 2 – переключатель режимов работы; 3 – кнопка проверки прибора; 4 – кнопка включения и выключения прибора; 5 – кнопка остановки измерений; 6 – кнопка запуска измерений; 7 – отсек питания с легкосъёмной крышкой

Блок детектирования и измерительный блок смонтированы в едином пластмассовом корпусе размером 45×88×133 мм. Детектирование излучения осуществляется двумя газоразрядными цилиндрическими счетчиками Гейгера–Мюллера типа СБМ-20. Для индикации результатов измерений в приборе используется жидкокристаллический цифровой индикатор 1. Управление прибором осуществляется переключателем режимов работы 2, кнопками 3 – «КОНТР.», 6 – «ПУСК», 5 – «СТОП», выключателем 4. Источником питания служит батарея постоянного тока напряжением 9В типа «Корунд», размещенная в отсеке для питания, закрытом легкосъёмной крышкой 7.

Технические данные и характеристики прибора:

- Диапазон измерения мощности экспозиционной дозы гамма-излучения – 0,010–9,999 мР/ч.
- Диапазон измерения плотности потока бета-излучения с загрязненных поверхностей – 10–5000 частиц/(см<sup>2</sup> · мин).
- Диапазон оценки объемной активности растворов (по изотопу цезий-

137):  $5 \cdot 10^{-8} - 10^{-6}$  Ки/л ( $1,85 \cdot 10^3 - 3,7 \cdot 10^4$  Бк/л).

➤ Основная относительная погрешность измерения:

- мощности экспозиционной дозы гамма-излучения по цезию-137 не более  $\pm 30\%$ ;
- плотности потока бета-частиц от твердого плоского источника стронция-90 и иттрий-90 не более  $\pm 45\%$ .

### **Требования охраны труда при выполнении лабораторной работы**

К выполнению лабораторной работы допускаются лица, прошедшие инструктаж по охране труда и технике безопасности.

При работе с приборами запрещается:

1. Оставлять приборы без присмотра.
2. Работать с приборами, у которых сняты защитные крышки.
3. Самостоятельно устранять неисправность приборов.
4. Заметив нарушения кем-либо инструкции по технике безопасности, не оставайтесь к этому безучастным и предупредите нарушителя о необходимости соблюдать требования охраны труда и пожарной безопасности.

### **Порядок проведения работы**

*Измерение мощности экспозиционной дозы с помощью индикатора радиоактивности РАДЭКС РД1503*

Подготовить прибор к работе.

1. Включите прибор, для чего нажмите большую кнопку (поз. 4 рис. 5.1). На дисплее разворачивается «экран РД1503» (поз. 1 рис. 5.1) и начинается оценка радиационной обстановки. Результат наблюдения появляется на дисплее через 10 секунд.

2. Для входа в меню и изменения размерность измерений, а также других настроек, нажмите кнопку «МЕНЮ» (поз. 2 рис. 5.1). Кнопка имеет три функции: «МЕНЮ», «ВЫБОР», «ИЗМЕН». Появляется содержание меню. По умолчанию установлено:

- размерность – мкЗв/ч;
- порог – 0,30 мкЗв/ч;
- звук – тихо;
- подсветка – выключена.

Для перемещения курсора по пунктам меню и выбираемым значениям используйте кнопку «КУРСОР», нажимая на края кнопки (поз. 3 рис. 5.1).

ВЫБОР пункта меню и его изменение осуществляется кнопкой «МЕНЮ».

ВЫХОД из меню осуществляется кнопкой «ВЫКЛ» (поз. 4 рис. 5.1).

3. Установите курсор на надпись «Размерность» и нажмите кнопку «МЕНЮ» для последующего изменения.

4. Выберите с помощью кнопки «КУРСОР» необходимые для проведения эксперимента единицы измерения (мкР/ч) и нажмите кнопку «МЕНЮ» для изменения.

5. Вернитесь в главное меню, нажав кнопку «ВЫКЛ» (поз. 4 рис. 5.1).

6. Через 10 секунд на дисплее выводится первый результат короткого цикла и пиктограммы:

••	– соответствует первому короткому циклу измерения;
	– соответствует второму короткому циклу измерения;
	– соответствует третьему короткому.

Короткий цикл измерения равен 10 с и предназначен для быстрого получения предварительных результатов. Наиболее достоверный результат выводится на дисплей после первого (40 с) цикла измерения и отображается пиктограммой «|».

	– соответствует одному циклу измерения;
—	– соответствует двум циклам измерения;
— —	– соответствует трём циклам измерения;
— — —	– соответствует четырём и более циклам измерения.

Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом носит случайный характер, поэтому при малых значениях мощности экспозиционной дозы (на уровне естественного фона) может наблюдаться значительный разброс полученных результатов.

7. Проведите 10 циклов наблюдений, записывая показания каждого цикла измерений в таблицу 5.1.

8. После проведения измерений выключите прибор.

Таблица 5.1 – Результаты замеров

Используемые приборы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Мощность экспозиционной дозы, мкР/ч (РАДЭКС РД1503)										
Мощность экспозиционной дозы, мкР/ч (АНРИ-01-02 «Сосна»)										

*Измерение мощности экспозиционной дозы с помощью дозиметра-радиометра АНРИ-01-02 «Сосна»*

Подготовить прибор к работе

1. Переверните переключатель режима работы (поз. 3) в положение «МД».

2. Включите прибор, для чего выключатель питания (поз. 2 рис. 5.2) переведите в положение «ВКЛ». На цифровом табло должно индицироваться:

0.000
           или          0000

включение прибора должно сопровождаться коротким звуковым сигналом. Ес-

ли переключатель режима работы (поз. 3) находится в положении «МД», то после первого знака индицируется точка, если переключатель находится в положении «Т», то эта точка отсутствует.

3. Если прибор после включения издает постоянный звуковой сигнал, то необходимо установить новый элемент питания.

4. Убедитесь в исправности электронной пересчетной схемы и таймера прибора, для чего переключатель режима работы (поз. 3) должен быть в положение «МД». Нажмите кнопку «контр.» (поз. 4) и удерживайте ее в нажатом состоянии до конца проведения контрольной проверки, а затем кратковременно нажмите кнопку «пуск» (поз. 5). На цифровом табло должны появиться три точки между цифровыми знаками и начаться отсчет чисел. Через  $20 \pm 5$  с. отсчет чисел должен прекратиться, окончание отсчета должно сопровождаться коротким звуковым сигналом, а на табло должно индицироваться число

– для двух детекторов –

1.024

– для четырех детекторов –

0.512

После окончания отсчета отпустите кнопку «контр.».

5. Если при проведении контрольного теста индицируемое число отличается от указанного выше повторить еще раз контрольную проверку, как указано в пункте 4.

Работа в режиме измерения мощности экспозиционной дозы  $\gamma$ -излучения.

1. Подготовьте прибор к работе как описано выше.

2. Нажмите кратковременно кнопку «пуск». При этом на цифровом табло должны появиться точки после каждого разряда

0.0.0.0.

и начаться счет импульсов.

3. Через  $20 \pm 5$  секунд измерение закончится, что будет сопровождаться звуковым сигналом, а на цифровом табло фиксируется число с одной точкой, например:

0.012

Это показание прибора соответствует мощности экспозиционной дозы гамма-излучения в миллирентгенах в час (мР/ч). Для математической обработки результатов удобнее использовать целые числа, поэтому показания прибора необходимо умножить на 1000, что будет соответствовать мощности экспозиционной дозы гамма-излучения в микрорентгенах в час (мкР/ч).

4. Показание на цифровом табло сохранится до повторного нажатия на кнопку «пуск», пока не будет выключен прибор.

5. Повторите измерение 10 раз. Для выполнения повторного измерения необходимо кратковременно нажать кнопку «пуск», не выключая прибор. Полученные результаты занесите в таблицу 1.1 (см. выше).

6. После проведения измерений выключите прибор выключателем питания.

## **Статистическая обработка результатов**

Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом носит случайный характер, поэтому при малых значениях мощности экспозиционной дозы (на уровне естественного фона) может наблюдаться значительный разброс полученных результатов. Поэтому необходимо провести статистическую обработку полученных результатов (см. приложение А «Статистическая обработка данных»).

### **Контрольные вопросы:**

1. Что такое радиоактивность?
2. Виды ионизирующих излучений.
3. Что такое гамма-излучение?
4. Экспозиционная доза.
5. Естественный фон излучения.
6. Искусственный фон излучения.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 6 ДОЗИМЕТРИЯ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

**Цель работы:** *изучить характеристики дозиметрических приборов РАДЭКС РД1503 и РКСБ-104, научиться измерять мощность полевой эквивалентной дозы гамма-излучения*

### Основные теоретические положения

При прохождении ионизирующих излучений через различные вещества их энергия поглощается этими веществами. Главным образом она затрачивается на ионизацию, то есть превращение атомов и молекул в ионы.

Энергия ионизирующего излучения, поглощённая единицей массы вещества, называется *поглощённой дозой D*:

$$D = \frac{dE}{dm}, \quad (6.1)$$

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

Эта величина позволяет количественно оценить воздействие различных видов излучений в любой среде. В СИ поглощённую дозу излучения измеряют в *Греях* (Гр). Один грей соответствует поглощённой дозе излучения, при которой веществу массой 1 кг передается энергия ионизирующего излучения, равная 1 Дж (1 Гр = 1 Дж/кг).

Внесистемная единица поглощённой дозы 1 рад. Один рад соответствует поглощённой дозе излучения, при которой веществу массой 1 г передается энергия ионизирующего излучения равная 100 эрг (1 эрг =  $10^{-7}$  Дж). Таким образом: 1 Гр = 100 рад.

Поглощённая доза может быть определена в любом веществе и создаётся всеми видами ионизирующих излучений (альфа-, бета-, гамма-излучениями, потоками нейтронов и других элементарных частиц).

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.

Следует отметить, что 1 рентген экспозиционной дозы (по всему спектру  $\gamma$ -излучения до энергии 3 МэВ) соответствует поглощённой дозе в биологической ткани в 0,93 рад, т. е.  $1\text{Р} \approx 0,93\text{ рад}$ .

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

Эквивалентная доза ионизирующего излучения  $H$  определяется как поглощённая доза излучения  $D$ , умноженная на взвешивающий коэффициент излучения  $W_R$  и на модифицирующий фактор  $N$  (произведение эмпирических коэффициентов, которое в настоящее время принимается равным единице):

$$H = D \cdot W_R \cdot N = \sum_{j=1}^n D_j \cdot W_{Rj} \cdot N_j, \quad (6.2)$$

где  $j$  – индекс вида излучения.

Эквивалентная доза используется в радиационной безопасности для учёта вредных эффектов биологического воздействия различных видов ионизирующих излучений при хроническом облучении человека малыми дозами, не превышающими 250 мЗв/год. Её нельзя использовать для оценки последствий аварийного облучения человека, тогда используется только поглощённая доза. Стандартный состав биологической ткани принимается следующим (по массе): 10,1 % водорода, 11,1 % углерода, 2,6 % азота, 76,2 % кислорода.

Взвешивающий коэффициент (коэффициент качества излучения)  $W_R$  излучения характеризует степень разрушительного воздействия на биологический объект и показывает, во сколько раз данный вид излучения более опасен, чем фотонное излучение при одинаковой поглощенной дозе  $D$  (табл. 6.1)

Таблица 6.1 – Взвешивающие коэффициенты  $W_R$  для отдельных видов ионизирующего излучения

<i>Вид излучения и диапазон энергии</i>	<i>Взвешивающий коэффициент <math>W_R</math></i>
Фотоны всех энергий	1
Электроны всех энергий	1
Альфа-частицы	20
Нейтроны с энергией	
< 10 кэВ	5
от 10 кэВ до 100 кэВ	10
от 100 кэВ до 2 МэВ	20
от 2 МэВ до 20 МэВ	10
> 20 МэВ	5
Протоны с энергией более 2МэВ, кроме протонов отдачи	5
Альфа-частицы, осколки деления, тяжелые ядра	20

*Примечание.* Все значения относятся к излучению, падающему на тело, а в случае внутреннего облучения – испускаемому при ядерном превращении

В системе СИ единицей измерения эквивалентной дозы является *Зиверт* (Зв). Внесистемная единица – БЭР (*биологический эквивалент рада*).

$$1 \text{ Зв} = 100 \text{ БЭР}.$$

Так как средний коэффициент качества для  $\gamma$ -излучения равен 1, то величина поглощённой дозы, создаваемой этим излучением в воздухе, будет соответствовать эквивалентной дозе, образующейся в биологической ткани.

Измеряемая в воздухе величина получила название *полевой эквивалентной дозы  $\gamma$ -излучения*.

Для приближённых расчётов можно считать, что  $1 \text{ БЭР} = 1 \text{ Р} = 1 \text{ рад}$ .

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

$$\dot{H} = \frac{dH}{dt}, \quad (6.3)$$

где  $dH$  – приращение полевой эквивалентной дозы  $\gamma$ -излучения;  $dt$  – интервал времени.

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

Зная мощность полевой эквивалентной дозы и время облучения можно рассчитать величину эквивалентной дозы (дозовую нагрузку), получаемую человеком, по формуле:

$$H = \int_0^t \dot{H} \cdot dt. \quad (6.4)$$

Соотношение между единицами мощности экспозиционной дозы и полевой эквивалентной дозы  $\gamma$ -излучения: 1 мкР/ч = 0,01 мкЗв/ч или 100 мкР/ч = 1 мкЗв/ч.

Связь между системными и внесистемными единицами доз приведена в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Связь между системными и внесистемными единицами доз

Доза	Единица измерения		Соотношение единиц
	международная	внесистемная	
Экспозиционная	Кулон на кг воздуха, (Кл/кг)	Рентген, (Р)	1 Кл/кг=3876 Р
Поглощённая	Грей (Гр)	рад	1 Гр=100 рад
Индивидуальные:			
эквивалентная	Зиверт (Зв)	бэр	1 Зв=100 бэр
эффективная	Зиверт (Зв)	бэр	
ожидаемая эффективная	Зиверт (Зв)	бэр	
Коллективные:			
эффективная	человеко-зиверт (чел·Зв)	человеко-бэр (чел·бэр)	1 чел·Зв = = 100 чел·бэр
ожидаемая эффективная	(чел·Зв)	(чел·бэр)	

Биологический эффект воздействия ионизирующего вида излучения зависит от вида излучения, энергии частиц и гамма-квантов.

Средняя эквивалентная доза – среднее значение эквивалентной дозы  $H_T$  в ткани или органе Т с массой  $m_T$ .

Эффективная эквивалентная доза  $H_E$  – сумма средних эквивалентных доз  $H_T$  в различных органах, умноженных на соответствующие взвешивающие коэффициенты  $W_T$ :

$$H_E = \sum_T H_T \cdot W_T. \quad (6.5)$$

Взвешивающие коэффициенты  $W_T$  характеризуют отношение риска облучения данного органа или ткани к суммарному риску при равномерном облучении всего тела. Они позволяют выровнять риск облучения вне зависимости от равномерности облучения тела человека.

Международной комиссией по радиологической защите (МКРЗ) рекомендованы следующие значения взвешивающих коэффициентов для различных органов и тканей человека (табл. 6.3).

Таблица 6.3 – Значения взвешивающего коэффициента  $W_T$  (коэффициента радиационного риска) при равномерном облучении всего тела

Орган или ткань	$W_T$
1. Красный костный мозг	0,12
2. Толстый кишечник	0,12
3. Легкие	0,12
4. Желудок	0,12
5. Молочная железа	0,12
6. Остальные ткани*	0,12
7. Половые железы (гонады)	0,08
8. Мочевой пузырь	0,04
9. Пищевод	0,04
10. Печень	0,04
11. Щитовидная железа	0,04
12. Костная поверхность	0,01
13. Кожа	0,01
14. Головной мозг	0,01
15. Слюнные железы	0,05
<b>Всего</b>	<b>1,00</b>

\*Остальные ткани: надпочечники, ткани экстрагикального отдела, желчный пузырь, сердце, почки, лимфоузлы, мышечная ткань, слизистая полости рта, поджелудочная железа, тонкий кишечник, селезенка, тимус, предстательная железа (мужчины), матка/шейка матки (женщины).

Коллективная эквивалентная доза  $H_{КОЛ}$  – это сумма индивидуальных эквивалентных доз у данной группы людей, умноженных на число людей в этой группе:

$$H_{КОЛ} = \sum_i H_i \cdot P_i, \quad (6.6)$$

где  $P_i$  – число лиц в данной группе, получивших эквивалентную дозу  $H_i$ .

Коллективная эквивалентная доза выражается в человеко-зивертах или человеко-бэрах: 1чел.-Зв = 100 чел.-бэр.

Все отдалённые последствия воздействия ионизирующих излучений на людей (онкологические, мутагенные) носят случайный характер и их вероятность рассчитывается исходя из величины коллективной эквивалентной дозы.

## **Используемые приборы:**

### *Индикатор радиоактивности РАДЭКС РД1503*

#### Технические характеристики:

- Диапазон измерений мощности амбиентного эквивалента дозы от 0,05 до 9,99 мкЗв/ч.
  - Диапазон измерений мощности экспозиционной дозы от 5 до 999 мкР/ч.
  - Диапазон энергий регистрируемого гамма-излучения от 0,1 до 1,25 МэВ.
  - Время измерения –  $40 \pm 0,5$  с.
- Время индикации показаний – непрерывно.  
Схема прибора представлена в лабораторной работе 1.

### *Прибор комбинированный для измерения ионизирующих излучений «РКСБ-104»*

Прибор «РКСБ-104» (рисунок 6.1) 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 бета-излучения с поверхности.
- Удельной активности бета-излучающих радионуклидов в веществах.

#### Технические характеристики:

- Диапазон измерений мощности полевой эквивалентной дозы гамма-излучения – 0,1–99,99 мкЗв/ч.
- Диапазон измерений плотности потока бета-излучения с поверхности – 0,1–99,99  $1/(с \cdot см^2)$  или 6–6000  $1/(мин \cdot см^2)$ .
- Диапазон измерений удельной активности бета-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.
- Диапазон энергии регистрируемых излучений: бета-излучения – 0,5–3,0 МэВ; гамма-излучения – 0,06–1,25 МэВ.
- Пределы допускаемых значений основной погрешности измерений: мощности полевой эквивалентной дозы – до 40 %; плотности потока бета-излучения – до 60 %; удельной активности – до 60 %.

При минимальном значении измеряемой величины требуется максимальное время проведения замеров.

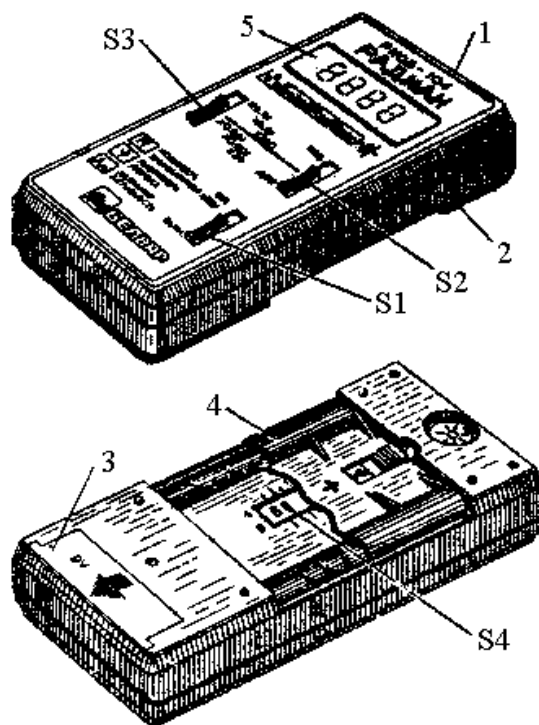


Рисунок 6.1 – Общий вид прибора «РКСБ-104»:

1 – корпус; 2 – задняя крышка; 3 – съёмная крышка отсека питания;  
4 – крышка-фильтр; 5 – жидкокристаллический индикатор; S1 – выключатель питания; S2 – переключатель режима работы прибора; S3 – тумблер переключения поддиапазонов; S4 – кодовый переключатель рода работ

### **Требования охраны труда при выполнении лабораторной работы**

К выполнению лабораторной работы допускаются лица, прошедшие инструктаж по охране труда и технике безопасности.

При работе с приборами запрещается:

1. Оставлять приборы без присмотра.
2. Работать с приборами, у которых сняты защитные крышки.
3. Самостоятельно устранять неисправность приборов.

Заметив нарушения кем-либо инструкции по технике безопасности, не оставайтесь к этому безучастным и предупредите нарушителя о необходимости соблюдать требования охраны труда и пожарной безопасности.

### **Порядок проведения работы**

*Измерение мощности полевой эквивалентной дозы с помощью индикатора радиоактивности РАДЭКС РД1503*

Подготовить прибор к работе.

1. Включите прибор, для чего нажмите большую кнопку (поз. 4 рис. 5.1). На дисплее разворачивается «экран РД1503» (поз. 1 рис. 5.1) и начинается оценка радиационной обстановки. Результат наблюдения появляется на дисплее через 10 секунд.

2. Для входа в меню и изменения размерность измерений, а также других настроек, нажмите кнопку «МЕНЮ» (поз. 2 рис. 5.1). Появляется содержание меню. По умолчанию установлено:

- размерность – мкЗв/ч;
- порог – 0,30 мкЗв/ч;
- звук – тихо;
- подсветка – выключена.

Для перемещения курсора по пунктам меню и выбираемым значениям используйте кнопку «КУРСОР», нажимая на края кнопки (поз. 3 рис. 5.1).

ВЫБОР пункта меню и его изменение осуществляется кнопкой «МЕНЮ».

ВЫХОД из меню осуществляется кнопкой «ВЫКЛ» (поз. 4 рис. 5.1).

3. Установите курсор на надпись «Размерность» и нажмите кнопку «МЕНЮ» для последующего изменения.

4. Выберите с помощью кнопки «КУРСОР» необходимые для проведения эксперимента единицы измерения (мЗР/ч) и нажмите кнопку «МЕНЮ» для изменения.

5. Вернитесь в главное меню, нажав кнопку «ВЫКЛ» (поз. 4 рис. 5.1).

6. Через 10 секунд на дисплее выводится первый результат короткого цикла и пиктограммы:

••	– соответствует первому короткому циклу измерения;
	– соответствует второму короткому циклу измерения;
	– соответствует третьему короткому.

Короткий цикл измерения равен 10 с и предназначен для быстрого получения предварительных результатов. Наиболее достоверный результат выводится на дисплей после первого (40 с) цикла измерения и отображается пиктограммой «|».

	– соответствует одному циклу измерения;
┌	– соответствует двум циклам измерения;
┌┌	– соответствует трём циклам измерения;
┌┌┌	– соответствует четырём и более циклам измерения.

Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом носит случайный характер, поэтому при малых значениях мощности экспозиционной дозы (на уровне естественного фона) может наблюдаться значительный разброс полученных результатов.

7. Проведите 10 циклов наблюдений, записывая показания каждого цикла измерений в таблицу 6.4.

8. После проведения измерений выключите прибор.

Таблица 6.4 – Результаты замеров

Используемые приборы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Мощность полевой эквивалентной дозы, мкЗв/ч (РАДЭКС РД1503)										
Мощность полевой эквивалентной дозы, мкЗв/ч (РКСБ-104)										

*Измерение мощности полевой эквивалентной дозы с помощью радиометра РКСБ-104*

1. Снять заднюю крышку-фильтр (4) прибора. Для этого необходимо сдвинуть вниз запирающую защелку (5) и, подав на себя верхнюю часть крышки-фильтра, извлечь её *осторожным* движением вверх.

2. Установить движки кодового переключателя S4 следующим образом (рис. 3.2):

S4.1, S4.3, S4.7, S4.8 в положение «0»;

S4.2, S4.4, S4.5, S4.6 в положение «1».

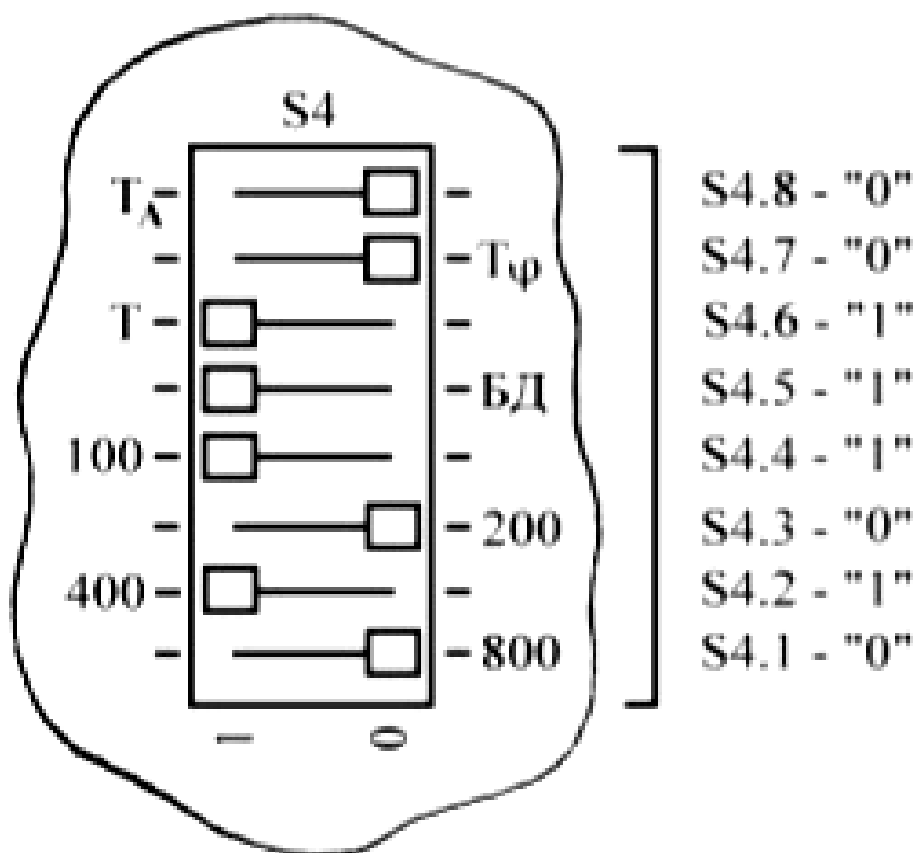


Рисунок 6.2 – Положение движков кодового переключателя

3. Установить на место крышку-фильтр.
4. Перевести органы управления прибора тумблера S2 и S3 в верхнее положение («MESS» для S2 и «x0.01  
x0.01  
x200» для S3).
5. Перевести тумблер S1 (красного цвета) в верхнее положение («EIN»).
6. Через 28 секунд прибор выдаст прерывистый звуковой сигнал, в правом нижнем углу табло индикатора появиться символ «F».
7. Появившееся на табло индикатора 4-х разрядное число необходимо умножить на пересчётный коэффициент (который указывается тумблером S3 и составляет 0,01 при измерениях мощности полевой эквивалентной дозы), что даст величину в микрозивертах в час (мкЗв/ч).
8. Время индикации установившегося значения около 14 секунд, за это время необходимо занести полученный результат в таблицу 2.
9. После прекращения звукового сигнала прибор автоматически повторяет измерение, получить 10 результатов и занести их в таблицу 3.4.
10. Выключить прибор, для чего перевести тумблер S1 (красного цвета) в нижнее положение («AUS»).

### **Статистическая обработка результатов**

Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом носит случайный характер, поэтому при малых значениях мощности полевой эквивалентной дозы (на уровне естественного фона) может наблюдаться значительный разброс полученных результатов. Поэтому необходимо провести статистическую обработку полученных результатов (см. приложение А «Статистическая обработка данных»).

### **Контрольные вопросы:**

1. Что такое поглощенная доза?
2. Что такое эквивалентная доза?
3. Взвешивающий коэффициент (коэффициент качества излучения).
4. Что такое эффективная эквивалентная доза?
5. Что такое коллективная эквивалентная доза?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 7 ОПРЕДЕЛЕНИЕ БЕТА-АКТИВНОСТИ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ МЕТОДОМ РАДИОМЕТРИИ

**Цель работы:** *изучить характеристики стационарного радиометра КРВП-3Б и научиться с его помощью измерять объёмную активность в твёрдых пробах.*

### Основные теоретические положения

*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.

К ионизирующим относятся альфа-, бета- и гамма-излучения.

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

$$A = \frac{-dN}{dt}. \quad (7.1)$$

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

$$A = \lambda \cdot N, \quad (7.2)$$

где  $\lambda$  – 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 ( ${}^{226}_{88}Ra$ ) за 1 секунду.  $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$ .

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

$$A_m = \frac{A}{m}. \quad (7.3)$$

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

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

$$A_V = \frac{A}{V}. \quad (7.4)$$

Объёмная активность обычно измеряется в Ки/л.

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

$$A_s = \frac{A}{S}. \quad (7.5)$$

Поверхностная активность обычно измеряется в Ки/кг.

В настоящее время имеется три основных радиоактивных элемента, обуславливающих фон и загрязнение среды:  $^{137}\text{Cs}$  – источник гамма-излучения (энергия фотонов 662 кэВ) и бета-излучения (граничная энергия 520 кэВ),  $^{90}\text{Sr}$  – источник бета-излучения (граничные энергии двух бета-переходов 546 кэВ и 2274 кэВ),  $^{239}\text{Pu}$  – источник альфа-излучения (энергия альфа частиц 5,1 МэВ).

Поскольку разные виды излучений обладают различной поражающей способностью, при исследовании загрязнения различают  $\gamma$ -,  $\beta$ - и  $\alpha$ -активные радионуклиды. Универсальных приборов, позволяющих в полной мере решать эту задачу, нет. Радиометрический контроль реализуется по гамма-излучению цезия-137; радиометрия бета- и альфа-излучения требует, как правило, радиохимического выделения элементов. Связь между радиометрическими и дозиметрическими величинами представлена в таблице 7.1

Таблица 7.1 – Связь между радиометрическими и дозиметрическими величинами

Уровень загрязненности территории		Мощность экспозиционной дозы, мкР/ч	Мощность эквивалентной дозы, мЗв/год
Ки/км <sup>2</sup>	МБк/м <sup>2</sup>		
5	0,185	75	4
15	0,555	225	12
30	1,11	450	24
40	1,48	600	32
60	2,12	900	48
146,5	5,42	2200	117

Поверхностная активность используется как характеристика загрязнённости территорий, пострадавших в результате аварии на ЧАЭС. Загрязнённость территорий измеряется в Ки/км<sup>2</sup> по отдельным радионуклидам: цезию-137, стронцию-90 или плутонию-239.

Загрязнёнными считаются территории с поверхностной активностью по цезию-137 более 1 Ки на км<sup>2</sup>. Люди, проживающие в зоне с загрязнённостью по цезию-137 от 5 до 15 Ки/км<sup>2</sup> имеют право на отселение, а свыше 15 Ки/км<sup>2</sup> должны быть обязательно отселены. При загрязнённости по цезию-137 свыше 40 Ки/км<sup>2</sup> территории относятся к зоне отчуждения и там запрещена всякая деятельность кроме научной.

Товарная сельхозпродукция может производиться на территориях с загрязнением по цезию-137 до 5 Ки/км<sup>2</sup>.

Чтобы избежать значительного внутреннего облучения в результате употребления в пищу загрязнённых радионуклидами продуктов, в республике налажен радиационный контроль за продуктами питания и разработаны «РЕСПУБЛИКАНСКИЕ ДОПУСТИМЫЕ УРОВНИ СОДЕРЖАНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ ЦЕЗИЯ-137 И СТРОНЦИЯ-90 В ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТАХ И ПИТЬЕВОЙ ВОДЕ (РДУ- 99)» (приложение Б).

### **Используемые приборы:**

#### *Радиометр КРВП-3Б*

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

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

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

➤ методом с предварительным обогащением от  $1 \cdot 10^{-10}$  до  $1 \cdot 10^{-8}$  Ки/л при измерении бета-активности воды, загрязнённой радионуклидами стронций-90 + иттрий-90;

➤ пределы допускаемых значений основной погрешности радиометра не должны превышать  $\pm 20$  % относительно измеряемого значения источника бета-излучения с радионуклидами стронций-90 + иттрий-90.

Общий вид основных блоков представлен на рисунках 7.1–7.3.

**Пересчётный блок:** Пересчётный блок состоит из литого металлического корпуса и шасси, на котором смонтированы все узлы. На лицевой панели расположены все органы управления пересчётного блока: выключатель питающей сети, тумблер рода работ (работа с блоком детектирования или проверка), ось резистора регулировки уровня дискриминации (под шлиц). Кроме того, на лицевой панели установлены часы 59ЧП с кнопкой ПУСК и ручкой ЗАВОД, под колпачком установлена вставка плавкая. Для подсчёта количества зарегистрированных импульсов на лицевую панель выведены декастроны. Номерная шкала декастронов даёт возможность отсчитывать количество импульсов при остановке счёта.

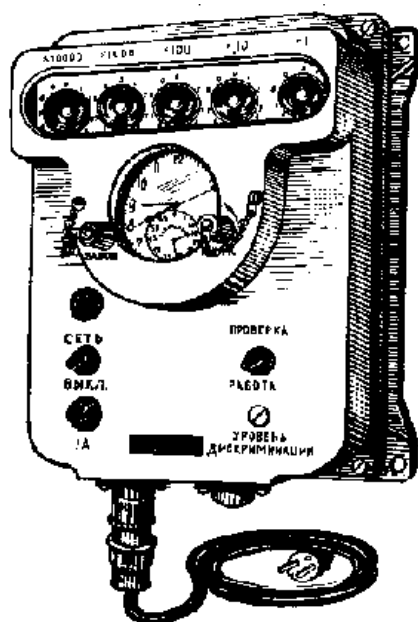


Рисунок 7.1 – Пересчётный блок

**Блок детектирования бета-излучения:** Блок детектирования бета-излучения смонтирован в плоском пластмассовом корпусе. Блок детектирования помещается на специальном держателе в свинцовый домик, чтобы уменьшить влияние гамма-фона на результаты измерения низких уровней бета-активности воды и пищевых продуктов. Домик является разборным. Передняя стенка откидывается, открывая доступ внутрь домика. К верхней стенке домика с внутренней стороны прикреплён блок детектирования бета-излучения. К боковым стенкам домика прикреплены направляющие для установки кюветы с водой или продуктами питания, или кассеты с фильтром. Внутренние стенки домика изготовлены из трехмиллиметрового оргстекла. Толщина свинцовых стенок 30 мм.

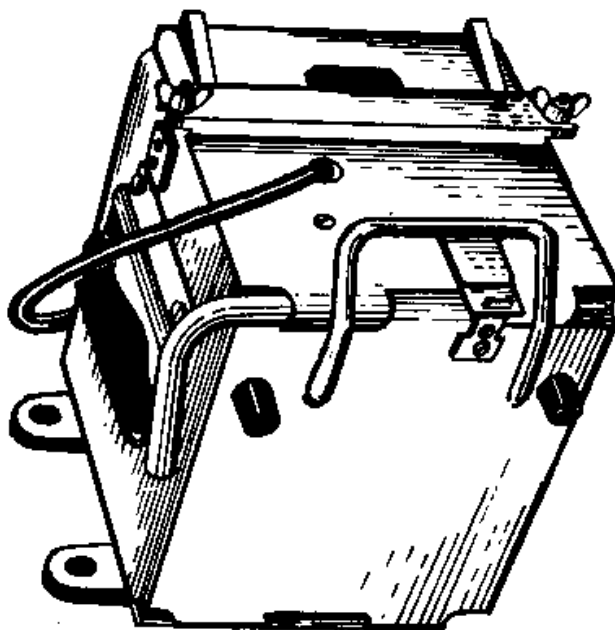


Рисунок 7.2 – Блок детектирования бета-излучения

**Блок обработки:** Блок обработки служит для получения обогащённых проб из воды при измерении малых бета-активностей. Блок обработки состоит из отлитых из сплава АЛ9 основания и корпуса с крышками, в которых размещён резервуар для контролируемого продукта и привод электродвигателя. Для удобства работы с блоком обработки, извлечения держателей и резервуара для слива проб крышка резервуара с закреплённым на ней электродвигателем поднимается вверх. Фиксация крышки в горизонтальном положении обеспечивается упорами. На передней части блока расположен тумблер «СЕТЬ-ВЫКЛ» (Электродвигатель). Тумблер служит для включения электродвигателя.

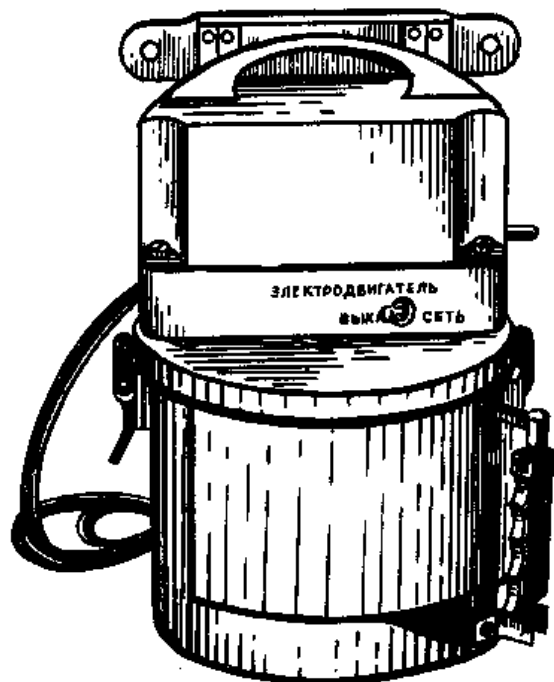


Рисунок 7.3 – Блок обработки

### **Требования охраны труда при выполнении лабораторной работы**

К выполнению лабораторной работы допускаются лица, прошедшие инструктаж по охране труда и технике безопасности.

При работе с приборами запрещается:

1. Оставлять приборы без присмотра.
2. Работать с приборами, у которых сняты защитные крышки.
3. Самостоятельно устранять неисправность приборов.
4. Заметив нарушения кем-либо инструкции по технике безопасности, не оставайтесь к этому безучастным и предупредите нарушителя о необходимости соблюдать требования охраны труда и пожарной безопасности.

### **Порядок проведения работы**

*Измерение объёмной активности бета-излучающих радионуклидов в твёрдой пробе прямым методом*

1. Установить в блок детектирования на верхнюю полочку (вплотную к детектору) пустую кювету.
2. Закрывать 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-х минут и повторным нажатием кнопки ПУСК остановить подсчет импульсов.
5. Полученный результат занести в строку  $N_{\phi}$  таблицы 7.2.

Таблица 7.2 – Результаты измерения объёмной активности

№	1	2	3	4	5	6	7
$N_{\phi}$							
$N_{\Pi}$							

6. Повторить измерение фона 7 раз и полученные результаты занести в строку  $N_{\phi}$  таблицы 7.2.
7. В кювету после измерения фона насыпать пробу твёрдого вещества и тщательно разровнять её по внутренней кромке кюветы.
8. Кювету с пробой поместить в свинцовый домик на верхнюю полку держателя, под рабочее окно детектора.
9. Нажатием кнопки секундомера ПУСК включить пересчётную схему. Произвести измерение в течение 3-х минут и повторно нажать кнопку ПУСК.
10. Занести полученный результат в строку  $N_{\Pi}$  таблицы 7.2.
11. Повторить измерение пробы 7 раз и полученные результаты занести в строку  $N_{\Pi}$  таблицы 7.

### Статистическая обработка результатов

Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом носит случайный характер, поэтому необходимо провести статистическую обработку полученных результатов (см. приложение А «Статистическая обработка данных»).

12. По результатам измерений произвести расчёт объёмной активности пробы по формуле:

$$A_V = \frac{N_{\Pi_{\text{ср}}} - N_{\phi_{\text{ср}}}}{P \cdot t}, \quad (7.6)$$

где  $A_V$  – объёмная активность пробы, Ки/л;  $N_{\Pi_{\text{ср}}}$  – среднее число импульсов при измерении пробы;  $N_{\phi_{\text{ср}}}$  – среднее число импульсов при измерении фона;  $t$  – время измерения, с;  $P$  – значение чувствительности радиометра к смеси радионуклидов в пробе, л/(Ки·с) (табл. 7.3).

Таблица 7.3 – Чувствительность радиометра КРВП-3Б при измерении объёмной активности стандартных образцов имитантов проб

Радионуклидный состав	Чувствительность радиометра, л/(Ки·с)
$^{137}\text{Cs}, ^{134}\text{Cs}$ (изотопы цезия)	$1,2 \cdot 10^7$
$^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ (изотопы стронция и иттрия)	$4,1 \cdot 10^7$
$^{144}\text{Ce} + ^{144}\text{Pr}$ (изотопы церия и празеодима)	$5,2 \cdot 10^7$
$^{106}\text{Ru} + ^{106}\text{Rh}$ (изотопы рутения и родия)	$5,6 \cdot 10^7$
$^{40}\text{K}$ (изотоп калия-40)	$4,1 \cdot 10^7$

*ПРИМЕР.* Определение чувствительности радиометра при известном радионуклидном составе загрязнения пробы и следующем относительном содержании радионуклидов в смеси:  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{134}\text{Cs}$  – 30 %;  $^{106}\text{Ru} + ^{106}\text{Rh}$  – 20 %;  $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$  – 10 %;  $^{144}\text{Ce} + ^{144}\text{Pr}$  – 40 %.

Используя приведённую выше формулу, рассчитать чувствительность:

$$P = 1,2 \cdot 10^7 \cdot 0,3 + 5,6 \cdot 10^7 \cdot 0,2 + 4,1 \cdot 10^7 \cdot 0,1 + 5,2 \cdot 10^7 \cdot 0,4 = 3,97 \cdot 10^7.$$

При измерении проб, содержащих различные соли калия чувствительность прибора  $P = 4,1 \cdot 10^7$  л/(Ки·с).

По результатам проведенных измерений рассчитать долю распадающихся за 1 секунду ядер калия-40 в 1 кг исследуемого вещества.

1. Определить количество распадающихся за 1 секунду ядер калия-40 в 1 литре исследуемого вещества:

$$A_v \left[ \frac{\text{Бк}}{\text{л}} \right] = A_v \left[ \frac{\text{Ки}}{\text{л}} \right] \cdot 3,7 \cdot 10^{10}. \quad (7.7)$$

2. определить количество распадающихся за 1 секунду ядер калия-40 в 1 кг исследуемого вещества, используя значение плотности этого вещества:

$$A_m \left[ \frac{\text{Бк}}{\text{кг}} \right] = \frac{A_v \left[ \frac{\text{Бк}}{\text{л}} \right]}{\rho}, \quad (7.8)$$

где  $\rho$  – плотность вещества, г/см<sup>3</sup> (плотности различных соединений калия приведены в табл. 4.4).

3. Определить молярную массу исследуемого вещества по таблице Менделеева (приложение Б)

4. Найти общее количество всех изотопов калия в 1 кг исследуемого вещества, используя число Авогадро:

$$N_K = n \cdot N_A \cdot \left( \frac{m}{M} \right), \quad (7.9)$$

где  $n$  – количество ядер калия в одной молекуле исследуемого вещества,  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$  моль<sup>-1</sup> – число Авогадро;  $m$  – масса навески исследуемого вещества, 1000 г;  $M$  – молярная масса исследуемого вещества, г/моль;

5. Найти долю распадающихся за 1 секунду ядер калия, разделив число распадающихся за 1 секунду ядер калия  $\Delta m$  на общее число ядер калия  $N_K$ .

Таблица 7.4 – Плотности соединений калия в г/см<sup>3</sup>

Вещество	KCl	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	KNO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	K <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	KMnO <sub>4</sub>	KOH
Плотность $\rho$	1,98	2,66	2,109	2,127	2,564	2,703	2,044

**Контрольные вопросы:**

1. Что такое активность?
2. 1г какого химического элемента имеет активность 1 Ки?
3. Каким нормативным документом устанавливаются нормы содержания радионуклидов цезия-137 и стронция-90 в продуктах питания?
4. Состав радиометра КРВП-3Б.
5. Как по известной удельной объемной активности образца определить его удельную массовую активность?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 8 ОПРЕДЕЛЕНИЕ БЕТА-АКТИВНОСТИ ИСТОЧНИКА ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

**Цель работы:** изучить характеристики прибора комбинированного «РКС-107» и научиться измерять плотность потока бета-излучения с поверхности.

### Основные теоретические положения

*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.

*Нейтрино* – легкая стабильная элементарная электрически нейтральная частица. *Антинейтрино* – античастица для нейтрино.

Известны три вида бета-распада:  $\beta^-$  – (электронный),  $\beta^+$  (позитронный) и электронный (или  $K^-$ ) захват (табл. 8.1)

Таблица 8.1 – Виды бета-распада

Вид распада	Схема распада	Энергетическое условие распада
$\beta^-$	${}^A_ZX \rightarrow {}^A_{Z+1}Y + e^- + \bar{\nu}$	${}^A_ZM \rightarrow {}^A_{Z+1}M + m_e$
$\beta^+$	${}^A_ZX \rightarrow {}^A_{Z-1}Y + e^+ + \nu$	${}^A_ZM \rightarrow {}^A_{Z-1}M + m_e$
$K^-$ -захват	$e^- + {}^A_ZX \rightarrow {}^A_{Z+1}Y + \nu$	$(m_e + {}^A_ZM) \rightarrow {}^A_{Z+1}M$

*Примечание.*  $A$  – массовое число;  $Z$  – зарядовое число (порядковый номер в периодической таблице элементов);  $X$  и  $Y$  – символы химических элементов;  $M$  – масса ядра;  $m_e$  – масса электрона;  $\nu$  и  $\bar{\nu}$  – символы нейтрино и антинейтрино.

Бета-частицы рождаются при радиоактивном распаде, причем бета-распад – процесс внутринуклонный, при котором в ядре распадается один нуклон.

В результате электронного бета-распада активным является свободный нейтрон, распадающийся на протон, электрон и антинейтрино. Масса ядра прежняя, а заряд увеличивается на единицу:  $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}$ .

Позитронный бета-распад – образуется ядро с прежней массой и зарядом, уменьшенным на единицу. При этом распаде в ядре распадается одиночный протон с образованием нейтрона, позитрона и нейтрино:  $p \rightarrow n + e^+ + \nu$ .

Позитрон стабилен, но в веществе существует лишь короткое время (доли секунды) из-за аннигиляции с электронами. При электронном захвате ядро поглощает один из электронов, расположенных на внутренних орбитах атома

(чаще К-слоя):  $e^{-} + p \rightarrow n + \nu$ .

Место захваченного электрона сразу же занимает электрон с более высокого уровня, при этом испускается рентгеновское излучение.

У естественных радиоизотопов наблюдается только  $\beta^{-}$  – распад.

Типичные представители бета-активных ядер: калий-40, стронций-90, цезий-137 (первый из них – естественного происхождения, два других – результаты аварии на Чернобыльской АЭС). Основные загрязнители территории Республики Беларусь после аварии на ЧАЭС – цезий-137 и стронций-90 - являются  $\beta^{-}$  -активными и распадаются согласно уравнениям (рис. 8.1 и 8.2):

Ядра цезия-137, наряду с бета-частицами, испускают гаммакванты с энергией 661 кэВ (рис. 8.1). Стронций-иттриевый источник является чистым бета-излучателем; он содержит два компонента с граничными максимальными энергиями 546 кэВ и 2274 кэВ соответственно (рис. 8.2).

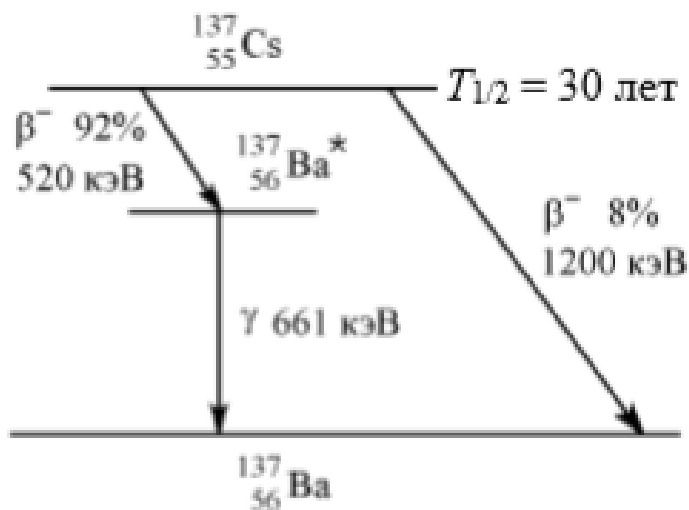


Рисунок 8.1 – Схема распада ядра цезия-137

*Период полураспада*, т.е. время в течение, которого количество имеющихся радиоактивных ядер уменьшается в два раза, для стронция-90 составляет 28,6 года, для цезия-137 – 30,174 года соответственно. Период полураспада калия-40 составляет  $1,28 \cdot 10^9$  лет.

Естественный радиоизотоп калий-40 также является  $\beta^{-}$  -активным и распадается согласно уравнению (рис. 8.3).

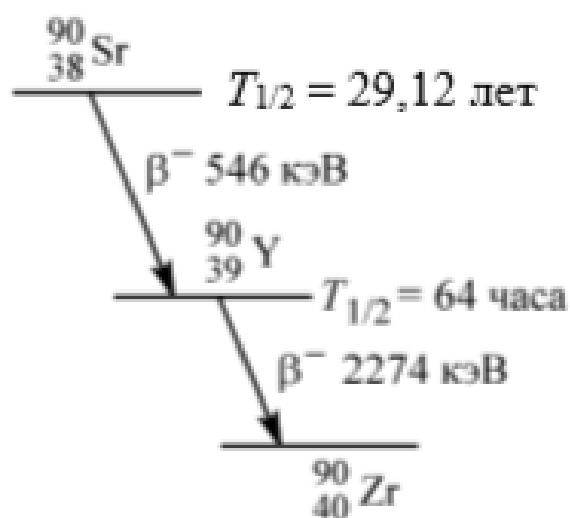


Рисунок 8.2 – Схема распада ядра стронция-90

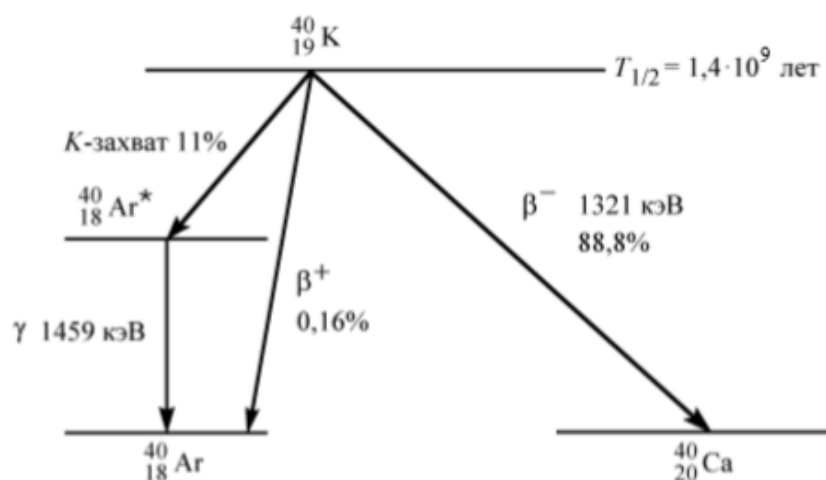


Рисунок 8.3 – Схема распада изотопа калия-40

Бета-радиометрия имеет свои особенности, которые обусловлены непрерывным энергетическим спектром бета-частиц и небольшой длиной пробега в жидких и твердых веществах.

На поверхностях различных строительных материалов с наибольшей вероятностью могут находиться изотопы стронций-90, цезий-137 или калий-40, в результате распада которых образуется поток бета-частиц.

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

$$F = dN/dt. \quad (8.1)$$

*Плотность потока ионизирующих частиц* – это отношение потока ионизирующих частиц  $dF$ , проникающих в объем элементарной сферы к площади центрального поперечного сечения  $dS$  этой сферы:

$$\varphi = dF/dS = d^2N/dt \cdot dS. \quad (8.2)$$

Плотность потока измеряется в частицах на см<sup>2</sup> за минуту (1/см<sup>2</sup>·мин или см<sup>-2</sup>·мин<sup>-1</sup>), а также в частицах на см<sup>2</sup> за секунду (1/см<sup>2</sup>·с или см<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup>).

### **Используемые приборы:**

#### *Прибор комбинированный «РКС-107»*

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

- мощности эквивалентной дозы в точке поля гамма-излучения (далее именуется мощностью полевой эквивалентной дозы);
- плотности потока бета-излучения с поверхности, загрязненной 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.

#### Технические характеристики:

➤ Диапазон измерений: мощности полевой эквивалентной дозы гамма-излучения – 0,1–999 мкЗв/ч; плотности потока бета-излучения с поверхности, загрязненной радионуклидами стронция-90 + иттрия-90 – 0,1–999 1/(с·см<sup>2</sup>); удельной активности радионуклида цезий-137 – 2–9990 Бк/г.

➤ Диапазон энергии регистрируемого гамма-излучения – 0,0595–1,25 МэВ.

➤ пределы допускаемых значений основных относительных погрешностей измерений: мощности полевой эквивалентной дозы гамма-излучения – ±30 %; плотности потока бета-излучения с поверхности – до 45 %; удельной активности радионуклида цезий-137 – до 35 %.

➤ Время установления рабочего режима прибора не превышает (в начале каждого диапазона измерений): при измерениях мощности полевой эквивалентной дозы гамма-излучения – 53 ± 1,2 с., при измерениях плотности потока бета-излучения с поверхности – 37 ± 1,0 с., при измерениях удельной активности радионуклида цезий-137 – 240 ± 6,0 с.

Время установления рабочего режима автоматически уменьшается с увеличением каждой из измеряемых величин. Общий вид прибора «РКС-107» приведен на рисунке 8.4.

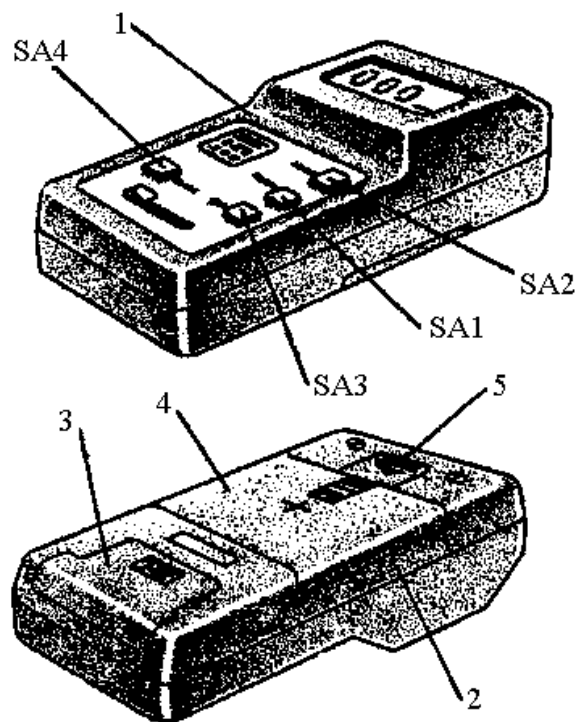


Рисунок 8.4 – Общий вид прибора комбинированного «РКС-107»:  
 1 – корпус прибора; 2 – крышка прибора; 3 – крышка отсека питания;  
 4 – съемная крышка-фильтр; SA1 – кнопка переключения режима работы;  
 SA2 – кнопка запуска измерений; SA3 – кнопка включения питания;  
 SA4 – кнопка выключения питания

### **Требования охраны труда при выполнении лабораторной работы**

К выполнению лабораторной работы допускаются лица, прошедшие инструктаж по охране труда и технике безопасности.

При работе с приборами запрещается:

1. Оставлять приборы без присмотра.
2. Работать с приборами, у которых сняты защитные крышки.
3. Самостоятельно устранять неисправность приборов.

Заметив нарушения кем-либо инструкции по технике безопасности, не оставайтесь к этому безучастным и предупредите нарушителя о необходимости соблюдать требования охраны труда и пожарной безопасности.

### **Порядок проведения работы**

Подготовка прибора «РКС-107» к работе.

1. Проверьте работоспособность прибора, для чего:

- нажмите кнопку включения «ВКЛ»; при этом на табло жидкокристаллического индикатора должны появиться символы «000», а указатель режима работы – показать на режим измерения мощности полевой эквивалентной дозы «мкЗв/ч»;

- нажмите кнопку «ПУСК»; при этом на табло появится точка между

1-ым и 2-ым цифровыми символами и начнет пульсировать указатель режима работы.

Примерно через 53 с. прибор должен зарегистрировать значение мощности полевой эквивалентной дозы внешнего гамма-излучения в микрозивертах в час. В момент регистрации измеренной величины раздается кратковременный звуковой сигнал. Указатель режима работы перестает пульсировать, показания устанавливаются до повторного нажатия кнопки пуска или автоматического выключения прибора кнопкой «ВЫКЛ».

Прибор работоспособен, если он регистрирует на табло внешний фон гамма-излучения, символ разряда батареи отсутствует, а прибор автоматически отключается через 20–40 с. после окончания измерений;

➤ выключите прибор кнопкой «ВЫКЛ».

2. Аналогично можно проверить работоспособность прибора при других положениях указателя режима его работы – « $1/(с \cdot см^2)$ » и «Бк/г · 10». Режим работы выбирается нажатием кнопки «РЕЖИМ». Прибор регистрирует фоновые значения плотности потока бета-излучения и удельной активности. Время измерений будет равным, соответственно,  $37 \pm 1,0$  с. и  $240 \pm 6$  с.

На этом подготовка прибора к работе и проверка его работоспособности заканчивается.

*Измерение плотности потока бета-излучения с поверхности с помощью прибора «РКС-107»*

1. Включите прибор, нажав кнопку «ВКЛ».

2. Нажмите кнопку «РЕЖИМ» и установите указатель режима работы прибора в положение « $1/(с \cdot см^2)$ » – среднее положение на индикаторе.

3. Не поднося прибор к исследуемой поверхности источника ионизирующего излучения ближе, чем на расстояние 150 см, нажмите кнопку «ПУСК», что сопровождается коротким звуковым сигналом. Указатель режима работы начнет пульсировать, через  $37 \pm 1,0$  с. отсчет прекратится, вновь раздается кратковременный звуковой сигнал. Запишите полученный результат в таблицу 8.2 в строку ( $\varphi_{\Phi}$ ).

4. Повторите измерения 10 раз и запишите полученные результаты в таблицу 8.2 в строку ( $\varphi_{\Phi}$ ).

Таблица 8.2 – Результаты измерений

Показатели	Циклы измерений									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\varphi_{\Phi}$ , $1/(с \cdot см^2)$										
$\varphi_{\Pi}$ , $1/(с \cdot см^2)$										

5. Выключите прибор, нажав кнопку «ВЫКЛ».

6. Снимите заднюю крышку-фильтр (поз. 4 на рис. 8.3). Поднесите прибор к исследуемой поверхности источника ионизирующего излучения на расстояние не далее 1 см от нее. Включите прибор кнопкой «ВКЛ», установите режим « $1/(с \cdot см^2)$ », а затем нажмите кнопку «ПУСК». Через  $37 \pm 1,0$  с. отсчет прекратится. Запишите полученный результат в таблицу 8.2 в строку ( $\varphi_{II}$ ).

7. Повторите измерения 10 раз и запишите полученные результаты в таблице 8.2 в строку ( $\varphi_{II}$ ).

8. Выключите прибор. Установите крышку-фильтр на место.

### Статистическая обработка результатов

Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом носит случайный характер, поэтому необходимо провести статистическую обработку полученных результатов (см. раздел «Статистическая обработка данных»).

9. Определите загрязненность поверхности источника ионизирующего излучения бета-излучающими радионуклидами, характеризующуюся величиной плотности потока бета-частиц с поверхности, по формуле:

$$\varphi = \varphi_{ПСП} - \varphi_{ФСР}, \quad (8.3)$$

где  $\varphi_{ПСП}$  – среднее значение плотности потока излучения с поверхности в бета-частицах,  $1/(с \cdot см^2)$ ;  $\varphi_{ФСР}$  – среднее фоновое значение плотности потока бета-излучения в бета-частицах,  $1/(с \cdot см^2)$ .

Чтобы перейти к другим единицам измерения – частицам в минуту с квадратного сантиметра, необходимо полученное значение  $\varphi$  умножить на 60.

По полученным данным сделать вывод: *Если величина плотности потока получается отрицательная, следовательно, поверхность не имеет бета-загрязнения.*

### Контрольные вопросы:

1. Какую качественную и количественную информацию содержат схемы радиоактивного распада?
2. Какие ядра в процессе бета-распада испускают гамма-кванты?
3. Какое явление называется бета-распадом? Назовите виды бета-распада.
4. Как изменяются массовое число  $A$  и заряд  $Z$  ядра в процессах электронного (позитронного) распада и  $K$ -захвата?

## ЛИТЕРАТУРА

1. Безопасность жизнедеятельности человека : практикум / сост. В. Е. Савенок, Н. В. Скобова. – Витебск, 2020. – 178 с.
2. Безопасность жизнедеятельности человека: раздел «Защита населения и объектов от чрезвычайных ситуаций. Радиационная безопасность» : методические указания к выполнению расчетно-графической работы /; сост. В. Н. Потоцкий, А. В. Гречаников, И. А. Тимонов – Витебск : УО «ВГТУ» 2021. – 53 с.
3. Дорожко, С. В. Защита населения и объектов в чрезвычайных ситуациях. Радиационная безопасность : пособие : в 3-х ч. Ч. 1 : Чрезвычайные ситуации и их предупреждение / С. В. Дорожко, И. В. Ролевич, В. Т. Пустовит. – 4-е изд. – Минск : Дикта, 2010. – 291 с.
4. Дорожко, С. В. Защита населения и объектов в чрезвычайных ситуациях. Радиационная безопасность : пособие : в 3-х ч. Ч. 3 : Радиационная безопасность / С. В. Дорожко, В. П. Бубнов, В. Т. Пустовит. – 5-е изд., перераб. и доп. – Минск : Дикта, 2010. – 311 с.
5. Защита населения и объектов от чрезвычайных ситуаций. Радиационная безопасность. Раздел «Радиационная безопасность» : практикум для студентов / сост. В. Н. Потоцкий [и др.]. – Витебск : УО «ВГТУ», 2021. – 84 с.
6. 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», 2008, 2006. – 131 с.
7. Об утверждении Санитарных норм и правил «Требования к радиационной безопасности» и Гигиенического норматива «Критерии оценки радиационного воздействия» [Электронный ресурс] : постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь, 28.12.2012 г., № 213 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W21326850p>. – Дата доступа: 02.02.2023.
8. О введении Республиканский допустимых уровней содержания радионуклидов в пищевых продуктах и питьевой воде (РДУ- 99) : Постановление главного государственного санитарного врача Республики Беларусь, 26.04.1999г., № 16 // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. – 1999 г. – №8/309.
9. Радиационная безопасность. Лабораторный практикум : учеб. пособие / Г. А. Чернушевич, В. В. Перетрухин. – Минск : БГТУ, 2018. – 198 с.
10. Ролевич, И. В. Защита населения и объектов от чрезвычайных ситуаций. Радиационная безопасность : учебно-методическое пособие / И. В. Ролевич, Г. И. Морзак, Е. В. Зеленухо. – Минск : БНТУ, 2020. – 109 с.
11. ТКП 45-3.02-231-2011 (02250/02300) Защитные сооружения гражданской обороны. Нормы проектирования.

## Приложение А

### Статистическая обработка данных

Статистическая обработка результатов имеет две основные задачи:

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

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

#### 1. Проверка наличия резко выделяющихся значений

Для исключения резко выделяющихся значений используют статистический метод исключения данных, сущность которого заключается в следующем:

- находят в совокупности максимальную и минимальную величины и определяют расчетные значения критерия Смирнова-Грabbса:

$$V_{R\max} = \frac{Y_{\max} - \bar{Y}}{S(Y)} \sqrt{\frac{m}{m-1}} \quad (1)$$

$$V_{R\min} = \frac{\bar{Y} - Y_{\min}}{S(Y)} \sqrt{\frac{m}{m-1}} \quad (2)$$

– сравнивают расчетные значения  $V_R$  с табличным  $V_T$  (табл. 1):

**Если  $V_{R\max} > V_T$  или  $V_{R\min} > V_T$** , то соответствующее резко выделяющееся значение  $Y$  необходимо исключить из ряда данных.

**Если  $V_{R\max} < V_T$  или  $V_{R\min} < V_T$** , то  $Y_{\max}$  и  $Y_{\min}$  не являются резко выделяющимися значениями.

Таблица А.1 – Критические значения критерия Смирнова-Грabbса  $V_T$

Число измерений	Уровень доверительной вероятности $P_D$		
	0,99	0,95	0,90
<i>m</i>			
3	1,414	1,412	1,406
4	1,723	1,689	1,645
5	1,955	1,869	1,791
6	2,130	1,996	1,894
7	2,265	2,093	1,974
8	2,374	2,172	2,041
9	2,464	2,237	2,097
10	2,540	2,294	2,146

2. Расчет оценок: среднего –  $\bar{Y}$ , дисперсии –  $S^2(Y)$ , среднего квадратического отклонения (СКО) –  $S(Y)$ , коэффициента вариации  $C(Y)$  по следующим формулам:

– среднее  $\bar{Y}$ :

$$\bar{Y} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Y_i \quad (3)$$

где  $m$  – количество измерений (в нашем примере  $m = 8$ ).

– дисперсия  $S^2(Y)$ :

$$S^2 \{Y\} = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (Y_i - \bar{Y})^2 \quad (4)$$

– среднее квадратическое отклонение (СКО):

$$S \{Y\} = \sqrt{S^2 \{Y\}} \quad (5)$$

– коэффициент вариации  $C(Y)$ :

$$C(Y) = \frac{S(Y)}{\bar{Y}} \cdot 100 \quad (6)$$

Результаты статистической оценки данных записать в таблицу 2.

Таблица А.2 – Результаты статистической оценки

Прибор	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Среднее $\bar{Y}$	Дисперсия $S^2(Y)$	СКО $S(Y)$	Коэффициент вариации $C(Y)$

3. Расчет величины относительной погрешности измерений

– относительная доверительная ошибка:

$$\delta(Y) = \frac{2 \cdot C(Y)}{\sqrt{m}} \quad (7)$$

Проанализировать полученное значение, сравнив его с данными таблицы 3 и сделать вывод о точности полученных измерений.

Таблица А.3 – Оценка точности результатов исследований

Относительная ошибка $\delta\{\bar{Y}\}$ , %	точность
$\leq 2$	высокая
2–5	средняя
5–10	низкая
$> 10$	очень низкая (недопустимая)

4. Определить требуемое количество измерений на приборе при заданной точности ( $\delta(Y) = 5\%$ ), т. е. необходимое количество повторных измерений для получения результатов со средней точностью (в формулу подставляем желаемое значение  $\delta(Y)$ )

$$m(Y) \geq \left( \frac{u\{P_D\} \cdot C(Y)}{\delta(Y)} \right)^2 \quad (8)$$

где  $u\{P_D\}$  – квантиль распределения случайной величины (для нормального распределения значения квантиля представлены в табл. 4).

По результатам расчёта сделать вывод о количестве необходимых дополнительных измерений

Таблица А.4 – Квантиль нормального распределение случайной величины

Доверительная вероятность	Квантили $u_{\alpha/2}$
0.90	1.64
<b>0.95</b>	<b>1.96</b>
0.99	2.58
0.9973	3.00
0.999	3.37

5. Оценка однородности полученных данных (для измерений с двух приборов) проводят по критерию Фишера:

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2} \text{ при } S_1^2 > S_2^2$$

или

$$F = \frac{S_2^2}{S_1^2} \text{ при } S_2^2 > S_1^2$$

Выбрать из таблицы 5 критическое значение критерия Фишера  $F_T$  и сравнить его с расчетным  $F$ , сделать вывод.

**Если**  $F < F_T$ , то приборы дают однородные показания.

**Если**  $F > F_T$ , то приборы дают отличные друг от друга показания.

Таблица А.5 – Критические значения критерия Фишера  $F_T$

Степень свободы для меньшей дисперсии $f_1 = m_1 - 1$	Степень свободы для большей дисперсии $f_2 = m_2 - 1$									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	161,4	199,5	215,7	224,6	230,2	234,0	236,8	238,9	240,5	241,9
2	18,51	19,00	19,16	19,25	19,30	19,33	19,35	19,37	19,38	19,40
3	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,89	8,85	8,81	8,79
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	6,00	5,96
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,77	4,74
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4,10	4,06
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68	3,64
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3,39	3,35
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18	3,14
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,14	3,07	3,02	2,98

**Приложение Б**  
**Республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов**

**Республиканские допустимые уровни (РДУ-99) содержания радионуклидов цезия и стронция-90 в пищевых продуктах и питьевой воде**

Наименование	Бк/кг (Бк/л)	Ки/кг (Ки/л)
<b>Содержание радионуклидов цезия</b>		
Вода питьевая	10	$2,7 \cdot 10^{-10}$
Молоко и цельномолочная продукция	100	$2,7 \cdot 10^{-9}$
Мясо и мясные продукты:		
говядина, баранина и продукты из них	500	$1,35 \cdot 10^{-8}$
свинина, птица и продукты из них	180	$4,86 \cdot 10^{-9}$
Картофель	80	$2,16 \cdot 10^{-9}$
Хлеб и хлебобулочные изделия	40	$1,08 \cdot 10^{-9}$
Мука, крупы, сахар	60	$1,62 \cdot 10^{-9}$
Жиры растительные	40	$1,08 \cdot 10^{-9}$
Жиры животные и маргарин	100	$2,7 \cdot 10^{-9}$
Овощи и корнеплоды	100	$2,7 \cdot 10^{-9}$
Фрукты	40	$1,08 \cdot 10^{-9}$
Садовые ягоды	70	$1,5 \cdot 10^{-9}$
Консервированные продукты из овощей, фруктов и ягод	74	$2,0 \cdot 10^{-9}$
Дикорастущие ягоды и консервированные продукты из них	185	$5,0 \cdot 10^{-9}$
Грибы свежие	370	$1,0 \cdot 10^{-8}$
Грибы сушеные	2500	$6,75 \cdot 10^{-8}$
Продукты детского питания всех видов, готовые к применению	37	$5,0 \cdot 10^{-8}$
Прочие продукты питания	370	$1,0 \cdot 10^{-8}$
<b>Содержание радионуклидов стронция-90</b>		
Вода питьевая	0,37	$1,0 \cdot 10^{-11}$
Молоко и цельномолочная продукция	3,7	$1,0 \cdot 10^{-10}$
Картофель	3,7	$1,0 \cdot 10^{-10}$
Хлеб и хлебобулочные изделия	3,7	$1,0 \cdot 10^{-10}$
Продукты детского питания всех видов, готовые к применению	1,85	$5,0 \cdot 10^{-11}$

Продолжение приложения Б

**Республиканские допустимые уровни содержания цезия-137 в древесине, продукции из древесины и древесных материалах и прочей пищевой продукции лесного хозяйства (РДУ/ЛХ-2001)**

Непищевая продукция лесного хозяйства	Бк/кг (Бк/л)	Ки/кг (Ки/л)
Лесоматериалы круглые:		
для строительства стен жилых зданий	740	$2 \cdot 10^{-8}$
прочие	1480	$4 \cdot 10^{-8}$
Древесное технологическое сырье	1480	$4 \cdot 10^{-8}$
Топливо древесное	740	$2 \cdot 10^{-8}$
Пиломатериалы, изделия и детали из древесины и древесных материалов для строительства (внутренней обшивки) стен жилых зданий	740	$2 \cdot 10^{-8}$
Пилопродукция, изделия и детали из древесины и древесных материалов	1850	$5 \cdot 10^{-8}$
Прочая пищевая продукция лесного хозяйства	1850	$5 \cdot 10^{-8}$

**Возможное содержание радионуклида калия-40 в продуктах питания, почве, удобрениях и строительных материалах, Бк/кг (не нормируется)**

Наименование	Диапазон измерения
<i>Продукты питания</i>	
<b>Зерновые</b>	09–159
Пшеница	(150)
Рожь	(178)
Крупа гречневая	(41)
<b>Зернобобовые</b>	
Горох	(274)
Фасоль	(229)
<b>Овощи свежие</b>	40–174
Картофель	7–222 (174)
Капуста	26–155
Морковь	37–159 (95)
Свекла	52–200
Помидоры	53–122
Огурцы	37–122
Лук (головки)	33–100
<b>Молочные</b>	
Молоко	26–56 (44)
Сметана	30–70
Масло сливочное	(4)
<b>Мясо</b>	
Говяжье	22–159 (85)
Свиное	22–159 (37)

Окончание приложения Б

**Возможное содержание радионуклида калия-40 в продуктах питания, почве, удобрениях и строительных материалах, Бк/кг (не нормируется)**

Наименование	Диапазон измерения
<b>Рыба</b>	
Рыба	(78)
В том числе морская	57–216
Икра	(126)
Водоросли морские	570–700
<b>Плоды свежие</b>	
Лимон	(42)
Клюква	(355)
Орехи	(210)
Грибы	(227)
<b><i>Почва и удобрения</i></b>	
<b>Почва</b>	100–740
Сероземы	670
Серо-коричневые	700
Каштановые	450
Черноземы	410
Серые лесные	370
Дерново-подзолистые	290
Подзолистые	150
Торфянистые	90
<b>Удобрения</b>	
Апатиты	44–170
Фосфориты	230
Суперфосфат	120
Фосфатно-калийные	5900
Обезфторенный фосфат	30
<b><i>Строительные материалы</i></b>	
Строительный камень (гранит, туф)	1480–27 000 (6300)
Кирпич красный	2500–15 000 (6100)
Цемент	440–5100 (1510)
Щебень известняковый	370–6600 (520)
Песок	260–17400
Бетон	55–14 600 (2900)
Глина	1600–1280
Отходы промышленности и изделия на их основе	370–1080 (2030)
Кирпич силикатный	220–9900 (1400)
Известь	37–3400 (570)

# Приложение В Таблица Менделеева

Периодическая система элементов Д. И. Менделеева																		
		A I V			A II V A III V A IV V A V A VI V			A VII V A VIII			B							
		A I V			A II V A III V A IV V A V A VI V			A VII V A VIII			B							
		A I V			A II V A III V A IV V A V A VI V			A VII V A VIII			B							
		A I V			A II V A III V A IV V A V A VI V			A VII V A VIII			B							
1	H	1,00794	1s															
2	He	4,002602	1s															
3	Li	6,941	2s	2s <sup>1</sup>														
4	Be	9,012182	2s	2s <sup>2</sup>														
5	B	10,811	2s	2s <sup>2</sup>	2p	2p <sup>1</sup>												
6	C	12,0107	2s	2s <sup>2</sup>	2p	2p <sup>2</sup>												
7	N	14,00674	2s	2s <sup>2</sup>	2p	2p <sup>3</sup>												
8	O	15,9994	2s	2s <sup>2</sup>	2p	2p <sup>4</sup>												
9	F	18,9984032	2s	2s <sup>2</sup>	2p	2p <sup>5</sup>												
10	Ne	20,1797	2s	2s <sup>2</sup>	2p	2p <sup>6</sup>												
11	Na	22,989770	3s	3s <sup>1</sup>														
12	Mg	24,3050	3s	3s <sup>2</sup>														
13	Al	26,981538	3s	3s <sup>2</sup>	3p	3p <sup>1</sup>												
14	Si	28,0855	3s	3s <sup>2</sup>	3p	3p <sup>2</sup>												
15	P	30,973761	3s	3s <sup>2</sup>	3p	3p <sup>3</sup>												
16	S	32,065	3s	3s <sup>2</sup>	3p	3p <sup>4</sup>												
17	Cl	35,453	3s	3s <sup>2</sup>	3p	3p <sup>5</sup>												
18	Ar	39,948	3s	3s <sup>2</sup>	3p	3p <sup>6</sup>												
19	K	39,0983	4s	4s <sup>1</sup>														
20	Ca	40,078	4s	4s <sup>2</sup>														
21	Sc	44,955910	3d	3d <sup>1</sup>	4s	4s <sup>2</sup>												
22	Ti	47,867	3d	3d <sup>2</sup>	4s	4s <sup>2</sup>												
23	V	50,9415	3d	3d <sup>3</sup>	4s	4s <sup>2</sup>												
24	Cr	51,9961	3d	3d <sup>5</sup>	4s	4s <sup>1</sup>												
25	Mn	54,938049	3d	3d <sup>5</sup>	4s	4s <sup>2</sup>												
26	Fe	55,845	3d	3d <sup>6</sup>	4s	4s <sup>2</sup>												
27	Co	58,933200	3d	3d <sup>7</sup>	4s	4s <sup>2</sup>												
28	Ni	58,9334	3d	3d <sup>8</sup>	4s	4s <sup>2</sup>												
29	Cu	63,546	3d	3d <sup>10</sup>	4s	4s <sup>1</sup>												
30	Zn	65,409	3d	3d <sup>10</sup>	4s	4s <sup>2</sup>												
31	Ga	69,723	4s	4s <sup>2</sup>	4p	4p <sup>1</sup>												
32	Ge	72,64	4s	4s <sup>2</sup>	4p	4p <sup>2</sup>												
33	As	74,92160	4s	4s <sup>2</sup>	4p	4p <sup>3</sup>												
34	Se	78,96	4s	4s <sup>2</sup>	4p	4p <sup>4</sup>												
35	Br	79,904	4s	4s <sup>2</sup>	4p	4p <sup>5</sup>												
36	Kr	83,798	4s	4s <sup>2</sup>	4p	4p <sup>6</sup>												
37	Rb	85,4678	5s	5s <sup>1</sup>														
38	Sr	87,62	5s	5s <sup>2</sup>														
39	Y	88,90585	4d	4d <sup>1</sup>	5s	5s <sup>2</sup>												
40	Zr	91,224	4d	4d <sup>2</sup>	5s	5s <sup>2</sup>												
41	Nb	92,90638	4d	4d <sup>4</sup>	5s	5s <sup>1</sup>												
42	Mo	95,94	4d	4d <sup>5</sup>	5s	5s <sup>1</sup>												
43	Tc	101,07	4d	4d <sup>5</sup>	5s	5s <sup>2</sup>												
44	Ru	101,07	4d	4d <sup>6</sup>	5s	5s <sup>2</sup>												
45	Rh	106,42	4d	4d <sup>7</sup>	5s	5s <sup>2</sup>												
46	Pd	106,42	4d	4d <sup>10</sup>	5s	5s <sup>1</sup>												
47	Ag	107,8682	4d	4d <sup>10</sup>	5s	5s <sup>1</sup>												
48	Cd	112,411	4d	4d <sup>10</sup>	5s	5s <sup>2</sup>												
49	In	114,918	5s	5s <sup>2</sup>	5p	5p <sup>1</sup>												
50	Sn	118,710	5s	5s <sup>2</sup>	5p	5p <sup>2</sup>												
51	Sb	121,760	5s	5s <sup>2</sup>	5p	5p <sup>3</sup>												
52	Te	127,60	5s	5s <sup>2</sup>	5p	5p <sup>4</sup>												
53	I	126,90447	5s	5s <sup>2</sup>	5p	5p <sup>5</sup>												
54	Xe	131,293	5s	5s <sup>2</sup>	5p	5p <sup>6</sup>												
55	Cs	132,90545	6s	6s <sup>1</sup>														
56	Ba	137,327	6s	6s <sup>2</sup>														
57	La	138,9055	5d	5d <sup>1</sup>	6s	6s <sup>2</sup>												
58	Ce	140,90765	5d	5d <sup>1</sup>	6s	6s <sup>2</sup>												
59	Pr	140,90765	5d	5d <sup>1</sup>	6s	6s <sup>2</sup>												
60	Nd	144,24	5d	5d <sup>1</sup>	6s	6s <sup>2</sup>												
61	Pm	144,24	5d	5d <sup>1</sup>	6s	6s <sup>2</sup>												
62	Sm	150,36	5d	5d <sup>1</sup>	6s	6s <sup>2</sup>												
63	Eu	151,964	5d	5d <sup>1</sup>	6s	6s <sup>2</sup>												
64	Gd	157,25	5d	5d <sup>1</sup>	6s	6s <sup>2</sup>												
65	Tb	158,92534	5d	5d <sup>1</sup>	6s	6s <sup>2</sup>												
66	Dy	162,500	5d	5d <sup>1</sup>	6s	6s <sup>2</sup>												
67	Ho	164,93032	5d	5d <sup>1</sup>	6s	6s <sup>2</sup>												
68	Er	167,259	5d	5d <sup>1</sup>	6s	6s <sup>2</sup>												
69	Tm	168,93421	5d	5d <sup>1</sup>	6s	6s <sup>2</sup>												
70	Yb	173,04	5d	5d <sup>1</sup>	6s	6s <sup>2</sup>												
71	Lu	174,967	5d	5d <sup>1</sup>	6s	6s <sup>2</sup>												
72	Hf	178,49	5d	5d <sup>2</sup>	6s	6s <sup>2</sup>												
73	Ta	180,9479	5d	5d <sup>3</sup>	6s	6s <sup>2</sup>												
74	W	183,84	5d	5d <sup>4</sup>	6s	6s <sup>2</sup>												
75	Re	186,207	5d	5d <sup>5</sup>	6s	6s <sup>2</sup>												
76	Os	192,217	5d	5d <sup>6</sup>	6s	6s <sup>2</sup>												
77	Ir	195,078	5d	5d <sup>7</sup>	6s	6s <sup>2</sup>												
78	Pt	195,078	5d	5d <sup>9</sup>	6s	6s <sup>1</sup>												
79	Au	196,96655	5d	5d <sup>10</sup>	6s	6s <sup>1</sup>												
80	Hg	200,59	5d	5d <sup>10</sup>	6s	6s <sup>2</sup>												
81	Tl	204,3833	6s	6s <sup>2</sup>	6p	6p <sup>1</sup>												
82	Pb	207,2	6s	6s <sup>2</sup>	6p	6p <sup>2</sup>												
83	Bi	208,98038	6s	6s <sup>2</sup>	6p	6p <sup>3</sup>												
84	Po	[209]	6s	6s <sup>2</sup>	6p	6p <sup>4</sup>												
85	At	[209]	6s	6s <sup>2</sup>	6p	6p <sup>5</sup>												
86	Rn	[222]	6s	6s <sup>2</sup>	6p	6p <sup>6</sup>												
87	Fr	[223]	7s	7s <sup>1</sup>														
88	Ra	[226]																

**Приложение Г**  
**Допустимые уровни радиоактивного загрязнения рабочих поверхностей,**  
**частиц/см<sup>2</sup> · мин (гн № 213)**

Объект загрязнения	Альфа-активные нуклиды*		Бета-активные нуклиды
	Отдельные**	Прочие	
Неповрежденная кожа, спецбелье, полотенца, внутренняя поверхность лицевых частей средств индивидуальной защиты	2	2	200***
Основная спецодежда, внутренняя поверхность дополнительных средств индивидуальной защиты, наружная поверхность спецобуви	5	20	2000
Поверхности помещений постоянного пребывания персонала и находящегося в них оборудования	5	20	2000
Поверхности помещений периодического пребывания персонала и находящегося в них оборудования	50	200	10 000
Наружная поверхность дополнительных средств индивидуальной защиты, снимаемой в саншлюзах	50	200	10 000

\* Для поверхности рабочих помещений и оборудования, загрязненных альфа-активными радионуклидами, нормируется снимаемое (нефиксированное) загрязнение; для остальных поверхностей – суммарное (снимаемое и не снимаемое) загрязнение.

\*\* К отдельным относятся альфа-активные нуклиды, среднегодовая допустимая объемная активность которых в воздухе рабочих помещений ДООА < 0,3 Бк/м<sup>3</sup>.

\*\*\* Установлены следующие значения допустимых уровней загрязнения кожи, спецбелья и внутренней поверхности лицевых частей средств индивидуальной защиты для стронция-90 + иттрия-90 – 40 частиц/см<sup>2</sup> · мин.

**Приложение Д**  
**Периоды полураспада, вид радиоактивного распада и энергия излучения**  
**радионуклидов, индуцированных космическим излучением**

Радионуклид и его символ		Период полураспада	Вид распада и энергия излучения, МэВ
Водород-3	${}^3_1\text{H}$	12,26 лет	$\beta^-$ ; 0,01795
Бериллий-7	${}^7_4\text{Be}$	53,01 сут	К-захват; 0,479
Бериллий-10	${}^{10}_4\text{Be}$	$2,5 \cdot 10^5$ лет	$\beta^-$ ; 0,555
Углерод-14	${}^{14}_6\text{C}$	5700 лет	$\beta^-$ ; 0,155
Натрий-22	${}^{22}_{11}\text{Na}$	2,6 года	$\beta^+$ ; 0,540(99,94%); 1,89 (0,06%); $\gamma$ ; 1,28
Натрий-24	${}^{24}_{11}\text{Na}$	15 ч	$\beta^-$ ; 1,39; 4,17(0,003%); $\gamma$ , 4,14; 2,76; 1,38
Магний-28	${}^{28}_{12}\text{Mg}$	21,2 ч	$\beta^-$ ; 0,459; $\gamma$ , 0,032-1,35
Алюминий-26	${}^{26}_{13}\text{Al}$	6,7 с	$\beta^+$ ; 3,20
Кремний-31	${}^{31}_{14}\text{Si}$	2,6 ч	$\beta^-$ ; 1,471; $\gamma$ ; 0,17; 0,52; 1,00
Кремний-32	${}^{32}_{14}\text{Si}$	700 лет	$\beta^-$ ; 0,21
Фосфор-32	${}^{32}_{15}\text{P}$	14,3 сут	$\beta^-$ ; 1,712
Фосфор-33	${}^{33}_{15}\text{P}$	24,4 сут	$\beta^-$ ; 0,249
Сера-35	${}^{35}_{16}\text{S}$	87 сут	$\beta^-$ ; 0,167
Сера-38	${}^{38}_{16}\text{S}$	2,9 ч	$\beta^-$ ; 1,1
Хлор-34	${}^{34}_{17}\text{Cl}$	32,0 мин	$\beta^-$ ; 2,48
Хлор-36	${}^{36}_{17}\text{Cl}$	$3,1 \cdot 10^5$ лет	$\beta^-$ ; 0,714
Хлор-38	${}^{38}_{17}\text{Cl}$	37,3 мин	$\beta^-$ ; 4,81 (53%); 2,77 (16%); 1,11 (31%); $\gamma$ , 1,6; 2,15
Хлор-39	${}^{39}_{17}\text{Cl}$	35,5 мин	$\beta^-$ ; 1,65 (93%); 2,96 (7%); $\gamma$ , 1,35; 0,35
Аргон-39	${}^{39}_{18}\text{Ar}$	265 лет	$\beta^-$ ; 0,565
Криптон-81	${}^{81}_{36}\text{Kr}$	$2,1 \cdot 10^5$ лет	К-захват

## Приложение Е

### Периоды полураспада, вид радиоактивного распада и энергия излучения основных радионуклидов аварийного чернобыльского выброса в 1986 г.

Радионуклид и его символ		Период полураспада	Вид распада и энергия излучения, МэВ
Криптон-85	$^{85}_{36}\text{Kr}$	10,71 года	$\beta^-$ ; 0,150; 0,672; $\gamma$ , 0,51
Стронций-89	$^{89}_{38}\text{Sr}$	50,55 сут	$\beta^-$ ; 1,463
Стронций-90	$^{90}_{38}\text{Sr}$	28,6 года	$\beta^-$ ; 0,563
Цирконий-95	$^{95}_{40}\text{Zr}$	64,05 сут	$\beta^-$ ; 0,364 (54%); 0,396 (43%); 0,883 (3%); $\gamma$ , 0,235; 0,722; 0,754
Молибден-99	$^{99}_{42}\text{Mo}$	66,02 ч	$\beta^-$ ; 1,23 (80%); 0,45 (20%); $\gamma$ , от 0,002 до 0,779
Рутений-103	$^{103}_{44}\text{Ru}$	39,35 сут	$\beta^-$ ; 0,128 (28%); 0,202 (70%); 0,374 (1%); 0,695 (1%); $\gamma$ , 0,498; 0,610
Рутений-106	$^{106}_{44}\text{Ru}$	368 сут	$\beta^-$ ; 0,0392; $\gamma$ , 1,12; 1,05; 0,620; 0,51
Йод-131	$^{131}_{53}\text{I}$	8,04 сут	$\beta^-$ ; 0,815 (0,7%); 0,608 (87,2%); 0,335 (9,3%); 0,250 (2,8%); $\gamma$ , 0,08; 0,163; 0,284; 0,364; 0,637; 0,722
Теллур-132	$^{132}_{52}\text{Te}$	78,2 ч	$\beta^-$ ; $\gamma$ , 0,22; 0,029
Ксенон-133	$^{133}_{54}\text{Xe}$	5,24 сут	$\beta^-$ ; 0,345; $\gamma$ , 0,081
Цезий-134	$^{134}_{55}\text{Cs}$	2,06 года	$\beta^-$ ; 0,078 (25%); 0,210 (2%); 0,410 (5%); 0,657 (68%); $\gamma$ , от 0,561 до 1,361
Цезий-137	$^{137}_{55}\text{Cs}$	30,17 года	$\beta^-$ ; 0,51 (92%); 1,17 (8%); $\gamma$ , 0,661
Барий-140	$^{140}_{56}\text{Ba}$	12,8 сут	$\beta^-$ ; 1,0 (60%); 0,4 (40%); $\gamma$ , 0,03; 0,16; 0,31; 0,54
Церий-141	$^{141}_{58}\text{Ce}$	33,1 сут	$\beta^-$ ; 0,574 (25%); 0,442 (75%); $\gamma$ , 0,145
Церий-144	$^{144}_{58}\text{Ce}$	290 сут	$\beta^-$ ; 0,30 (70%); 0,17 (30%); $\gamma$ , 0,034; 0,041; 0,053; 0,081; 0,094; 0,10; 0,134
Нептуний-239	$^{239}_{93}\text{Np}$	2,35 дня	$\beta^-$ ; 0,718 (4,8%); 0,656 (1,7%); 0,441 (31%); 0,38 (10%); 0,379 (52%); $\gamma$ , 0,045; 0,049; 0,058; 0,061; 0,067; ОД06; 0,209; 0,227; 0,254; 0,285
Плутоний-238	$^{238}_{94}\text{Pu}$	89,6 года	$\alpha$ ; 5,495 (72%); 5,452 (28%); 5,352 (0,09%); $\gamma$ , 0,045
Плутоний-239	$^{239}_{94}\text{Pu}$	$2,44 \cdot 10^4$ лет	$\alpha$ ; 5,150 (69%); 5,137 (20%); 5,049 (11%); $\gamma$ , 0,038; 0,051
Плутоний-240	$^{240}_{94}\text{Pu}$	6,58 года	$\alpha$ ; 5,162 (76%); 5,118 (24%); $\gamma$ , 0,044
Плутоний-241	$^{241}_{94}\text{Pu}$	13 лет	$\alpha$ ; 4,91 ( $\sim 10^{-3}\%$ ); $\beta^-$ , 0,021 (99%); $\gamma$ , 0,10; 0,45
Кюрий-242	$^{242}_{96}\text{Cm}$	162,5 сут	$\alpha$ ; 6,110 (73,7%); 6,066 (26,3%); 5,965 (0,035%); $\gamma$ , 0,044; 0,103; 0,153

Учебное издание

**ЗАЩИТА НАСЕЛЕНИЯ И ОБЪЕКТОВ ОТ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ  
СИТУАЦИЙ. РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

Лабораторный практикум

Составители:

Гречаников Александр Викторович

Тимонов Иван Афанасьевич

Редактор *Р.А. Никифорова*

Корректор *А.С. Прокопюк*

Компьютерная верстка *А.В. Гречаников*

---

Подписано к печати 19.02.2025. Формат 60x90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Усл. печ. листов 5,5.  
Уч.-изд. листов 7,0. Тираж 50 экз. Заказ № 47.

Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет»  
210038, Беларусь, 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.