



**БАЛТИЙСКИЙ
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ ИММАНУИЛА КАНТА**

**РАДИАЦИОННАЯ, ХИМИЧЕСКАЯ
И БИОЛОГИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА**

Часть I

**ЯДЕРНОЕ ОРУЖИЕ.
СРЕДСТВА РАДИАЦИОННОГО НАБЛЮДЕНИЯ,
РАЗВЕДКИ И КОНТРОЛЯ**

**Калининград
2026**

БАЛТИЙСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им. ИММАНУИЛА КАНТА

РАДИАЦИОННАЯ, ХИМИЧЕСКАЯ
И БИОЛОГИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА

Часть I

ЯДЕРНОЕ ОРУЖИЕ. СРЕДСТВА РАДИАЦИОННОГО
НАБЛЮДЕНИЯ, РАЗВЕДКИ И КОНТРОЛЯ

Учебное пособие

Издательство
Балтийского федерального университета им. Иммануила Канта
2026

УДК 355/359

ББК 68.8

P15

Рецензенты

А. В. Колосеев, канд. воен. наук, доц., капитан 1-го ранга,
зам. начальника по учебной и научной работе Балтийского высшего
военно-морского училища им. адмирала Ф. Ф. Ушакова;
Ю. Г. Сопин, канд. воен. наук, проф., проф. кафедры № 1
Балтийского высшего военно-морского училища
им. адмирала Ф. Ф. Ушакова

P15 Радиационная, химическая и биологическая защита. Часть I. Ядерное оружие. Средства радиационного наблюдения, разведки и контроля : учебное пособие / А. В. Зель, С. В. Балыко. — Калининград : Издательство БФУ им. И. Канта, 2026. — 122 с.
ISBN 978-5-9971-1041-3

Рассматриваются боевые свойства ядерного оружия, общие сведения о радиоактивном излучении, методах его обнаружения и измерения, а также технические средства радиационного наблюдения, разведки и контроля. Содержание глав проиллюстрировано таблицами, рисунками и фотографиями.

Предназначено для студентов Военного учебного центра и Университетского колледжа БФУ им. И. Канта. Может использоваться для обучения курсантов высших военно-учебных заведений, для подготовки штатных и внештатных дозиметристов, а также военнослужащих, убывающих в зону боевых действий, по вопросам радиационной, химической и биологической защиты.

УДК 355/359

ББК 68.8

ISBN 978-5-9971-1041-3

© Зель А. В., Балыко С. В., составление, 2026

© Оформление, БФУ им. И. Канта, 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	5
Глава 1. Боевые свойства ядерного оружия. Радиационно-опасные объекты	7
1.1. Общие сведения о ядерном оружии, средствах его применения.....	7
1.2. Физические основы ядерного оружия	12
1.3. Принципы устройства ядерных и термоядерных боеприпасов	20
1.4. Формирование поражающих факторов ядерного взрыва	22
1.5. Виды ядерных взрывов	26
1.6. Поражающие факторы ядерных взрывов и их характеристика	39
1.7. Особенности поражающего действия нейтронных боеприпасов	57
1.8. Аварии на радиационно-опасных объектах, особенности радиоактивного заражения (загрязнения) и защиты личного состава	60
Глава 2. Общие сведения о радиоактивном излучении, методах его обнаружения и измерения	68
2.1. Ионизирующие излучения и их свойства	68
2.2. Методы обнаружения и измерения ионизирующих излучений	72
2.3. Единицы измерения в дозиметрии.....	79
Глава 3. Средства радиационного наблюдения, разведки и контроля.....	83
3.1. Комплект измерителей дозы ИД-1	83
3.2. Комплект измерителей дозы ИД-11	85
3.3. Измеритель мощности дозы ДП-5В	87
3.4. Измеритель мощности дозы ИМД-2Н.....	90
3.5. Измеритель мощности дозы ИМД-7Н.....	91
3.6. Корабельный радиометр альфа КРА-1	95

3.7. Корабельный радиометр бета КРБ-1.....	96
3.8. Комплект индивидуальных дозиметров КИД-6	99
3.9. Измеритель дозы ДЭГХ-02.....	103
3.10. Устройство дозиметрическое УД-01	105
3.11. Комплекс корабельных дозиметрических установок КДУ-6.....	107
3.12. Измеритель мощности дозы КДГ-1	114
Список рекомендуемой литературы.....	121
Источники иллюстраций.....	121

ВВЕДЕНИЕ

В ядерной войне не может быть победителя или проигравшего

Современные взгляды иностранных государств не претерпели существенных изменений в вопросах действий войск в условиях применения оружия массового поражения (ядерного оружия) и разрушений радиационно-опасных объектов (РОО).

Быстрое изменение политической ситуации в мире, происходящее в последние годы, заставляет по-новому взглянуть на проблему развития ядерного оружия (ЯО). Несмотря на подписание и ратифицирование многими странами различных договоров о запрещении проведения ядерных испытаний между странами, обладающими ядерным оружием, угрозы их применения не теряют актуальности. Кроме того, в современном мире существует немало техногенных угроз, связанных с возникновением чрезвычайных ситуаций при авариях на радиационно-опасных объектах.

Несмотря на то что в принятой в декабре 2014 года Указом президента Российской Федерации Военной доктрине присутствует мысль о снижении вероятности развязывания против России крупномасштабных войн, а следовательно, и применения в них оружия массового поражения (ОМП), нельзя сбрасывать со счетов тот факт, что в военных доктринах США и их союзников по блоку НАТО ОМП отводится важная роль как оружию, способному при ограниченном расходе сил и средств наносить массовые поражения живой силе, разрушать вооружение и военную технику, а также влиять на изменение окружающей среды.

Это обстоятельство, подтверждаемое сохранением в арсеналах ведущих стран блока НАТО ОМП, является главной причиной совершенствования способов и средств защиты от поражающих факторов ядерного, химического и биологического оружия, а принятая еще в 2011 году «Единая доктрина видов

ВС США по ведению боевых действий в условиях применения ОМП» отмечает широкий потенциал опасностей, связанных с применением в ходе боевых действий боевых токсичных химических веществ, радиоактивных веществ и биологических средств.

Таким образом, вероятный противник рассматривает ЯО не только как сдерживающий фактор, но и как реальное средство ведения вооруженной борьбы.

В современных условиях стремление иметь первоклассное вооружение и военную технику, хорошо подготовленный личный состав должно быть подкреплено высоким уровнем организации и осуществления защиты войск (сил) от воздействия различных видов оружия противника, поражающих факторов техногенного, природного и военного характера с целью сохранить боеспособность войск (сил) и обеспечить выполнение ими боевых задач.

Возможность реализации всего комплекса защиты войск (сил) и населения зависит от качества подготовки военнослужащих всех видов и родов войск, а также населения в вопросах радиационной, химической и биологической защиты (РХБЗ) [7].

Глава 1

БОЕВЫЕ СВОЙСТВА ЯДЕРНОГО ОРУЖИЯ. РАДИАЦИОННО-ОПАСНЫЕ ОБЪЕКТЫ

1.1. Общие сведения о ядерном оружии, средствах его применения

Ядерным оружием (ЯО) называется оружие, поражающее действие которого обусловлено внутриядерной энергией, выделяющейся в результате взрывных процессов деления ядер некоторых изотопов урана и плутония или синтеза легких ядер изотопов водорода — дейтерия и трития — в более тяжелые, например ядра изотопов гелия.

В результате выделения огромного количества энергии поражающие факторы ядерного взрыва существенно отличаются от поражающих факторов, формирующихся при действии боеприпасов в обычном снаряжении.

Ядерному оружию присущи особенности, такие как наличие поражающих факторов длительного действия, их распределение за пределы объекта поражения, большая единичная мощность, длительный психологический эффект, тяжелые генетические и экологические последствия, сложности при защите войск и населения, а также ликвидации последствий его применения.

Однако ЯО выгодно отличается от других видов ОМП высокими экономическими показателями, широким диапазоном мощностей полезного действия, контролируемостью последствий применения и быстрой их реализацией, возможностью длительного хранения, создания стратегических запасов, многофакторностью поражающего действия, обеспечивающего комбинированное поражение целей и высокой надежностью выполнения боевых задач [7].

Исследования в области атомного ядра проводились наиболее активно в начале XX века. Первые заметные результаты

научных исследований появились в середине 1930-х годов. Возможное военное применение ядерной энергии способствовало наращиванию интеллектуального и экономического потенциала, прежде всего в фашистской Германии. По мнению немецких ученых, в сентябре 1941 года они были уже на пути, ведущем к атомной бомбе. Однако стремительное приближение советских войск к Берлину сорвало эти планы. В 1939 году президенту США Рузвельту стало известно, что ученые Германии пытаются сделать атомную бомбу. В ответ на это в 1941 году президент Рузвельт создал комитет по урану. Ученые-беженцы со всей растерзанной войной Европы собрались в США и объединили свои усилия с усилиями американских ученых. К этому времени американская технология обогащения урана отставала от немецкой технологии.

В августе 1942 года президент Рузвельт преобразовал комитет по урану в Манхэттенский проект, научное руководство которым осуществлял профессор Калифорнийского университета физик Роберт Оппенгеймер, названный впоследствии «отцом» тактического ядерного оружия (ЯО). Нападение японского флота на Перл-Харбор подтолкнуло американское правительство к еще более решительным действиям по реализации «Манхэттенского проекта».

Результатом этого проекта стало успешное испытание первого в мире ядерного устройства. Это событие произошло 16 июля 1945 года в 5 ч 30 мин в пустыне Аламогордо (штат Нью-Мексико).

Впервые ядерное оружие без всякой военной необходимости было применено Соединенными Штатами Америки при бомбардировке японских городов Хиросимы и Нагасаки соответственно 6 и 9 августа 1945 года с бомбардировщиков В-29. При этом использовались авиационные бомбы — «Малыш» и «Толстяк» мощностью по 20 тыс. т (рис. 1). Эти две бомбы — единственные ядерные боеприпасы, примененные для поражения целей в войне. Число мгновенно погибших составило около 120 тыс. человек. Общее число жертв к 1950 году в результате атомных бомбардировок достигло в Хиросиме около 200 тыс., в Нагасаки — свыше 100 тыс. человек.

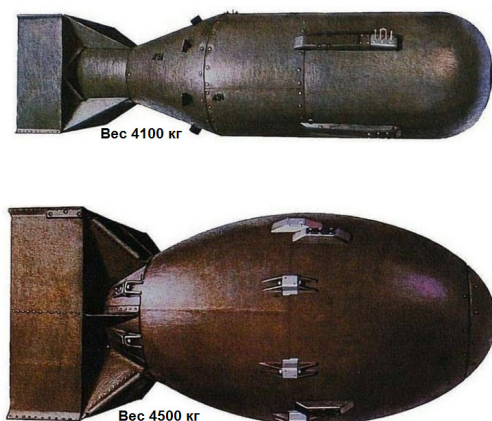


Рис. 1. Авиационные ядерные бомбы «Малыш» и «Толстяк»

Уничтожение в августе 1945 года сотен тысяч мирных жителей японских городов продемонстрировало всему миру, что США обладают оружием огромной разрушительной силы и не остановятся ни перед чем для реализации своих внешнеполитических целей. Сразу же после Второй мировой войны в период ядерной монополии в Пентагоне был разработан план под кодовым названием «Троян», согласно которому предусматривалось нанесение ядерных ударов по семидесяти советским городам и военным центрам. При этом ядерное нападение на СССР планировалось на первый день 1950 года. К этому времени США имели 309 ядерных боеприпасов.

На полигоне под Семипалатинском 29 августа 1949 года в 2.00 местного времени был осуществлен первый взрыв советской атомной бомбы, возвестивший об утрате США монополии на атомное оружие. Убедившись, что СССР ликвидировал американскую атомную монополию, администрация Г. Трумена приступила к созданию еще более мощного оружия (супербомбы), которое должно было обеспечить подавляющее военное превосходство США.

Первого ноября 1952 года на острове Элугелаб (Маршалловы острова) США провели первое испытание термоядерного

(водородного) устройства «Майк» мощностью 3 мегатонны (Мт). В этом устройстве общим весом более 65 т, мало похожем на боеприпас, в качестве ядерного топлива использовался жидкий водород, сконденсированный путем сильного охлаждения.

В ответ на развертывание в США работ по созданию водородной бомбы Советский Союз был вынужден принять реальные меры для ликвидации одностороннего преимущества Соединенных Штатов в стратегическом оружии. В 1953 году (12 августа) в СССР был осуществлен взрыв термоядерной так называемой «сухой бомбы» с ядерным зарядом мощностью около 465 тыс. т в тротиловом эквиваленте. В марте 1954 года США провели испытания такого же реального боеприпаса мощностью около 15 Мт.

В последующем ядерные испытания превратились в самостоятельную научно-техническую задачу, о важности которой свидетельствуют данные о ядерных взрывах. Только за период с 16 июля 1945 года до 5 августа 1963 года, то есть до заключения договора о запрещении испытаний ядерного оружия в трех средах между СССР, США и Великобританией, в мире было проведено около 488 ядерных взрывов. После создания первых образцов водородной бомбы резко возросли темпы разработки и накопления новых боеприпасов самого различного назначения и мощности, что в среде военных специалистов именовалось как «термоядерный прорыв».

Самые большие надежды возлагались на создание особо мощных боеприпасов, по мнению специалистов, имеющих более низкую относительную стоимость. Уже к концу 1950-х годов на основе термоядерного синтеза были созданы заряды мощностью несколько десятков миллион тонн тротила.

В середине 1950-х годов США были развернуты стратегические наступательные вооружения (СНВ) в виде своеобразной «триады», включающей межконтинентальные баллистические ракеты наземного базирования (МБР), баллистические ракеты на подводных лодках (БРПЛ) и стратегическую авиацию, которая в последующие годы постоянно совершенствовалась. С целью расширения масштабов применения ЯО и повышения

эффективности тактических средств поражения военно-политическое руководство США приняло решение о разработке тактического ядерного оружия.

Кроме того, для защиты от баллистических ракет противника требовались средства защиты — противоракетная оборона (ПРО). В связи с этим значительное внимание уделяется разработке новых ядерных боеприпасов к тактическим и стратегическим ракетам, боеголовок к системам ПРО, различных фугасов и мин.

Разработка ядерных боеприпасов к стратегическим наступательным вооружениям и тактическим средствам осуществлялась по пути миниатюризации. Это позволило США осуществить важный этап развития ЯО в 1980-х годах, связанный с выполнением программ снятия с вооружения устаревших образцов военной техники, модернизации современных и развертывания новых видов ЯО (боеголовок и их носителей) как стратегического, так и тактического назначения, что позволило резко увеличить общее количество ядерных боеприпасов.

В период 1980-х и 1990-х годов прошлого столетия стратегические ракетные силы были оснащены моноблочной МБР «Минитмен-2», а МБР «Минитмен-3» и «Минитмен-3А» — с разделяющимися головными частями (РГЧ) и легкой моноблочной МБР «Миджитмен». Эти силы рассматриваются военно-политическим руководством США в качестве первого ядерного удара.

Принятые на вооружение до 1970-х годов баллистические ракеты подводных лодок в этот период были заменены ракетами нового поколения «Посейдон-1 с-4», «Трайидент-1 с-4» и «Трайидент-2-D5».

В начале 1970-х годов США приступили к созданию ядерных боеприпасов «третьего поколения» с управляемым распределением энергии взрыва между поражающими факторами. Прежде чем создать новое поколение ЯО, потребовались коренные изменения в принципах конструирования, а также технологии их производства [7].

В начале 1980-х годов был разработан и поступил на вооружение армии США один из образцов, относящихся к боеприпасам «третьего поколения», — нейтронный боеприпас (НБ),

представляющий собой малогабаритный термоядерный боеприпас мощностью 1—2 кт и предназначенный для поражения живой силы противника на поле боя, находящегося в объектах с повышенной защитой от проникающей радиации.

Основная доля энергии взрыва НБ выделяется за счет реакции синтеза ядер и трансформируется в виде усиленной эмиссии высокоэнергетических нейтронов и гамма-квантов. Разработка и принятие на вооружение НБ стали важным этапом в создании и развитии тактического ЯО и позволили к настоящему времени оснастить практически все артиллерийские системы и оперативно-тактические ракеты нейтронными боеприпасами.

Таким образом, за сравнительно короткий исторический срок сформировалась достаточно сложная и разветвленная система ЯО, которое в настоящее время рассматривается в качестве одного из важнейших факторов, определяющих военно-политическую обстановку в мире.

1.2. Физические основы ядерного оружия

Все вещества окружающей нас природы состоят из весьма малых частиц, которые называются атомами.

Вещество, которое содержит атомы одного вида, называется простым, а вещество, состоящее из атомов разных видов, — сложным. Так, медь Cu содержит только атомы меди, а уран U — атомы урана. Медь и уран — простые вещества, а вода H_2O — сложное вещество, так как она включает атомы водорода H и кислорода O . Совокупность атомов одного вида с одинаковым зарядом их ядер образует химический элемент. Следовательно, простое вещество состоит из одного элемента, а сложное — из нескольких химических элементов.

Гениальный русский ученый Д.И. Менделеев открыл один из важнейших законов природы — периодический закон химических элементов — и создал на его основе свою научную классификацию — Периодическую систему элементов.

Атом имеет сложное устройство. В центре атома находится очень плотное ядро, несущее положительный заряд, вокруг которого с большой скоростью вращаются легкие отрицательно

заряженные электроны, составляющие электронную оболочку атома. У атомов разных элементов — разное число электронов, например вокруг ядра атома водорода движется только 1 электрон, гелия — 2, лития — 3, а вокруг ядра атома урана — 92 электрона. Число электронов в электронной оболочке атома равно порядковому номеру элемента в Периодической системе элементов Д. И. Менделеева.

Почти вся масса атома сосредоточена в его ядре. На долю электронов приходится менее 0,05% массы атома. При этом плотность ядерного вещества очень велика, не зависит от размеров ядра и составляет примерно 10^{17} кг/м³. Высокая плотность ядерного вещества свидетельствует об огромной энергии внутриядерных сил.

Ядра всех атомов построены из протонов и нейтронов. Протоны и нейтроны имеют общее наименование — нуклоны. Число протонов в ядре, определяющее его положительный заряд, равно порядковому номеру элемента в Периодической системе. Сумма чисел протонов и нейтронов определяет массу ядра и называется массовым числом A . Число протонов в ядре каждого элемента строго определено, а число нейтронов может изменяться в некоторых пределах. Поэтому могут существовать разновидности атомов одного и того же элемента, которые отличаются друг от друга массовым числом. Такие атомы размещаются в одной клетке Периодической системы элементов Д. И. Менделеева и называются изотопами этого элемента.

Масса ядра атома любого химического элемента меньше суммы отдельных нуклонов, входящих в состав ядра. Разность масс пропорциональна энергии связи этих нуклонов в ядре и характеризует прочность ядра. Энергией связи называют энергию, которую необходимо затратить, чтобы разделить ядро на составляющие его нуклоны без сообщения им кинетической энергии. Эта энергия идет на совершение работы против ядерных сил. При образовании ядра из свободных нуклонов ядерные силы не совершают работы. Поэтому процесс образования ядра из свободных нуклонов сопровождается выделением энергии, численно равной энергии связи [7].

Нуклоны, то есть нейтроны и положительно заряженные протоны удерживаются внутри ядра с помощью так называе-

мых ядерных сил притяжения. Это самые мощные силы в природе, но действуют они в очень ограниченных пределах — на расстоянии примерно 10^{-13} см. Это «богатырь», но с очень короткими руками.

Одновременно в ядре действуют и электрические силы отталкивания. Давайте рассмотрим соотношение ядерных сил притяжения и электрических сил отталкивания на различных расстояниях между протонами. Например, на расстоянии, равном 10^{-13} см, два протона под действием ядерных сил в 40 раз сильнее притягиваются, чем отталкиваются под действием электрических сил.

Если же это расстояние увеличить всего в 4 раза, ядерные силы притяжения становятся уже равными электрическим силам отталкивания (рис. 2). Увеличение этого расстояния в 25 раз приведет к тому, что электрические силы отталкивания превзойдут ядерные силы притяжения уже в миллион раз!

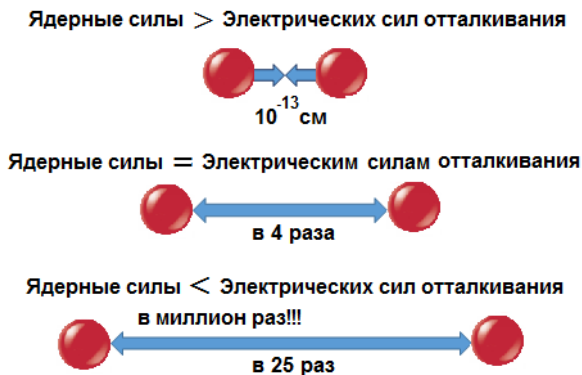


Рис. 2. Соотношения ядерных сил притяжения и электрических сил отталкивания на различных расстояниях между нуклонами

Таким образом, на определенном расстоянии притягивающее действие ядерных сил резко обрывается, и начинают действовать уже более мощные (на данном расстоянии) электрические силы отталкивания.

Энергия, сосредоточенная в ядрах химических элементов, огромна.

Когда стало известно, что в ядре атома заключается огромная энергия, этот факт привлек к себе внимание ученых всего мира. В изучение атомного ядра внесли значительный вклад советские ученые И.В. Курчатов, И.Е. Тамм, А.И. Алиханов, Я.И. Френкель, Д.Д. Иваненко, А.П. Александров и др.

Всем известен закон Эйнштейна о взаимосвязи массы и энергии:

$$E = m \cdot c^2,$$

где E — энергия в Дж; m — масса, кг; c — скорость света, $3 \cdot 10^8$ м/с.

Физическая сущность этого уравнения состоит в том, что в природе нет нематериального движения, как нет и не может быть материи без движения. Материя и движение неотделимы друг от друга.

Для вычисления количества энергии, сосредоточенной в каком-либо теле, следует умножить массу этого тела на квадрат скорости света. Именно здесь ученые столкнулись с потрясающим воображение фактом — в теле массой 1 кг сосредоточена энергия, которую можно получить, сжигая примерно 3 млн т угля.

Энергия, которую необходимо затратить для разрушения ядра и разделения его на свободные нуклоны (без сообщения им кинетической энергии), названа энергией связи ядра. Она идет на совершение работы против ядерных сил. Чем сильнее взаимодействуют нуклоны между собой в данном ядре, тем большую работу нужно совершить для его разрушения [7].

При обратном процессе, процессе образования ядра из свободных нуклонов, ядерные силы совершают работу, поэтому и в процессе образования ядра также выделяется энергия. Высвобождаемая при этом энергия в миллионы раз превышает энергию, которая выделяется при образовании молекулы из атомов или атомов из ядра и электронов [7].

Во-первых, ядра атомов химических элементов, расположенных в начале или в конце Периодической системы элементов Д.И. Менделеева, имеют меньшую удельную энергию связи. Энергия связи ядра водорода — протона, являющегося элементарной частицей, равна нулю.

Применяя выводы второго закона термодинамики (всякая система стремится к такому устойчивому состоянию, когда его внутренняя потенциальная энергия в данных условиях минимальна), следует сказать, что ядра средней части Периодической системы являются наиболее устойчивыми, так как наибольшему дефекту массы соответствует минимальный общий запас внутренней энергии.

Во-вторых, для ядер атомов элементов, расположенных в начале и в конце Периодической системы, должна существовать определенная вероятность перехода в более устойчивые состояния путем высвобождения части потенциальной энергии либо при делении тяжелых ядер на более легкие («прочные») ядра, либо при соединении (синтезе) легких ядер в более тяжелые. Оба эти пути высвобождения внутриядерной энергии и используются в ядерном оружии.

Как выяснилось, наименьшей средней энергией связи обладают ядра таких тяжелых элементов, как уран-235, плутоний-239, а также ядра легких элементов дейтерия и трития.

Таким образом, превращение ядер с меньшей средней энергией связи в ядра с большей средней энергией сопровождается выделением энергии, количество которой равно разности энергий связи нуклонов в новых и исходных ядрах.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод о том, что существуют два способа выделения больших количеств внутриядерной энергии:

- 1) деление ядер некоторых тяжелых элементов с большим массовым числом A ;
- 2) синтез ядер некоторых легких элементов с малым массовым числом A [1].

Ценные ядерные реакции деления взрывного характера

Вещества, которые используют для получения энергии в результате взрывных реакций деления их атомных ядер, называют ядерным горючим (ЯГ). В качестве ЯГ используются в основном уран-235 и плутоний-239. Из них только уран-235 существует в природе. Он встречается в природном уране, представляющем собой смесь трех изотопов: урана-238 (99,282%), урана-235

(0,712%) и урана-234 (0,006%). Изотопы плутония-239 в промышленных количествах получают в результате облучения нейтронами в ядерных реакторах урана-238.

К делящимся ядерным взрывчатым веществам (ЯВВ) относятся уран-235, плутоний-239, уран-233, уран-238. Основным сырьем для получения делящихся ЯВВ является природный уран и торий. Из природного урана физическими методами разделения, основанными на различии масс изотопов урана, можно получить уран-238 и уран-235, путем облучения урана-238 нейтронами — плутоний-239. Торий является исходным продуктом для получения урана-239. Путем облучения тория-232 нейтронами получают уран-233 [7].

Цепная ядерная реакция деления развивается лавинообразно с выделением огромного количества энергии. Так, на одно разделившееся ядро приходится около 200 МэВ выделившейся энергии, давление в центре взрыва достигает нескольких миллиардов атмосфер, а температура нескольких миллионов градусов.

Необходимо отметить, что для каждого вида ЯГ существует своя минимальная масса, в которой возможно протекание самоподдерживающейся цепной ядерной реакции деления. Ее называют критической.

Чтобы произошел ядерный взрыв (ЯВ), масса делящегося вещества должна быть больше критической. Но до момента взрыва делящееся вещество не должно иметь массу больше или равную критической, так как в связи с наличием в атмосфере блуждающих свободных нейтронов существует вероятность начала цепной ядерной реакции деления.

Важнейшей характеристикой цепной ядерной реакции деления является *коэффициент размножения нейтронов (K)*, определяющий число делений ядер, вызванных одним делением в предыдущем звене реакции. Если $K < 1$, то реакция затухает. Система, при которой $K = 1$, обеспечивает процесс деления с постоянной скоростью. Если $K > 1$, то реакция развивается с ускорением, лавинообразно и происходит ядерный взрыв.

Таким образом, основными условиями осуществления цепной ядерной реакции деления взрывного характера являются:

- 1) наличие ЯГ и источника нейтронов;

- 2) наличие критической массы;
- 3) коэффициент размножения нейтронов больше единицы.

Мощность ядерных зарядов принято характеризовать *тротилowym эквивалентом* — такой массой тротила, энергия взрыва которого равна энергии, выделяющейся при воздушном взрыве ядерного заряда. Тротилowy эквивалент выражается в тоннах.

Если мощность зарядов, в которых используется реакция деления ядер тяжелых элементов, ограничена примерно 100 тыс. т, то применение реакции синтеза в термоядерных зарядах позволяет создать оружие практически с неограниченной мощностью.

Реакции синтеза ядер легких элементов

Сложность синтеза ядер легких элементов связана с преодолением электрических сил отталкивания при сближении ядер на расстояние действия ядерных сил. Их сближение произойдет лишь в том случае, если они будут обладать громадными скоростями, что возможно при температуре в несколько миллионов градусов. Поэтому реакции синтеза ядер легких элементов называют термоядерными. Источником сверхвысокой температуры является ядерный заряд.

Наиболее легко протекает реакция синтеза между ядрами изотопов водорода — дейтерия и трития. Значительно более высокая температура требуется для реакций синтеза между ядрами дейтерия, а также между ядрами только трития и тем более между ядрами других легких элементов.

Дейтерий, или тяжелый водород ${}^2_1\text{H}$ (D), представляет собой стабильный изотоп водорода, встречающийся как примесь к обычному водороду. В качестве сырья для получения дейтерия используется обычная вода, содержащая 0,015% тяжелой воды (D_2O), температура кипения которой равна 101,42°C. Наиболее употребительными методами промышленного разделения изотопов водорода являются фракционированная перегонка и электролиз.

Тритий, или сверхтяжелый водород ${}^3\text{H}$ (Т), получают в ядерных реакторах путем облучения изотопов лития-6 нейтронами. Тритий является радиоактивным изотопом, что затрудняет создание его запасов [3].

Литий-6 представляет собой металл серебристо-белого цвета. Природный литий состоит из лития-6 (7,53%) и лития-7 (92,47%). Получают литий путем переработки природных материалов [3].

В качестве термоядерного горючего (ТЯГ) использование дейтерия и трития несколько затруднено, так как это, во-первых, газы, а во-вторых, тритий радиоактивен и, соответственно, подвержен β -распаду с периодом полураспада около 12,3 года. Поэтому в современных термоядерных боеприпасах в качестве ТЯГ используется дейтерид лития, представляющий собой твердое кристаллическое вещество. Приоритет в создании этого вида ТЯГ принадлежит нашему соотечественнику знаменитому ученому И.В. Курчатову.

В термоядерном заряде реализуется следующий цикл реакций:

1. При взрыве атомного инициатора термоядерное вещество (LiD) нагревается до температуры нескольких млн градусов.
2. Под воздействием сверхвысокой температуры дейтерид лития делится на литий и дейтерий.
3. Нейтроны деления вступают в реакцию с литием, образуя тритий.
4. Тритий вступает в реакцию с дейтерием.

Синтез протекает с большой скоростью, например, один акт слияния дейтерия и трития длится несколько наносекунд ($1 \text{ нс} = 10^{-9} \text{ с}$), и при этом выделяется большое количество энергии — 17,6 МэВ, а также испускается нейтрон высокой энергии.

Основными условиями осуществления термоядерного синтеза взрывного характера являются:

- 1) наличие термоядерного горючего;
- 2) наличие сверхвысокой температуры, составляющей несколько миллионов градусов.

Сравним выделение энергии при синтезе дейтерия и трития реакции деления ядра урана-235, при условии, что весовое количество данных видов горючего одинаково.

При делении ядра урана-235 на 1 нуклон выделится энергии 0,85 МэВ.

При синтезе ядер дейтерия и трития эта величина будет составлять 3,52 МэВ [1].

Таким образом, общее количество энергии, выделенной при реакции синтеза, более чем в 4 раза превосходит общее количество энергии, выделенной при реакции деления.

1.3. Принципы устройства ядерных и термоядерных боеприпасов

Ядерное оружие включает ядерные боеприпасы (боевые части ракет и торпед, авиационные и глубинные бомбы, артиллерийские снаряды и мины, снаряженные ядерными зарядными устройствами), средства управления или доставки их к цели (носители).

По мощности ядерные боеприпасы подразделяются на пять групп:

- сверхмалые (до 1 тыс. т);
- малые (1—10 тыс. т);
- средние (10—100 тыс. т);
- крупные (100 тыс. т — 1 млн т);
- сверхкрупные (свыше 1 млн т).

Ядерные заряды могут быть *атомными* и *термоядерными*. Разновидностью термоядерных зарядов являются *нейтронные* заряды.

Устройства, предназначенные для осуществления взрывного процесса освобождения внутриядерной энергии, называются ядерными зарядами (ЯЗ). В настоящее время различают два основных класса ЯЗ:

- 1) атомные заряды (АЗ), энергия взрыва которых обусловлена цепной ядерной реакцией деления;
- 2) термоядерные заряды (ТЯЗ), энергия взрыва которых обусловлена реакциями деления и синтеза ядер.

По принципу перевода ЯГ в надкритическое состояние АЗ разделяются на заряды пушечного и имплозивного типов.

В зарядах *пушечного типа* ядерное горючее разделяется на несколько частей, масса каждой из которых меньше критической (рис. 3).

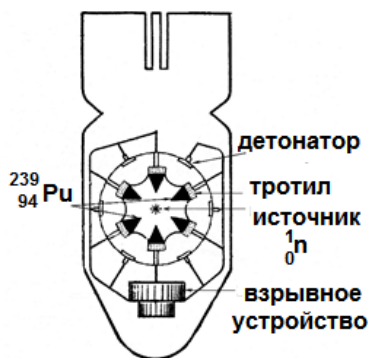


Рис. 3. Заряд пушечного типа

При подрыве электродетонаторов взрывного устройства детонирует обычное взрывчатое вещество, энергия взрыва которого сообщает высокую скорость подвижным частям ядерного горючего, общая масса соединившихся частей становится больше критической и под воздействием нейтронов развивается цепная ядерная реакция деления. В состав ядерного заряда входит отражатель нейтронов.

Атомные заряды пушечного типа имеют низкий коэффициент полезного использования ядерного горючего. Достоинством зарядов данного типа является их высокая устойчивость к механическим перегрузкам, что позволяет использовать их в артиллерийских снарядах и минах.

В зарядах *имплозивного типа* (в переводе с греческого «имплозия» обозначает «сжатие») ядерное горючее, имеющее при нормальной плотности массу меньше критической, переводится в надкритическое состояние путем повышения его плотности за счет взрыва сферического слоя обычного взрывчатого вещества (рис. 4). Происходит ядерный взрыв.



Рис. 4. Заряд имплозивного типа

В зарядах имплозивного типа коэффициент полезного использования делящегося вещества очень высок по сравнению с боеприпасами пушечного типа.

1.4. Формирование поражающих факторов ядерного взрыва

Ядерный взрыв обладает мощным разрушительным действием, но и особым характером воздействия на личный состав, корабли, вооружение, технику, сооружения, местность.

Основными *поражающими факторами ядерного взрыва являются:*

- ударная волна (УВ);
- световое излучение (СИ);
- проникающая радиация (ПР);
- электромагнитный импульс (ЭМИ);
- радиоактивное заражение (РЗ).

При подрыве обычного ядерного боеприпаса на образование ударной волны расходуется около 50% энергии взрыва, на световое излучение — 35%, на проникающую радиацию — 5%, на радиоактивное заражение — 10%.

Взрыв любого ядерного заряда начинается с цепной реакции деления атомных ядер, например урана-235 (рис. 5).

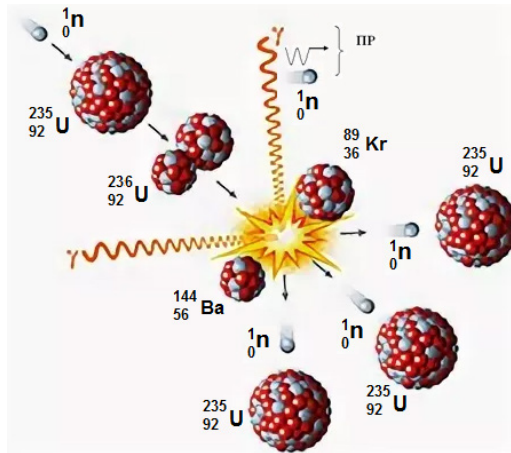


Рис. 5. Формирование проникающей радиации

Часть нейтронов и гамма-квантов, образующихся в процессе ядерной реакции (мгновенные нейтроны и гамма-излучение), выходит за пределы зоны взрыва. Их поток вместе с образующимися при радиоактивном распаде продуктов деления нейтронами (их называют запаздывающими) и гамма-излучением (его называют осколочным), а также гамма-излучением, возникающим в результате взаимодействия нейтронов с веществами боеприпаса и окружающей средой, представляет собой характерный для ядерного взрыва поражающий фактор, который называется *проникающей радиацией*.

В свою очередь, гамма-излучение, взаимодействуя с нейтральными атомами окружающей среды (азот, кислород и др.), сообщает им энергию, достаточную для выбивания из их внешних оболочек быстрых электронов, которые с большой скоростью движутся от центра взрыва по направлению движения, — квантов. При этом тяжелые положительные ионы практически остаются на месте.

Вследствие разделения зарядов возникают электрические и магнитные поля, которые принято называть *электромагнитным импульсом* (рис. 6).

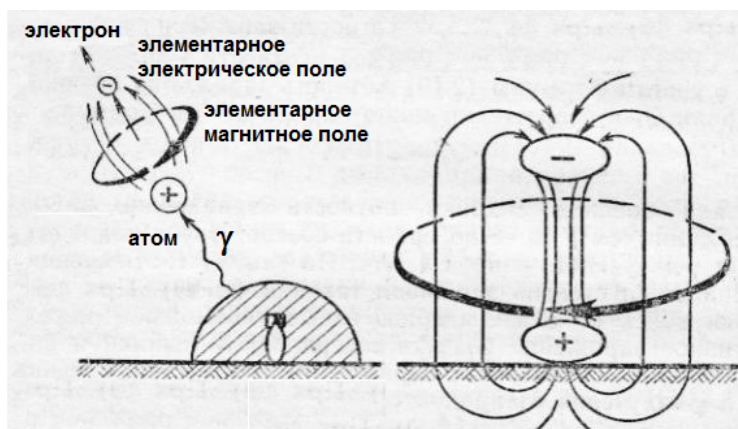


Рис. 6. Формирование электромагнитного излучения

В зоне ядерной реакции почти мгновенно в небольшом объеме выделяется огромное количество энергии:

- кинетической энергии продуктов (осколков) деления;
- кинетической энергии нейтронов и гамма-излучения.

В результате температура в зоне ядерной реакции достигает нескольких миллионов градусов, а давление — нескольких десятков миллионов атмосфер. При такой температуре вещество заряда и элементы конструкции боеприпаса мгновенно превращаются в плазму, то есть электронно-ядерный газ. Для плазмы характерно испускание рентгеновского излучения, которое нагревает ближайшие слои воздуха, переводя их также в состояние плазмы, а она, в свою очередь, испускает рентгеновское излучение, нагревая последующие слои воздуха. Такой процесс передачи энергии называется лучистым прогревом. В результате последовательного нагрева слоев воздуха формируется светящаяся область, которая является источником *светового излучения* (рис. 7).

Важно отметить, что давление в центре взрыва огромно и составляет несколько миллионов атмосфер. При большой температуре скорость лучистого прогрева значительно больше скорости движения воздушных масс внутри светящейся области.

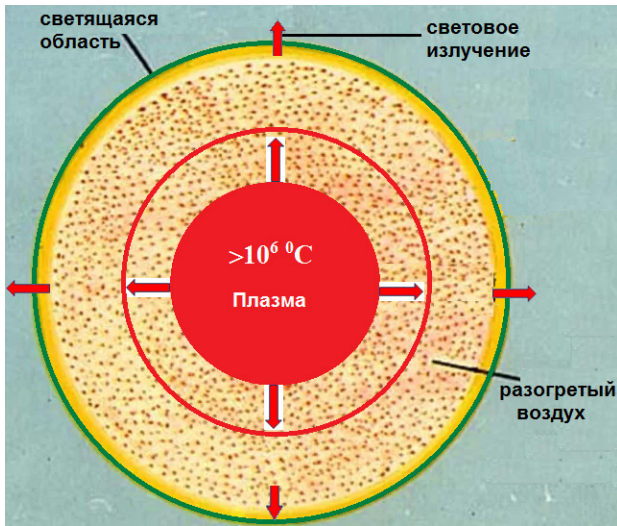


Рис. 7. Формирование светового излучения

По мере охлаждения светящейся области скорость лучистого прогрева уменьшается, а скорость движения воздушных масс увеличивается. Воздушные массы доходят до границы светящейся области, образуя уплотнение, то есть формируется фронт ударной волны (рис. 8). В дальнейшем фронт ударной волны отрывается от светящейся области и наносит свое поражающее действие [1].

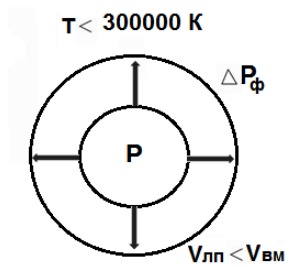


Рис. 8. Формирование ударной волны

Далее светящаяся область, остывая, превращается в облако взрыва, которое представляет собой клубящуюся массу воздуха, перемешанную с радиоактивными продуктами деления и остатками ядерного горючего. Так как давление в облаке меньше атмосферного, оно начинает быстро подниматься вверх и по мере его охлаждения скорость подъема падает.

Под воздействием ударной волны с земли поднимается огромное количество пыли. Поскольку давление в облаке меньше атмосферного, то пыль как бы «всасывается» в облако ядерного взрыва и перемешивается с радиоактивными веществами (РВ) [7]. Под действием воздушных течений облако переносится на большие расстояния, и из него РВ выпадают на поверхность, создавая *радиоактивное заражение* местности и объектов (рис. 9).

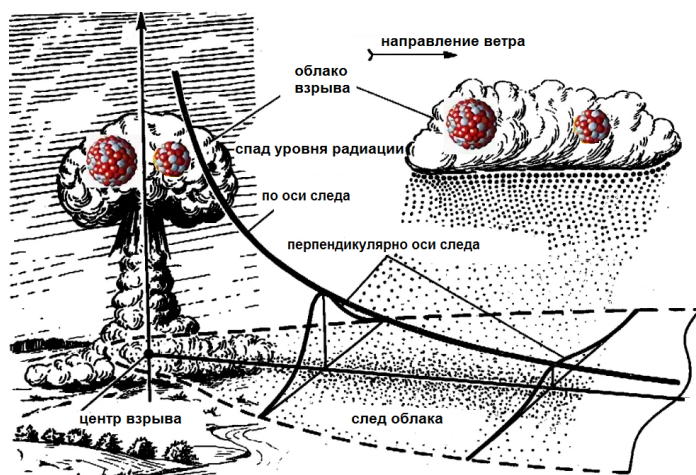


Рис. 9. Формирование радиоактивного заражения местности

1.5. Виды ядерных взрывов

В зависимости от решаемых задач различают следующие ядерные взрывы: высотные (космические, стратосферные), воздушные, наземные (надводные), подземные и подводные [7].

Высотными ядерными взрывами называются взрывы, для которых средой, окружающей зону взрыва, является разреженный воздух. Практически к таким взрывам относят взрывы на высотах больше 10 км.

Высотные ядерные взрывы подразделяются на *стратосферные* (взрывы на высотах от 10 до 80 км) и *космические* (взрывы на высотах более 80 км).

Физические процессы развития стратосферных взрывов качественно подобны процессам развития воздушных взрывов. Однако значения характеристик этих процессов различаются. Их различие тем существеннее, чем больше высота стратосферного взрыва. Это обуславливается увеличением пробега всех излучений, выходящих из зоны взрыва, возрастанием высоты взрыва.

Для стратосферных взрывов характерны образование и развитие светящейся области и облака взрыва, возникновение области повышенной ионизации воздуха. С увеличением высоты взрыва размеры светящейся области возрастают, она становится все более вытянутой по вертикали (рис. 10).



Рис. 10. Стратосферный ядерный взрыв

Форма и размеры облака взрыва с увеличением высоты взрыва изменяются подобно изменениям формы и размеров светящейся области. С увеличением высоты взрыва облако взрыва рассеивается все быстрее.

Размеры области ионизации с увеличением высоты взрыва возрастают. При взрывах на высотах более 25 км ее размеры превышают размеры светящейся области и облака взрыва.

Поражающими факторами стратосферных ядерных взрывов являются рентгеновское излучение, проникающая радиация, воздушная ударная волна, световое излучение, газовый поток, ионизация среды, электромагнитный импульс, радиоактивное заражение воздуха.

Космические взрывы отличаются от стратосферных не только значениями характеристик сопровождающих их физических процессов, но и самими физическими процессами.

Космический ядерный взрыв производится на высоте более 80 км и начинается с яркой кратковременной вспышки, после чего образуется клубящееся кольцеобразное облако.

При космических взрывах вследствие сильного разрежения воздуха пробег всех излучений, выходящих из зоны взрыва, достигает больших значений. Например, при взрывах на высотах 80—100 км пробег рентгеновского излучения в горизонтальном направлении составляет несколько километров, а на больших высотах — десятки и сотни километров; рентгеновское излучение, идущее вверх, распространяется на значительно большие расстояния, а рентгеновское излучение, идущее вниз, поглощается в слое воздуха на высотах 60—90 км.

Важно отметить, что 80% энергии взрыва идет на образование рентгеновского излучения. В свое время Соединенные Штаты Америки планировали использовать эту особенность космического ядерного взрыва для создания лазеров с ядерной накачкой в рамках программы СОИ (Стратегическая оборонная инициатива). Предполагалось на космическом летательном аппарате (КЛА) разместить мощный ядерный заряд и несколько десятков лазеров.

Лазеры после отхода от КЛА на безопасное расстояние фокусируют образующееся после ЯВ рентгеновское излучение в узкий пучок энергии и направляют на объект, например на головную часть баллистической ракеты (рис. 11). При этом энергия поглощается тонким слоем внешней оболочки боеголовки, вследствие чего происходит взрывной процесс испарения прогретого слоя и механическое повреждение оболочки. Таким

образом, космические ядерные взрывы могут применяться для уничтожения воздушных и космических средств нападения и разведки: самолетов, крылатых ракет, спутников, головных частей баллистических ракет, то есть для целей противокосмической и противоракетной обороны [1].

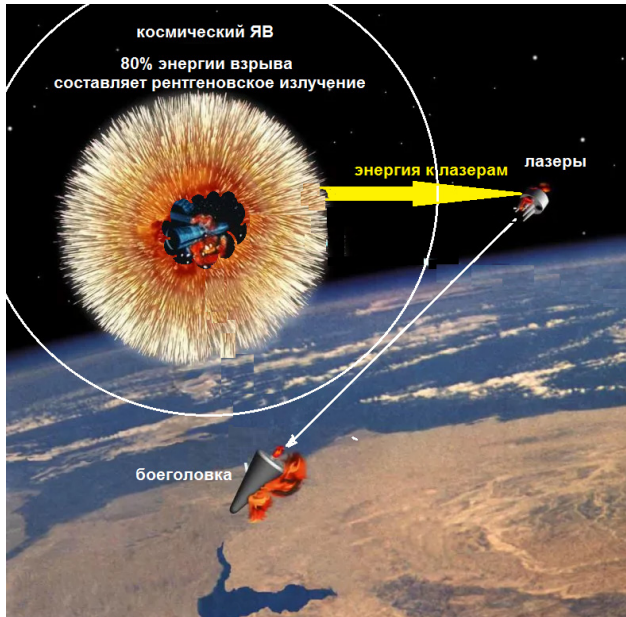


Рис. 11. Воздействие космического ядерного взрыва

В зависимости от высоты физическая картина ядерного взрыва значительно изменяется. Так, при подрыве ядерного заряда на высотах более 30 км поражение объектов определяется в основном проникающей радиацией, которая создает в атмосфере область повышенной ионизации среды и существенно изменяет условия распространения электромагнитных волн в радиодиапазоне.

На высотах от 20 до 50 км расположен озоновый слой, поглощающий ультрафиолетовое излучение. Производство взрывов на этих высотах может привести к уничтожению озонового

«экрана», защищающего нас от ультрафиолетового излучения, в больших дозах вредного для здоровья. Без озонового слоя жизнь на земле в современных ее формах оказалась бы невозможной.

Поражающими факторами космических ядерных взрывов являются проникающая радиация, рентгеновское излучение, области повышенной ионизации атмосферы, газовый поток, ионизация среды, электромагнитный импульс, слабое радиоактивное заражение воздуха.

Высотный ядерный взрыв, произведенный выше границы тропопаузы (граница между тропосферой и стратосферой), предназначен для поражения в полете воздушных и космических целей (рис. 12).

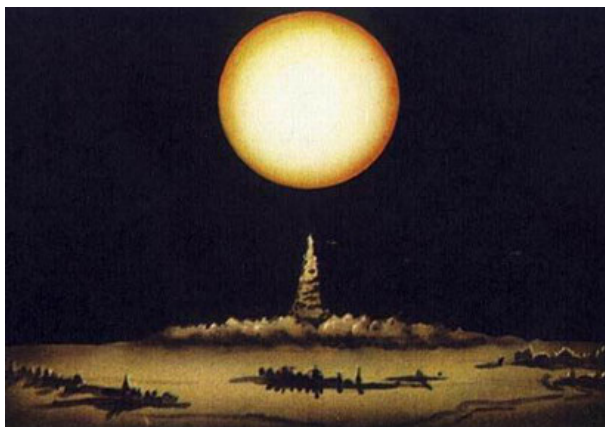


Рис. 12. Светящаяся область высотного ядерного взрыва

Воздушными ядерными взрывами называются взрывы, для которых средой, окружающей зону взрыва, является воздух. Практически к воздушным относятся взрывы в атмосфере на высотах. При этом светящаяся область имеет форму шара и не соприкасается с поверхностью земли (воды). Точка на поверхности земли (воды), над которой произошел взрыв, называется эпицентром взрыва.

Вслед за яркой вспышкой при воздушном ЯВ образуется светящаяся область в виде сферы. У поверхности светящейся

области создается очень резкий перепад температуры и давления. Раскаленные газы стремительно расширяются, сжимая и приводя в движение окружающие слои воздуха. Сжатие передается от слоя к слою воздуха и в виде воздушной ударной волны распространяется на значительное расстояние от места взрыва.

В этот же период из точки взрыва в окружающее пространство испускаются проникающая радиация и световое излучение. Светящаяся область со временем остывает и, поднимаясь, превращается в клубящееся радиоактивное облако. В это время с земли поднимается столб пыли, вследствие чего образуется облако характерной грибовидной формы (рис. 13). Максимальной высоты облако, в зависимости от мощности боеприпаса, достигает не более чем за 10—15 мин после взрыва, а высота подъема верхней кромки облака в зависимости от мощности боеприпаса может достигать от 5 до 20 км. Затем облако постепенно утрачивает свою характерную форму и, двигаясь по направлению ветра, рассеивается. Воздушный взрыв имеет характерную грибовидную форму.



Рис. 13. Воздушный ядерный взрыв

Особенностью воздушного ядерного взрыва является то, что облако взрыва не соединяется с пылевым столбом или едва касается его. Ядерный взрыв сопровождается резким звуком, напоминающим сильный раскат грома.

Поражающими факторами воздушного ядерного взрыва являются ударная волна, световое излучение, проникающая радиация и электромагнитный импульс.

При воздушном ядерном взрыве образуется слабое радиоактивное заражение, не представляющее существенной опасности для личного состава. Это происходит, потому что радиоактивные вещества, выпадая из облака, относительно равномерно распределяются по большим территориям.

Воздушный ядерный взрыв предназначен главным образом для поражения наземных и надводных целей, так как при данном взрыве образуется сильная ударная волна. Она сильнее, чем у наземного (надводного) взрыва аналогичной мощности. У наземного взрыва имеет место только прямая ударная волна, а у воздушного ядерного взрыва — прямая ударная волна и отраженная, сливающаяся на некотором удалении от взрыва с прямой, тем самым значительно усиливающая свою мощность [8].

К наземным ядерным взрывам относят взрывы на поверхности земли (контактные) и взрывы в воздухе на высотах, при которых светящаяся область касается поверхности земли и имеет форму полусферы (рис. 14).

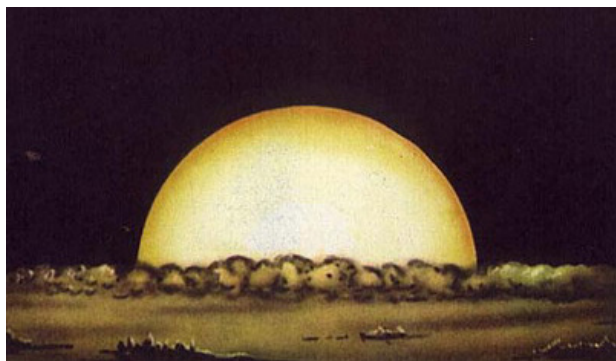


Рис. 14. Светящаяся область наземного ядерного взрыва

Если наземный взрыв осуществляется на поверхности земли (контактный взрыв) или в непосредственной близости от нее, в грунте образуется большая воронка, окруженная валом земли. Размер и форма воронки зависят от мощности взрыва; диаметр воронки может достигать несколько сотен метров [4].

При наземном взрыве образуется более мощное пылевое облако и столб пыли, чем при воздушном, причем столб пыли с момента его образования соединен с облаком взрыва, в результате чего в облако вовлекается огромное количество грунта, который придает ему темную окраску.

Наземный ядерный взрыв имеет характерную грибовидную форму (рис. 15). Облако взрыва соединяется с пылевым столбом.



Рис. 15. Наземный ядерный взрыв

Перемешиваясь с радиоактивными продуктами, грунт способствует их интенсивному выпадению из облака. При наземном взрыве радиоактивное заражение местности в районе взрыва и по следу движения облака значительно сильнее, чем при воздушном.

Наземные взрывы предназначаются для разрушения объектов, состоящих из сооружений большой прочности, и поражения войск, находящихся в прочных укрытиях, если при этом допустимо или желательно сильное радиоактивное заражение местности и объектов в районе взрыва или на следе облака. Эти взрывы применяются и для поражения открыто расположенных войск, если необходимо создать сильное радиоактивное заражение местности. *При наземном ядерном взрыве поражающими факторами являются ударная волна, световое излучение, электромагнитный импульс, проникающая радиация и радиоактивное заражение* [1; 8].

К надводным ядерным взрывам относят взрывы на поверхности воды (контактные) и взрывы в воздухе на высотах, при которых светящаяся область касается поверхности земли и имеет форму полусферы [8].

Надводный ядерный взрыв имеет внешнее сходство с наземным ядерным взрывом и сопровождается теми же поражающими факторами, что и наземный взрыв. Разница заключается в том, что грибовидное облако надводного взрыва состоит из плотного радиоактивного тумана или водяной пыли (рис. 16) [1].



Рис. 16. Надводный ядерный взрыв

При взрыве на небольшой высоте над водой в районе эпицентра взрыва на поверхности воды под действием воздушной ударной волны образуется впадина, последующее заполнение

которой приводит к появлению на поверхности воды серии расходящихся концентрических волн и образованию столба воды, в облако взрыва вовлекается большое количество воды. Под действием светового излучения значительное количество воды превращается в пар и также увлекается в облако взрыва.

В облаке взрыва капли и пары воды смешиваются с радиоактивными продуктами взрыва и после остывания облака выпадают из него в виде радиоактивного дождя, образуя радиоактивное заражение акватории, местности и объектов.

Действие светового излучения значительно ослабляется вследствие экранирования большой массой водяного пара. Выход из строя объектов определяется в основном действием воздушной ударной волны.

Надводные ядерные взрывы могут осуществляться для поражения крупных надводных кораблей и прочных сооружений военно-морских баз, портов, когда допустимо или желательно сильное радиоактивное заражение воды и прибрежной местности.

Подземный ядерный взрыв производится под землей с выбросом грунта или без выброса (рис. 17) [4].

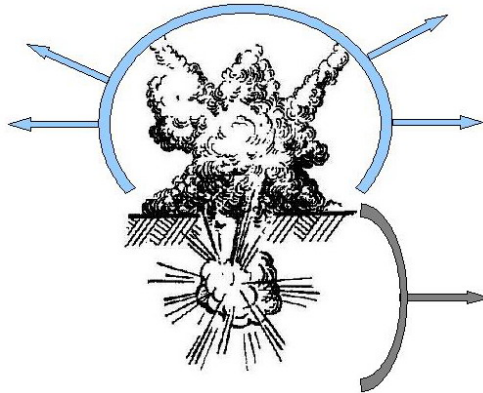


Рис. 17. Подземный ядерный взрыв

Подземные ядерные взрывы, при которых не происходит раскрытие грунтового купола и отсутствует прямой выход

продуктов взрыва из его полости в атмосферу, называются *камуфлетными*. Минимальная глубина, начиная с которой не наблюдается выброс грунта, зависит от мощности взрыва и вида грунта.

Если взрыв происходит на небольшой глубине, вначале возникают те же процессы, что и при взрыве на большой глубине. Затем в результате расширения взрывной полости на поверхности земли вырастает грунтовый купол, который тут же раскрывается. Через раскрывшийся купол из полости вырываются газообразные продукты, вследствие чего в воздухе образуются воздушная ударная волна и облако взрыва. Вырвавшиеся наружу газы поднимают с собой в атмосферу большое количество грунта. В грунте образуется воронка, вокруг нее — навал грунта; возникают пылевые образования. Вместе с газами и грунтом в атмосферу выбрасываются радиоактивные продукты, которые, смешавшись с частицами пыли, в последующем выпадают и создают сильное радиоактивное заражение местности и воздуха.

Подземные ядерные взрывы, при которых происходит раскрытие купола и прорыв газообразных продуктов наружу с выбросом в атмосферу грунта, называются взрывами с выбросом грунта. Данный подземный ядерный взрыв не имеет характерной грибовидной формы. Вспышка и светящаяся область не наблюдаются.

Основными поражающими факторами камуфлетного ядерного взрыва являются ударная волна в грунте (сейсмозрывные волны) и в воздухе, а также сильное радиоактивное заражение.

Действие воздушной ударной волны ослаблено, но сейсмозрывные волны в грунте могут поражать заглубленные в землю объекты.

Проникающая радиация и газовый поток при подземном ядерном взрыве на небольшой глубине практически полностью поглощаются грунтом.

В месте взрыва образуется большая воронка, размеры которой зависят от мощности заряда, глубины взрыва и типа грунта; из воронки выбрасывается огромное количество грунта, перемешанного с радиоактивными веществами, которые образуют столб. Высота столба может достигать многих сотен метров.

У подземного ЯВ с выбросом грунта наблюдается сильное радиоактивное заражение в районе взрыва и по следу движения облака.

Подземный ядерный взрыв предназначен для разрушения особо прочных сооружений.

Подводный ядерный взрыв производится под водой. Вспышка и светящаяся область не наблюдаются. Взрыв имеет характерную грибовидную форму.

За короткий промежуток времени после окончания цепной ядерной реакции в воде формируется светящаяся область. Увеличение объема и снижение температуры светящейся области приводит к образованию парогазового пузыря, который состоит из материалов боеприпаса, солей морской воды и водяного пара с радиоактивными продуктами в центре.

Парогазовый пузырь, поднимаясь к поверхности, быстро расширяется и образует прямую подводную ударную волну, которая при достижении дна водоема образует отраженную подводную ударную волну и порождает серию сейсмозрывных волн в грунте. В результате отражения подводной ударной волны от водной поверхности образуется преломленная воздушная ударная волна, а над эпицентром взрыва образуется водяной купол (рис. 18) [3].



Рис. 18. Водяной купол подводного ядерного взрыва

Парогазовый пузырь, поднимаясь к поверхности, быстро расширяется и образует прямую подводную ударную волну, которая при достижении дна водоема образует отраженную подводную ударную волну и порождает серию сейсмозврывных волн в грунте. В результате отражения подводной ударной волны от водной поверхности образуется преломленная воздушная ударная волна, а над эпицентром взрыва образуется водяной купол [7].

После прорыва парогазового пузыря через поверхность воды на большую высоту поднимается водяной столб, полый внутри, на вершине которого образуется густое конденсационное облако, состоящее из пара, брызг и радиоактивных продуктов. Водяной столб, увенчанный конденсационным облаком, называют взрывным султаном.

Примерно через 10—12 с после ядерного взрыва при разрушении султана у его основания образуется вихревое кольцо плотного радиоактивного тумана с водяными каплями и брызгами, которое называется *базисной волной* (рис. 19).



Рис. 19. Формирование базисной волны подводного ядерного взрыва

Базисная волна быстро распространяется во все стороны от ядерного взрыва, увеличивается по высоте и сносится ветром. Примерно через 3—5 мин она отрывается от поверхности воды и сливается с конденсационным облаком, образуя остаточное облако, имеющее слоисто-кучевой вид.

Из движущегося под действием ветра остаточного облака выпадают радиоактивные осадки — создается радиоактивное заражение [1].

Падение огромных масс воды из султана приводит к образованию водяного вала, который называется поверхностным бором. На некотором расстоянии от эпицентра бор превращается в серию кольцевых гравитационных волн, представляющих собой радиальное движение воды высотой, составляющей несколько десятков метров.

Султан и базисная волна являются источником проникающей радиации — главным образом гамма-излучения.

Основными поражающими факторами данного взрыва являются ударная волна (воздушная, подводная — прямая и отраженная), сейсмозрывные волны в грунте, гравитационные волны); проникающая радиация в виде гамма-излучения (нейтроны поглощаются водой, источниками проникающей радиации являются султан и базисная волна) [6].

Подводный ядерный взрыв предназначен для поражения надводных кораблей, подводных лодок и разрушения различных гидротехнических сооружений.

1.6. Поражающие факторы ядерных взрывов и их характеристика

Ядерный взрыв отличается от взрыва обычного боеприпаса несравненно более мощным разрушительным действием и особым характером воздействия на личный состав, вооружение, технику и т. п.

При ЯВ образуются пять поражающих факторов. Четыре из них являются кратковременно действующими, так как время их поражающего действия колеблется от долей секунды до нескольких десятков секунд и зависит от мощности ядерного

заряда. Это ударная волна, световое излучение, электромагнитный импульс и проникающая радиация. Пятый поражающий фактор — радиоактивное заражение — является длительно действующим, а время поражающего действия исчисляется часами, днями, неделями.

Ударная волна (УВ) — один из основных поражающих факторов ядерного взрыва. В зависимости от того, в какой среде произошел взрыв — в воздухе, воде или грунте — ее называют соответственно воздушной УВ, подводной УВ и сейсмозврывной волной в грунте. На УВ расходуется около 50% энергии ЯВ.

Ударная волна — это область сильно сжатой среды, распространяющаяся во все стороны от ЯВ со сверхзвуковой скоростью.

Воздушная УВ — это область резкого сжатия воздуха, распространяющаяся во все стороны от центра взрыва со сверхзвуковой скоростью. Передняя граница сжатой области называется фронтом УВ.

Давление, превышающее атмосферное, называется избыточным давлением во фронте ударной волны. Оно является основным параметром ударной волны и определяет ее поражающее действие. Непосредственно за фронтом УВ скорость движения воздуха имеет максимальное значение, а затем постепенно уменьшается. В фазе сжатия воздух движется в направлении от центра взрыва, а в фазе разрежения — к центру взрыва.

Ударная волна проходит первые 1000 м за 2 с, 2000 м — за 5 с, 3000 м — за 8 с. За это время человек, увидев вспышку, может укрыться и тем самым уменьшить вероятность поражения волной или вообще избежать его.

Движение воздуха в ударной волне воспринимается как сильное ветровое давление. Это давление называется скоростным напором.

Поражающее действие ударной волны определяется главным образом избыточным давлением в ее фронте, а также скоростным напором. Избыточным давлением поражаются преимущественно крупноразмерные объекты (промышленные и жилые здания, корпуса кораблей и т. п.), а скоростным напором — малоразмерные объекты (вышки, мачты, столбы, антенны и т. п.) и личный состав.

Воздушная ударная волна наносит поражение человеку непосредственное и косвенное. Непосредственное поражение объекта определяется избыточным давлением во фронте УВ и скоростным напором воздуха, который движется за фронтом УВ. Основной причиной возникновения травм является мгновенное повышение давления воздуха в момент прихода волны, воспринимаемое человеком как резкий удар.

Косвенное поражение определяется обломками разрушенных объектов, осколками стекол и другими предметами, увлекаемыми ударной волной.

Принцип защиты личного состава, различных объектов, оружия и технических средств состоит в уменьшении степени воздействия избыточного давления и силы скоростного напора.

Личный состав закрытых боевых постов защищен от воздействия скоростного напора воздушной УВ самой конструкцией боевой машины, корпуса корабля, стенами и перегородками зданий и сооружений. При нахождении на открытых местностях и боевых постах в целях ослабления воздействия УВ личный состав должен лечь на землю, палубу, укрываясь за надстройками, башнями или другой материальной частью.

Поражающее действие УВ воздушного ядерного взрыва больше, чем наземного той же мощности, так как при воздушном взрыве дополнительно образуется отраженная волна, которая на некотором удалении от взрыва сливается с прямой волной и, соответственно, избыточное давление во фронте УВ увеличивается.

Подводная ударная волна производит разрушение подводной части корабля, причем ее поражающее действие возрастает с увеличением осадки корабля и глубины взрыва. Скорость распространения подводной УВ составляет примерно 1,5 км/с. После воздействия подводной УВ корабль испытывает сильное сотрясение, что приводит к повреждению оружия и технических средств внутри основного корпуса и в надстройках корабля. Наиболее характерными видами повреждений являются нарушения крепления механизмов и вооружений к фундаментам.

Световое излучение ядерного взрыва представляет собой электромагнитное излучение оптического диапазона, включающее ультрафиолетовую, видимую и инфракрасную области спектра.

Источником светового излучения является светящаяся область. Распространяется световое излучение в основном прямолинейно со скоростью 300 тыс. м/с. На его долю приходится примерно 35% энергии ЯВ.

Основной характеристикой светового излучения является световой импульс.

Световой импульс — это количество энергии, падающей за время излучения на единицу площади неподвижной, неэкранированной поверхности, расположенной перпендикулярно к направлению излучения.

В системе СИ световой импульс измеряется в Дж/м². Внесистемная единица измерения — кал/см² ($1 \text{ кал/см}^2 = 4,2 \cdot 10^4 \text{ Дж/м}^2$). Значение светового импульса зависит от мощности ЯВ, расстояния до взрыва, формы светящейся области и состояния атмосферы.

Время существования светящейся области зависит от мощности ЯВ и примерно равно для боеприпасов:

- сверхмалого калибра — десятые доли секунды;
- малого — 1—2 с;
- среднего — 2—5 с;
- крупного — 5—10 с;
- сверхкрупного — 10 с.

Поражающее действие светового излучения наземного ЯВ примерно на 40% меньше поражающего действия светового излучения воздушного ЯВ. Это объясняется тем, что при наземном взрыве нижняя часть излучающей поверхности полусферы сильно экранируется поднятой с земли пылью и дымом. Дождь, снегопад, туман также значительно ослабляют световое излучение.

Поглощенная часть энергии светового излучения превращается в тепло, вызывая нагрев облучаемого объекта, что приво-

дит к обугливанию или плавлению материалов. Оценка воздействия светового излучения на людей производится по четырем степеням ожогов и термических поражений кожи:

— 1-я — появление болезненной красноты и отечности кожи;

— 2-я — образованием пузырей;

— 3-я — омертвлением кожи;

— 4-я — обугливанием кожи.

Личный состав может получить ожоги не только при прямом воздействии светового излучения, но и при косвенном, например при пожарах, возникающих после ядерного взрыва. Воздействие светового излучения на глаза вызывает временное ослепление: днем — 1—5 мин, ночью — до 30 мин, а в более тяжелых случаях может привести к потере зрения. Для защиты глаз следует использовать очки противоятомные фотохромные (ОПФ) или очки фотохромные (ОФ).

Поражающее действие светового излучения на различные материалы зависит от их физико-химических свойств. Быстрее повреждаются материалы темного цвета. Например, черное сукно поглощает 99% падающей световой энергии, а белая ткань только 25%.

Надводные корабли и особенно подводные лодки весьма устойчивы к воздействию светового излучения. Однако при организации защиты следует предусматривать возможность возникновения пожара от возгорания чехлов, деревянных настилов, краски и т.п. Большое значение имеют проводимые профилактические противопожарные мероприятия на кораблях и объектах флота.

Ядерные взрывы в атмосфере и в более высоких слоях приводят к возникновению мощных электромагнитных полей с длинами волн от 1 до 1000 м и более. Эти поля ввиду их кратковременного существования (менее 1 с) принято называть *электромагнитным импульсом* (ЭМИ).

Основной причиной возникновения ЭМИ является взаимодействие γ -квантов и нейтронов с газом во фронте воздушной ударной волны и вокруг него. При наземном ядерном взрыве γ -кванты, испускаемые из зоны протекания ядерных реакций,

выбивают из атомов воздуха быстрые электроны, которые летят в направлении движения γ -квантов со скоростью, близкой к скорости света, а положительные ионы остаются на месте. В результате такого разделения электрических зарядов в пространстве образуются элементарные и результирующие электрические и магнитные поля электромагнитного импульса.

В момент воздушного ядерного взрыва около миллионной доли его энергии выделяется в виде интенсивного электромагнитного импульса, охватывающего спектр частот от десятков герц до нескольких сотен мегагерц, то есть диапазон, в котором работают установки электроснабжения, связи и радиолокации.

При наземном и низком воздушном взрыве поражающее воздействие электромагнитного импульса наблюдается на расстоянии нескольких километров от центра взрыва [7].

Электромагнитное излучение в зоне взрыва возникает за счет быстрых электронов, которые образуются в результате взаимодействия γ -квантов с материалами оболочки боеприпаса и рентгеновского излучения с атомами окружающего разреженного воздушного пространства.

Испускаемое из зоны взрыва γ -излучение в направлении поверхности земли поглощается в более плотных слоях воздуха на высотах 20—40 км, выбивая из атомов воздуха быстрые электроны. В результате разделения и перемещения положительных и отрицательных зарядов в этой области и в зоне взрыва, а также при взаимодействии зарядов с геомагнитным полем Земли возникает электромагнитное излучение, которое достигает поверхности Земли в зоне с радиусом до нескольких сот километров.

Поражающее действие ЭМИ имеет особое значение при высотных и космических ядерных взрывах. Зона поражения электромагнитным импульсом при ядерном взрыве на высоте 100 км над поверхностью Земли будет представлять территорию радиусом 1200 км.

При ядерных взрывах происходит ионизация атмосферы в тех или иных масштабах, что зависит от мощности и высоты взрывов. В некоторых случаях при этом возможно изменение слоев ионосферы, особенно при мощных взрывах на больших

высотах. Эти факторы оказывают существенное влияние на прохождение радиоволн и, следовательно, на работу средств радиосвязи и радиолокации. Например, при взрыве на высоте 60 км коротковолновая связь прервется на несколько часов в обширном районе. Характер воздействия на прохождение радиоволн различной частоты на качественном уровне можно определить следующим образом:

- 3—30 кГц — очень малое влияние;
- 30—3000 кГц — сильное ослабление ионосферных волн, но нет влияния на наземные волны;
- 3—30 МГц — большая чувствительность к интерференции;
- 30—300 МГц — с увеличением ионизации прохождение усиливается в некоторых условиях;
- 300—3000 МГц — на прохождение ультравысоких частот малое влияние;
- 3000—10000 МГц — затухание и рефракция (диапазон радиолокации).

В связи с тем, что высотные взрывы значительно ухудшают работу средств радиосвязи и радиолокации, основным назначением высотного взрыва является поражение систем связи и управления на больших пространственных территориях.

Поражающее действие электромагнитного импульса ядерного взрыва на вооружение и военную технику проявляется в нарушении работоспособности радиоэлектронной аппаратуры и электротехнического оборудования.

Степень поражающего действия зависит от параметров электромагнитного импульса, стойкости аппаратуры и характера ее взаимодействия с электромагнитными полями ядерного взрыва. На практике обычно различают непосредственное действие электромагнитного импульса на аппаратуру и воздействие на нее через коммуникационные линии. Наводимые на коммуникационных линиях токи и напряжения могут представлять опасность для аппаратуры и личного состава, находящихся на безопасных удалениях от воздействия других поражающих факторов ядерного взрыва [7].

Уязвимыми к непосредственному воздействию электромагнитного импульса являются наиболее чувствительные элементы

радиоэлектронной и электротехнической аппаратуры (магнитные сердечники, пьезо-элементы, электровакуумные и газоразрядные приборы и др.). В результате непосредственного воздействия электромагнитного импульса и в зависимости от типа элемента, а также особенностей его конструкции одни из них могут временно или полностью потерять работоспособность, другие — вносить существенные помехи в работу аппаратуры.

В пьезо-элементах на длительное время изменяется частота кварцевого резонатора в результате поглощения энергии электромагнитного поля.

Работоспособность электровакуумных и газоразрядных приборов может быть нарушена в результате возникновения на выводах напряжений и токов от воздействия электромагнитного импульса.

В общем случае нарушение нормальной работы радиоэлектронной и электротехнической аппаратуры в результате непосредственного воздействия электромагнитного импульса можно отнести к довольно редким явлениям, поскольку металлические кожухи самой аппаратуры, ограждающие конструкции сооружений, корпуса летательных аппаратов и т. п., в которых она размещается, значительно ослабляют поражающее действие электромагнитного импульса. Личный состав не поражается от непосредственного действия электромагнитного импульса [7].

В наибольшей степени поражающее действие электромагнитного импульса на личный состав, радиоэлектронную и электротехническую аппаратуру проявляется от наведенных токов и напряжений в кабельных линиях и антенно-фидерных устройствах.

Особенно высокое напряжение и значительный ток наводятся в кабельных линиях и антенно-фидерных устройствах, расположенных за пределами экранированных объектов.

В целом стойкость аппаратуры к воздействию импульсных токов (напряжений) зависит от стойкости комплектующих ее изделий.

По степени подверженности воздействию наведенного тока и напряжения радиоэлектронную и электротехническую аппаратуру условно разделяют на три группы: *высокочувствительную* (устройства и приборы на микромодулях и микросхемах);

средней чувствительности (аппаратура, в состав которой входят слаботочные реле, электровакуумные приборы, транзисторы средней и большой мощности); *низкочувствительную* (аппаратура электросилового оборудования, электродвигатели и генераторы, трансформаторы, автоматы, контакторы, реле и другие коммутационные и защитные аппараты силовых распределительных сетей).

В общем случае воздействие на аппаратуру и ее отказы зависят от параметров электромагнитного импульса, стойкости самой аппаратуры, электрофизических характеристик грунта (проводимость, диэлектрическая и магнитная проницаемость, пробивное напряжение), характеристик кабельных изделий и антенно-фидерных устройств, подключенных к аппаратуре. Однозначно оценить роль каждого из этих факторов, как правило, не представляется возможным, так как они сложным образом связаны между собой. Поэтому оценивать воздействие электромагнитного импульса на радиоэлектронные и электротехнические системы объектов необходимо отдельно для каждого конкретного случая с комплексным учетом действия всех этих факторов.

Эффективным способом защиты радиоэлектронной и электротехнической аппаратуры является применение металлических экранов, которые в значительной мере снижают параметры электромагнитного импульса в экранированной полости. Электромагнитные поля могут появиться внутри экрана из-за диффузии внешних полей через стенки экрана, проникновения через неоднородности в экране (отверстия, щели и т.п.), а также за счет токов, заносимых внутрь экрана по металлическим покровам внешних кабельных линий и с антенно-фидерных устройств.

В целях повышения эффективности защиты аппаратуры, расположенной внутри реальных экранов, применяют следующие меры:

- отдельные части экрана соединяют сваркой, выполненной сплошным непрерывным швом;
- помехозащитные переемычки в сооружениях электрически соединяются с основным экраном;

— применяют специальные трубы (патрубки) для ввода кабельных линий в сооружения, при этом трубы приваривают к основному экрану;

— металлические покровы кабельных линий и антенно-фидерных устройств соединяют с внешним контуром заземления сооружения или экраном сооружения с внешней его стороны;

— высокочувствительную аппаратуру размещают в центральной части экранированной полости;

— вентиляционные отверстия в экране оборудуют электромагнитной защитой в виде металлических коробов (волноводов) или металлической сетки, устанавливаемой на входе в отверстия.

Для защиты аппаратуры, подключенной к внешним кабельным линиям и антенно-фидерным устройствам, устанавливают разрядники, дренажные катушки; применяют полупроводниковые стабилитроны (опорные диоды) для защиты высокочувствительной радиоэлектронной аппаратуры, используют кабели с малым сопротивлением металлических покровов, прокладывают параллельно с кабельными линиями защитные тросы и другие способы защиты.

Наведенный ток и напряжение могут представлять опасность для личного состава, находящегося в соприкосновении с электропроводящими коммуникациями.

Для защиты личного состава от поражающего действия наведенного тока и напряжения, наряду с общими мероприятиями по обеспечению электробезопасности, необходимо принимать следующие дополнительные меры: покрывать полы рабочих помещений изоляционным материалом; применять рациональное заземление, обеспечивающее выравнивание потенциалов между частями электроустановок, металлоконструкций, стоек с аппаратурой, щитов, блоков и т.д., которых одновременно может касаться личный состав; строго соблюдать требования техники безопасности по эксплуатации импульсных электро-разрывных установок при проведении работ, связанных с выполнением профилактических мероприятий и ремонтом аппаратуры и кабельных линий.

Защита от воздействия ЭМИ достигается экранированием линий энергоснабжения и управления, радиоэлектронной аппаратуры.

Все наружные линии, например, должны быть двухпроводными, хорошо изолированными от земли, с малоинерционными разрядниками и плавкими вставками. Для защиты чувствительного электронного оборудования целесообразно использовать разрядники с небольшим порогом зажигания.

Для защиты аппаратуры, подключенной к внешним кабельным линиям и антенно-фидерным устройствам, устанавливают разрядники, дренажные катушки; для защиты высокочувствительной аппаратуры применяют полупроводниковые стабилитроны (опорные диоды). Используют кабели с малым сопротивлением металла, параллельно с кабельными линиями прокладывают защитные тросы и другие способы защиты.

Непосредственно на личный состав ЭМИ поражающего действия не оказывает, хотя поражение может быть косвенным.

Проникающая радиация представляет собой мощный поток нейтронов и γ -лучей, возникающих в момент взрыва и распространяющихся во все стороны от него.

Проникающая радиация действует в течение 15—20 с. На ее долю приходится примерно 5% энергии ЯВ.

Нейтроны — это элементарные частицы, не имеющие электрического заряда и входящие в состав ядер практически всех химических элементов за исключением водорода. При ядерных взрывах в процессе реакций деления и синтеза испускаются мгновенные нейтроны (99%), а в результате распада осколков деления — запаздывающие нейтроны (1%).

Поток нейтронов лучше ослабляется материалами, в которых много легких ядер, например ядер атомов водорода, углерода и др. Дело в том, что нейтроны взаимодействуют не с электронами атомов, а с их ядрами, теряя энергию за счет упругого соударения, подобно передаче энергии при соударении бильярдных шаров [7].

Относительно легко нейтроны проходят через материалы, состоящие из тяжелых ядер, например железа, свинца и др., у которых массы ядер значительно больше массы нейтрона.

При столкновении нейтрон отскакивает от ядра, как мяч при ударе о стенку, теряя часть своей энергии (рис. 20).

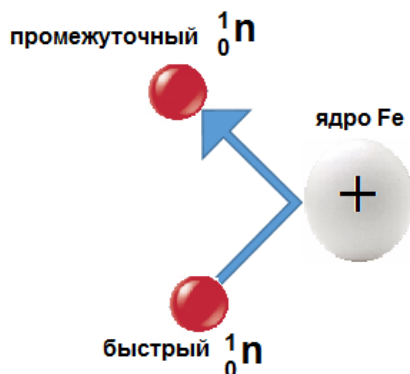


Рис. 20. Отражение нейтрона

Гамма-излучение представляет собой очень короткие электромагнитные волны. При ядерных взрывах в процессе реакции деления испускается мгновенное гамма-излучение, а в результате распада осколков деления — осколочное гамма-излучение, являющееся основным.

Гамма-излучение лучше ослабляется материалами из тяжелых элементов, так как у атомов этих элементов наблюдается высокая электронная плотность. В то же время гамма-излучение легко проходит через материалы из легких элементов (вода, бор и т. п.), так как у атомов этих элементов наблюдается низкая электронная плотность.

Соотношение между нейтронами и гамма-излучением зависит от типа и мощности ядерных боеприпасов, а также от расстояния до центра взрыва. Для ядерных и термоядерных боеприпасов мощностью менее 1 тыс. т основным является нейтронное излучение (70%), для боеприпасов мощностью более 100 тыс. т — гамма-излучение (80%).

При подводном ядерном взрыве проникающая радиация состоит в основном из гамма-излучения, так как нейтроны поглощаются водой. Источниками гамма-излучения являются султан

и базисная волна ядерного взрыва. Длительность действия проникающей радиации зависит от продолжительности существования базисной волны и составляет примерно 3—5 мин.

Сущность поражающего действия проникающей радиации на человека состоит в ионизации атомов, входящих в состав тканей организма, в результате чего может развиваться лучевая болезнь. Степень тяжести заболевания определяется главным образом дозой излучения, то есть той энергией излучения, которая поглощена единицей массы биологической ткани.

Тяжесть лучевой болезни зависит также от состояния организма до облучения, его индивидуальных особенностей и т.п. Переутомление, голодание, болезнь, травмы, ожоги повышают чувствительность организма к воздействию проникающей радиации; лучевая болезнь в этих случаях при равной дозе протекает более тяжело.

Различают 4 степени лучевой болезни.

Лучевая болезнь 1-й степени развивается при дозах от 100 до 200 рад. Первичная реакция отсутствует или проявляется слабо. Через 2—3 недели могут наблюдаться потливость, головокружение, тошнота. В крови отмечается медленное уменьшение количества лейкоцитов до 2—3 тыс. в 1 мм крови. Исход болезни благоприятный. Период выздоровления длится 1,5—2 месяца.

Лучевая болезнь 2-й степени развивается при дозах от 200 до 400 рад. Первичная реакция проявляется уже через 2 ч после облучения в виде головной боли, тошноты, рвоты, повышения температуры и продолжается 1—3 сут. Скрытый период длится 2—3 недели. Разгар болезни длится 1,5—3 недели. Продолжается ослабление организма, снижение иммунитета, выпадают волосы, наблюдаются кровоизлияния. Количество лейкоцитов уменьшается до 1—1,5 тыс. в 1 мм крови. Исход болезни благоприятный, но период выздоровления затягивается до 2—2,5 месяцев.

Лучевая болезнь 3-й степени развивается при дозах от 400 до 600 рад. Первичная реакция проявляется в течение первого часа: многократная рвота, жажда, сухость и горечь во рту. Скрытый период длится от нескольких часов до 3 недель. В этот период наблюдается общая слабость, быстрая утомляемость, расстройство желудка. Разгар болезни характеризуется повы-

шенной температурой тела до 38—40°С, кровоточивостью, выпадением волос, наблюдается низкое кровяное давление, резко уменьшается количество лейкоцитов до 500—600 в 1 мм крови. Исход болезни может закончиться относительным выздоровлением только при своевременном и эффективном лечении. Период выздоровления затягивается на 3—6 месяцев.

Лучевая болезнь 4-й степени развивается при дозах свыше 600 рад и в большинстве случаев заканчивается смертельным исходом. Первичная реакция проявляется в первые 30 мин после облучения. Скрытый период чаще всего отсутствует, за первичной реакцией наступает сразу разгар болезни. Смерть наступает в течение первых 10 сут после облучения.

В течении лучевой болезни различают 4 периода:

- начальный период, или период первичной реакции;
- скрытый (латентный) период, или период мнимого благополучия;
- период разгара лучевой болезни;
- период разрешения болезни.

Облучение в течение 4 сут называется однократным, более 4 сут — многократным. Определено, что *допустимыми дозами облучения*, не приводящими к снижению боеспособности личного состава, принято считать:

- при однократном облучении — 50 рад;
- при многократном облучении:
 - а) в течение 10—30 сут — 100 рад;
 - б) в течение 3 месяцев — 200 рад;
 - г) в течение года — 300 рад.

Проникающая радиация оказывает поражающее действие на технику и вооружение, например под ее воздействием темнеют стекла оптических приборов, засвечиваются фотоматериалы, выходят из строя полупроводниковые приборы, особенно при действии нейтронного излучения.

Радиоактивное заражение занимает особое место среди поражающих факторов ЯВ, так как способно на больших территориях и на длительный период времени создавать опасность облучения для личного состава. Радиоактивному заражению

может подвергаться не только район, прилегающий к месту взрыва, но и местность, удаленная от него на многие десятки километров (и даже сотни).

Источниками радиоактивного заражения являются:

- продукты (осколки) деления ядерного горючего;
- остатки ядерного горючего;
- наведенная активность.

Осколки деления являются основным источником радиоактивного заражения и представляют собой сложную смесь, состоящую примерно из 200 различных изотопов 35 химических элементов, расположенных в средней части Периодической системы элементов Д.И. Менделеева.

Почти все образующиеся изотопы являются нестабильными и претерпевают β -распад с испусканием γ -излучения, а в итоге превращаются в стабильные изотопы. Периоды полураспада изотопов колеблются от долей секунды до многих лет.

Остатки ядерного горючего представляет собой применяющиеся в боеприпасах α -активные уран-235 или плутоний-239. По сравнению с β - и γ -активностью α -активность очень мала и не представляет особой опасности при внешнем облучении. Но α -активные вещества опасны при проникновении внутрь организма.

Наведенная активность возникает в результате захвата нейтронов, выходящих из зоны взрыва, атомами химических элементов, входящих в состав почвы, воды, предметов вооружения с образованием радиоактивных изотопов алюминия-56, натрия-24, железа-59.

Основными количественными характеристиками радиоактивного заражения являются:

- доза излучения;
- уровень радиации или мощность дозы;
- степень заражения.

Поражающее действие радиоактивного заражения на людей определяется главным образом внешним облучением. Попадание радиоактивных веществ на кожу и внутрь организма может лишь несколько увеличить поражающий эффект внешнего облучения.

Уровень радиации (мощность дозы) характеризует изменение дозы с течением времени и измеряется на высоте 0,7—1 м от зараженной поверхности. Единица измерения — рад/ч (р/ч). Уровень радиации является основной величиной, характеризующей степень опасности радиоактивного заражения.

Степень заражения поверхностей различных объектов характеризуется либо величиной мощности дозы (мрад/час или р/час), измеренной на высоте 1—1,5 см от поверхности, либо плотностью заражения (расп/мин см²).

Масштабы и степень радиоактивного заражения в районе взрыва и по пути движения облака зависят в основном от мощности и вида ЯВ, времени, прошедшего с момента взрыва и средней скорости ветра (табл. 1).

Таблица 1

**Безопасные уровни радиоактивного заражения
различных объектов продуктами ЯВ**

Наименование объекта	Мощность дозы, мрад/ч		
	Возраст продуктов ядерного взрыва		
	до 12 ч	от 12 до 24 ч	24 ч и более
Обмундирование, снаряжение, средства индивидуальной защиты (СИЗ)	200	100	50
Внутренние поверхности корабля	800	400	200
Наружные поверхности корабля	1600	800	400

С увеличением мощности взрыва масштабы и степень радиоактивного заражения возрастают. Сильное радиоактивное заражение происходит при наземных, надводных, подземных и подводных ядерных взрывах [6].

Радиоактивное заражение при воздушных взрывах существенной опасности не представляет. Степень радиоактивного заражения с течением времени уменьшается, особенно в первые часы после ядерного взрыва. Это обусловлено распадом радиоактивных продуктов.

Влияние на масштабы и степень радиоактивного заражения других факторов незначительно. Например, выпадение атмосферных осадков во время формирования радиоактивного следа может привести лишь к некоторому увеличению степени заражения в некоторых районах.

По степени опасности для личного состава радиоактивный след условно делится на 4 зоны (рис. 21):

- зона А — умеренного заражения;
- зона Б — сильного заражения;
- зона В — опасного заражения;
- зона Г — чрезвычайно опасного заражения [6].

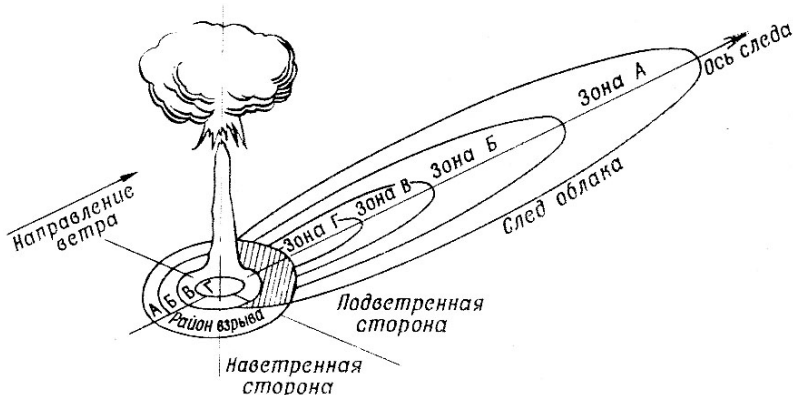


Рис. 21. Границы зон заражения

Уровни радиации на внешних границах этих зон через 1 ч после взрыва составляют 8, 80, 240 и 800 рад/ч, а через 10 ч — 0,5, 5, 15 и 50 рад/ч соответственно.

Радиоактивное заражение может вызывать поражение людей внешним гамма-излучением и при попадании радиоактивных продуктов внутрь организма и на кожу. В результате получения дозы внешнего гамма-излучения (не менее 100 рад) у человека развивается острая или хроническая лучевая болезнь.

Острая форма лучевой болезни аналогична болезни, возникающей при воздействии на людей проникающей радиации ЯВ.

Хроническая форма лучевой болезни характерна для радиоактивного заражения и возникает вследствие длительного облучения людей на следе облака взрыва.

Наиболее вероятными путями попадания радиоактивных продуктов внутрь организма являются пищевой и ингаляционный.

Поражение кожи определяется в основном β -излучением радиоактивных веществ и возникает при попадании продуктов ЯЗ непосредственно на кожу и слизистые оболочки человеческого организма. Поражение кожи характеризуется покраснением, шелушением, отеком кожи, образованием пузырей и долго не заживающих язв.

Принципы защиты от радиоактивного заражения заключаются в максимальном уменьшении дозы излучения и предотвращении попадания радиоактивных веществ внутрь организма человека и на кожные покровы [6].

Для этого необходимо:

- своевременно использовать средства индивидуальной и коллективной защиты, радиозащитные препараты из аптечки индивидуальной;
- при первой же возможности произвести дезактивацию зараженной техники, вооружения корабельных поверхностей;
- уменьшать время облучения личного состава;
- проводить контроль радиоактивного облучения и заражения радиоактивными веществами.

При ядерном взрыве поражение личного состава чаще всего будет определяться совместным воздействием двух или трех поражающих факторов — ударной волны, светового излучения и проникающей радиации (радиоактивного заражения), в результате чего у пострадавших могут наблюдаться комбинированные поражения, то есть различные комбинации травм, ожогов и лучевой болезни.

Например, если у пораженных людей, наряду с лучевой болезнью, имеются и ожоги, то они протекают более тяжело, заживают медленнее и часто дают осложнения. То же относится к ранам и переломам. В свою очередь, наличие ожогов, ран, переломов и других травм ухудшает течение лучевой болезни. Совокупность признаков, характеризующих более тяжелое те-

чение каждого из компонентов комбинированного поражения, называется синдромом взаимного отягощения. Степень тяжести комбинированного поражения всегда не меньше степени тяжести его ведущего компонента [6].

1.7. Особенности поражающего действия нейтронных боеприпасов

Разновидностью термоядерного заряда является нейтронный заряд.

Нейтронное оружие было разработано в США американским ученым С. Коуэном в 1963 году специально для борьбы с советскими танками.

Нейтронный боеприпас представляет собой малогабаритный термоядерный заряд мощностью 1—2 тыс. т, у которого основная доля энергии выделяется за счет реакции синтеза ядер дейтерия и трития, а количество энергии, получаемой в результате деления тяжелых ядер в детонаторе, минимально, но достаточно для начала реакции синтеза. В качестве детонатора реакции синтеза используется $^{239}_{94}\text{Pu}$, у которого в сопоставимых условиях величина критической массы примерно в три раза меньше, чем у $^{239}_{92}\text{U}$.

В отличие от термоядерных боеприпасов большой мощности с дейтеридом лития в нейтронных боеприпасах считается предпочтительным использовать смесь дейтерия и трития. Дейтерий и тритий могут входить в состав заряда в виде твердого вещества — гидрида металла — или содержаться в сжатом газообразном состоянии. Для взрывов боеприпасов малой и сверхмалой мощности их требуется незначительное количество [7].

В ходе первой стадии взрыва нейтронного боеприпаса при срабатывании атомного детонатора за счет энергии цепной реакции деления создается термодинамическая среда (температура в несколько миллионов градусов). На второй стадии основное значение имеет протекание реакции синтеза.

В ходе этой реакции рождаются быстрые нейтроны, создающие в окружающем пространстве сверхплотный поток про-

никающей радиации — основного поражающего фактора нейтронного боеприпаса. На образование других поражающих факторов расходуется гораздо меньшая доля энергии взрыва.

Таким образом, при взрыве нейтронных боеприпасов (НБ) основным поражающим фактором, определяющим выход из строя личного состава, расположенного вне укрытий, на кораблях, в танках, БМП, открытых и закрытых фортификационных сооружениях, является проникающая радиация.

Важной особенностью ядерных и термоядерных боеприпасов сверхмалой мощности является то, что радиус поражающего действия проникающей радиации значительно превышает радиус поражающего действия ударной волны и светового излучения. При подрыве боеприпасов большей мощности, наоборот, радиус поражающего действия ударной волны и светового излучения значительно больше радиуса поражающего действия проникающей радиации [7].

Для нейтронного боеприпаса на одинаковом расстоянии от эпицентра взрыва доза проникающей радиации примерно в 5—10 раз больше, чем для боеприпаса с зарядом деления той же мощности. Такое отличие обусловлено тем, что количество образующихся нейтронов (из расчета на 1 тыс. т тротилового эквивалента) при взрыве нейтронного боеприпаса и их энергия на порядок больше, чем боеприпаса с зарядом деления.

При взрывах нейтронных боеприпасов военная техника, вооружение и сооружения от действия ударной волны получают на одних и тех же расстояниях от эпицентра взрыва более слабые повреждения, чем при взрывах обычных ядерных боеприпасов той же мощности. Объясняется это тем же, что при взрывах нейтронных боеприпасов, по сравнению с обычными, на образование воздушной ударной волны выделяется меньше энергии.

Считается, что взрыв нейтронного боеприпаса по действию ударной волны и светового излучения примерно эквивалентен 0,5—0,7 мощности взрыва ядерного боеприпаса с зарядом деления. Поэтому для оценки поражающего действия взрыва нейтронных боеприпасов на вооружение, военную технику и сооружения можно использовать радиусы выхода из строя этих объектов при взрывах обычных ядерных боеприпасов, уменьшенные в 1,1—1,3 раза [7].

В нейтронном заряде для повышения коэффициента полезного использования термоядерного горючего предусматривается система удержания плазмы в виде сферической ампулы из специального сплава.

Подрыв нейтронного заряда осуществляется на высоте 300 м. Поражение ударной волной и световым излучением сведено до минимума, для них радиус поражающего действия составляет примерно 200 м. Радиус поражения нейтронными потоками составляет примерно 1500 м.

При подрыве нейтронного боеприпаса энергия взрыва распределяется следующим образом: на образование ударной волны расходуется около 40%, на световое излучение — 30%, на радиоактивное заражение — 5%, на проникающую радиацию — 25%.

Для нейтронных зарядов характерны повышенный выход нейтронов и их жесткий энергетический спектр. Примерно 80% энергии, выделяющейся при синтезе дейтерия и трития, приходится на нейтроны. Часть их энергии теряется на взаимодействие с материалом конструкции боеприпаса. В итоге на проникающую радиацию приходится 25% энергии взрыва. На одинаковом расстоянии от эпицентра взрыва доза проникающей радиации для нейтронного боеприпаса будет примерно в 5—10 раз больше, чем для ядерного заряда деления той же мощности.

В настоящее время за рубежом значительное внимание уделяется разработке так называемых «чистых» термоядерных боеприпасов, при взрыве которых не происходит сильного радиоактивного загрязнения местности. Подобные боеприпасы планируется применять в тех случаях, когда радиоактивное загрязнение местности препятствует боевым действиям своих войск.

Абсолютно «чистую» ядерную бомбу создать невозможно, так как нейтроны, выделяющиеся при любой ядерной реакции, создают радиоактивный углерод в результате ядерной реакции с азотом воздуха, а также другие радиоактивные вещества, воздействуя на материалы конструкции боеприпаса, почву и т.д. Но существенно уменьшить количество радиоактивных веществ при ядерном взрыве можно.

Конструктивные схемы ядерных зарядов позволяют регулировать мощность ядерного взрыва непосредственно перед использованием. Их называют зарядами переменной мощности.

В лабораториях военно-промышленного комплекса США в последние годы изучаются, проводятся и проверяются экспериментальные идеи создания ядерного оружия нового поколения.

1.8. Аварии на радиационно-опасных объектах, особенности радиоактивного заражения (загрязнения) и защиты личного состава

Радиационно-опасный объект (РОО) — это объект, на котором хранят, перерабатывают, используют или транспортируют радиоактивные вещества и при аварии на котором может произойти облучение ионизирующим излучением или радиоактивное заражение людей, сельскохозяйственных животных и растений, а также загрязнение окружающей природной среды.

К радиационно-опасным объектам относятся атомные электростанции, корабли с ЯЭУ, предприятия радиохимической промышленности, объекты по переработке и захоронению радиоактивных отходов и т. д.

В мире на АЭС насчитывается 430 энергоблоков, и их количество растет с каждым годом. Они вырабатывают электроэнергию во Франции — 75%, в Швеции — 51%, в Японии — 40%, в США — 24%, в России — 12%. В России работают 9 АЭС, имеющих 29 блоков.

При авариях или катастрофах на объектах атомной энергетики образуется очаг радиоактивного заражения (территория, на которой произошло радиоактивное заражение окружающей среды, повлекшее поражение людей, животных, растительного мира на длительное время).

Опасность, возникающая во время аварий на РОО, связана с выходом радиоактивных веществ в окружающую среду.

Радиоактивное загрязнение (заражение) местности происходит в двух случаях: при взрывах ядерных боеприпасов или при аварии на объектах ядерной энергетики.

При ядерном взрыве преобладают радионуклиды с коротким периодом полураспада, поэтому происходит быстрый спад уровня радиации. Особенностью аварий на АЭС является радиоактивное заражение атмосферы и местности легколетучими радионуклидами (йод, цезий, стронций). Кроме того, цезий и стронций обладают длительным периодом полураспада, поэтому резкого спада уровня радиации нет. При ядерном взрыве главную опасность представляет внешнее облучение (90—95% от общей дозы). При авариях на АЭС значительная часть продуктов деления ядерного топлива находится в парообразном и аэрозольном состоянии. Доза внешнего облучения составляет 15%, а внутреннего — 85%.

Вместе с тем бурное развитие атомной промышленности и атомной энергетики, расширение сферы применения источников радиоактивности обусловили появление радиационной опасности и риска возникновения радиационных аварий с выбросом радиоактивных веществ и загрязнением окружающей среды.

В настоящее время в России функционируют более 700 крупных радиационно-опасных объектов, которые в той или иной степени представляют радиационную опасность, но объектами повышенной опасности являются атомные станции. Практически все действующие АЭС расположены в густонаселенной части страны, а в их 30-километровых зонах проживают около 4 млн человек. Общая площадь радиационно-дестабилизированной территории России превышает 1 млн км², на ней проживают более 10 млн человек.

Аварии на РОО могут привести к радиационной чрезвычайной ситуации (РЧС). Под радиационной чрезвычайной ситуацией понимается неожиданная опасная радиационная ситуация, которая привела или может привести к незапланированному облучению людей или радиоактивному загрязнению окружающей среды сверх установленных гигиенических нормативов и требует экстренных действий по защите людей и среды обитания [2].

Классификация радиационных аварий

Аварии, связанные с нарушением нормальной эксплуатации РОО, подразделяются на проектные и запроектные.

Проектная авария — авария, для которой проектом определены исходные события и конечные состояния, в связи с чем предусмотрены системы безопасности.

Запроектная авария — вызывается не учитываемыми для проектных аварий исходными событиями и приводит к тяжелым последствиям. При этом может произойти выход радиоактивных продуктов в количествах, приводящих к радиоактивному загрязнению прилегающей территории, возможному облучению населения выше установленных норм. В тяжелых случаях могут произойти тепловые и ядерные взрывы.

В зависимости от границ зон распространения радиоактивных веществ и радиационных последствий потенциальные аварии на АЭС делятся на шесть типов: локальная, местная, территориальная, региональная, федеральная, трансграничная.

Если при *региональной аварии* количество людей, получивших дозу облучения выше уровней, установленных для нормальной эксплуатации, может превысить 500 человек, или количество людей, у которых могут быть нарушены условия жизнедеятельности, превысит 1000 человек, или материальный ущерб превысит 5 млн минимальных размеров оплаты труда, то такая авария будет *федеральной* [5].

При *трансграничных авариях* радиационные последствия аварии выходят за территорию Российской Федерации либо данная авария произошла за рубежом и затрагивает территорию Российской Федерации.

Общая характеристика последствий радиационных аварий

Долгосрочные последствия аварий и катастроф на объектах с ядерной технологией, которые носят экологический характер, оцениваются главным образом по величине радиационного ущерба, наносимого здоровью людей. Кроме того, важной количественной мерой этих последствий является степень ухудшения условий обитания и жизнедеятельности людей. Безусловно, уровень смертности и ухудшения здоровья людей имеет прямую связь с условиями обитания и жизнедеятельности, поэтому рассматривается в комплексе с ними [2].

Последствия радиационных аварий обусловлены их поражающими факторами, к которым на объекте аварии относятся ионизирующее излучение как непосредственно при выбросе, так и при радиоактивном загрязнении территории объекта; ударная волна (при наличии взрыва при аварии); тепловое воздействие и воздействие продуктов сгорания (при наличии пожаров при аварии). Вне объекта аварии поражающим фактором является ионизирующее излучение вследствие радиоактивного загрязнения окружающей среды.

Медицинские последствия радиационных аварий

Любая крупная радиационная авария сопровождается двумя принципиально различающимися между собой видами возможных медицинских последствий:

— радиологическими последствиями, которые являются результатом непосредственного воздействия ионизирующего излучения;

— различными расстройствами здоровья (общими или соматическими расстройствами), вызванными социальными, психологическими или стрессорными факторами, то есть другими повреждающими факторами аварии нерадиационной природы [2].

Радиологические последствия (эффекты) различаются по времени их проявления: ранние (не более месяца после облучения) и отдаленные, возникающие по истечении длительного срока (годы) после радиационного воздействия.

Последствия облучения организма человека заключаются в разрыве молекулярных связей; изменении химической структуры соединений, входящих в состав организма; образовании химически активных радикалов, обладающих высокой токсичностью; нарушении структуры генетического аппарата клетки. В результате изменяется наследственный код и происходят мутагенные изменения, приводящие к возникновению и развитию злокачественных новообразований, наследственных заболеваний, врожденных пороков развития детей и появлению мутаций в последующих поколениях. Они могут быть соматическими (от *греч.* soma — «тело»), когда эффект облучения возникает у облученного, и наследственными, если он проявляется у потомства.

Наиболее чувствительны к радиационному воздействию кроветворные органы (костный мозг, селезенка, лимфатические узлы), эпителий слизистых оболочек (в частности, кишечника), щитовидная железа. В результате действия ионизирующих излучений возникают тяжелейшие заболевания: лучевая болезнь, злокачественные новообразования и лейкемии.

Экологические последствия радиационных аварий

Радиоактивное загрязнение окружающей среды — наиболее важное экологическое последствие радиационных аварий с выбросами радионуклидов, основной фактор, оказывающий влияние на состояние здоровья и условия жизнедеятельности людей на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению.

Основными специфическими явлениями и факторами, обуславливающими экологические последствия при радиационных авариях и катастрофах, служат радиоактивные излучения из зоны аварии, а также из формирующегося при аварии и распространяющегося в приземном слое облака (облаков) загрязненного радионуклидами воздуха; радиоактивное загрязнение компонентов окружающей среды [2].

Особенности радиационной защиты населения

Радиационная защита — это комплекс мер, направленных на ослабление или исключение воздействия ионизирующего излучения на население, персонал радиационно опасных объектов, биологические объекты природной среды, а также на предохранение природных и техногенных объектов от загрязнения радиоактивными веществами и удаление этих загрязнений (дезактивацию).

Мероприятия радиационной защиты, как правило, осуществляются заблаговременно, а в случае возникновения радиационных аварий, при обнаружении локальных радиоактивных загрязнений — в оперативном порядке.

В превентивном порядке проводятся следующие мероприятия радиационной защиты:

— разрабатываются и внедряются режимы радиационной безопасности;

— создаются и эксплуатируются системы радиационного контроля за радиационной обстановкой на территориях атомных станций, в зонах наблюдения и санитарно-защитных зонах этих станций;

— разрабатываются планы действий по предупреждению и ликвидации радиационных аварий;

— накапливаются и содержатся в готовности средства индивидуальной защиты, йодной профилактики и дезактивации;

— поддерживаются в готовности к применению защитные сооружения на территории АЭС, противорадиационные укрытия в населенных пунктах вблизи атомных станций;

— проводятся подготовка населения к действиям в условиях радиационных аварий, профессиональная подготовка персонала радиационно-опасных объектов, личного состава аварийно-спасательных сил и др.

К мероприятиям, способам и средствам, обеспечивающим защиту населения от радиационного воздействия при радиационной аварии, относятся:

— обнаружение факта радиационной аварии и оповещение о ней;

— выявление радиационной обстановки в районе аварии;

— организация радиационного контроля;

— установление и поддержание режима радиационной безопасности;

— проведение при необходимости на ранней стадии аварии йодной профилактики населения, персонала аварийного объекта и участников ликвидации последствий аварии;

— обеспечение населения, персонала, участников ликвидации последствий аварии необходимыми средствами индивидуальной защиты и использование этих средств;

— укрытие населения в убежищах и противорадиационных укрытиях;

— санитарная обработка;

— дезактивация аварийного объекта, других объектов, технических средств и др.;

— эвакуация или отселение населения из зон, в которых уровень загрязнения или дозы облучения превышают допустимые для проживания.

Выявление радиационной обстановки проводится для определения масштабов аварии, установления размеров зон радиоактивного загрязнения, мощности дозы и уровня радиоактивного загрязнения в зонах оптимальных маршрутов движения людей, транспорта, а также определения возможных маршрутов эвакуации населения и сельскохозяйственных животных [2].

Радиационный контроль в условиях радиационной аварии проводится с целью соблюдения допустимого времени пребывания людей в зоне аварии, контроля доз облучения и уровней радиоактивного загрязнения.

Режим радиационной безопасности обеспечивается установлением особого порядка доступа в зону аварии, зонированием района аварии; проведением аварийно-спасательных работ, осуществлением радиационного контроля в зонах и на выходе в «чистую» зону и др.

Использование средств индивидуальной защиты заключается в применении изолирующих средств защиты кожи (защитные комплекты), а также средств защиты органов дыхания и зрения (ватно-марлевые повязки, различные типы респираторов, фильтрующие и изолирующие противогазы, защитные очки и др.). Они защищают человека в основном от внутреннего облучения.

Для защиты щитовидной железы взрослых и детей от воздействия радиоактивных изотопов йода на ранней стадии аварии проводится йодная профилактика. Она заключается в приеме стабильного йода, в основном йодистого калия, который принимают в таблетках в следующих дозах: детям от двух лет и старше, а также взрослым — по 0,125 г, до двух лет — по 0,04 г, прием внутрь после еды вместе с чаем, водой 1 раз в день в течение 7 сут.

Раствор йода водно-спиртовой (5%-ная настойка йода) показан детям от двух лет и старше, а также взрослым по 3—5 капель на стакан молока или воды в течение 7 сут. Детям до двух лет дают 1—2 капли на 100 мл молока или питательной смеси в течение 7 сут.

Максимальный защитный эффект (снижение дозы облучения примерно в 100 раз) достигается при предварительном и одновременном с поступлением радиоактивного йода приеме

его стабильного аналога. Защитный эффект препарата значительно снижается при его приеме более чем через два часа после начала облучения. Однако и в этом случае происходит эффективная защита от облучения при повторных поступлениях радиоактивного йода [2].

Глава 2

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О РАДИОАКТИВНОМ ИЗЛУЧЕНИИ, МЕТОДАХ ЕГО ОБНАРУЖЕНИЯ И ИЗМЕРЕНИЯ

2.1. Ионизирующие излучения и их свойства

Ионизация — это процесс образования положительных и отрицательных ионов и свободных электронов из электрически нейтральных атомов и молекул (рис. 22).

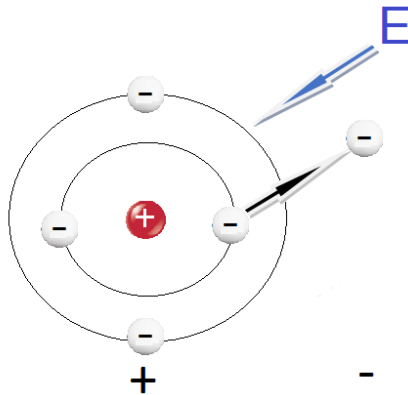


Рис. 22. Схема ионизации атома

Излучения, которые могут вызвать ионизацию, называют ионизирующими. К ним относят потоки заряженных α - и β -частиц, незаряженных частиц и фотонов γ - и рентгеновского излучения. В дальнейшем фотонные излучения будут называться электромагнитными.

Общепринято инфракрасное, видимое и ультрафиолетовое излучение не включать в понятие ионизирующих излучений.

Энергия ионизирующего излучения обозначается буквой E и измеряется в системе СИ в джоулях (Дж).

Альфа-излучение — это корпускулярное излучение, состоящее из α -частиц, испускаемых при ядерных превращениях. Альфа-частица представляет собой ядро гелия ${}^4_2\text{He}$, потерявшее два электрона и состоящее из 2 нейтронов и 2 протонов.

Траектория полета α -частицы прямолинейна, что обусловлено ее большой массой, которая примерно в 7300 раз превышает массу электрона. Альфа-частица имеет пробег в воздухе до 10 см, так как обладает сильной ионизирующей способностью. Например, в воздухе на 1 см пути движения α -частица образует от 30 до 40 тыс. пар ионов.

Пробеги α -частиц в биологической ткани незначительны, поэтому поверхностный слой кожи вполне обеспечивает защиту от внешних потоков α -частиц. Однако попадание α -активных веществ внутрь организма в количествах, превышающих предельно допустимые значения, чрезвычайно опасно. Это происходит из-за того, что поверхность внутренних органов подвержена более сильному разрушению, чем наружный слой кожи.

Бета-излучение — это электронное излучение, возникающее при β -распаде ядер или нестабильных частиц. Бета-распад радионуклидов сопровождается испусканием электронов e^- или позитронов e^+ , называемых β -частицами. Эти частицы не являются составными частями ядра, а возникают при его превращениях. Примером электронного или позитронного β -распадов могут служить соответственно распады радионуклидов стронция-90 и цинка-65.

Если α -распад наблюдается только у ядер тяжелых элементов, то β -распад свойственен ядрам как с малыми — ${}^3_1\text{H}$, так и с большими значениями массового числа \mathbf{A} — ${}^{131}_{53}\text{J}$.

Бета-частица имеет пробег в воздухе до 34 м и на 1 см пути движения образует 300—400 пар ионов.

В биологическую ткань β -частицы, обладая сравнительно большой проникающей способностью, проникают на глубину 5—7 мм и создают опасность внешнего облучения при поглощении их кожным покровом, хрусталиком глаза.

Потоки β -частиц особенно опасны при контактном и внутреннем облучении организма.

Гамма-излучение представляет собой короткое электромагнитное излучение, возникающее при изменении энергетического состояния атомных ядер.

Гамма-излучение не является самостоятельным типом радиоактивности. Оно сопровождает процессы α - и β -распадов, не вызывает изменения заряда и массового числа A .

Гамма-излучение имеет электромагнитную природу и на шкале электромагнитных волн непосредственно следует за рентгеновским излучением (рис. 23).



Рис. 23. Шкала электромагнитных волн

В воздухе γ -излучение распространяется до 1,5 км, свободно проникает в тело человека и значительные толщи материалов.

На 1 см пути движения в воздухе γ -излучения образуется несколько пар ионов, при этом потери энергии обусловлены в основном за счет взаимодействия с орбитальными электронами.

Гамма-излучение хорошо поглощается материалами из тяжелых элементов (железо, свинец и др.), так как у атомов этих элементов наблюдается высокая электронная плотность. В то же время γ -излучение легко проходит через материалы из легких элементов (бор, H_2O), так как у атомов наблюдается низкая электронная плотность.

Гамма-излучение представляет опасность как при внешнем облучении, так и при попадании γ -активных веществ внутрь организма.

Нейтронное излучение — это корпускулярное излучение, состоящее из нейтронов ${}_0^1n$. Нейтрон не имеет заряда и наряду с протоном входит в состав ядер атомов химических элементов.

В зависимости от энергии нейтроны разделяются на следующие группы:

- тепловые или медленные с энергией до 0,5 эв;
- промежуточные с энергией от 0,5 эв до 200 Кэв;
- быстрые с энергией более 200 Кэв.

Поскольку нейтроны не обладают зарядом, то электрическое поле отрицательно заряженных электронов и положительно заряженного ядра никакого влияния на них не оказывает. Нейтрон взаимодействует с веществом только в том случае, если он проникает в ядро или подходит к нему настолько близко, что подвергается действию ядерных сил.

В воздухе нейтроны распространяются на расстояние до 1 км. Сами нейтроны непосредственной ионизации не вызывают. Ионизация происходит от излучений, возникающих при взаимодействии нейтронов с ядрами атомов вещества.

Нейтроны в отличие от γ -излучения хорошо ослабляются материалами, в которых много легких ядер, например ядер атомов водорода, углерода и др. Дело в том, что нейтроны взаимодействуют не с электронами атомов, а с ядрами. Это взаимодействие в легких веществах напоминает удар двух упругих шаров: нейтрона и ядра. Если масса последних примерно равна, а такой случай имеет место при соударении нейтрона с ядром водорода, то нейтрон при ударе передает часть своей энергии ядру водорода, что напоминает передачу энергии при соударении бильярдных шаров.

Так, например, в состав биологической защиты ядерных реакторов атомных подводных лодок (АПЛ) входят цистерны с водой для ослабления нейтронных потоков, испускаемых из активной зоны реактора. В качестве замедлителей быстрых нейтронов используются такие вещества, как графит, тяжелая вода, соединения бериллия, в которых энергия нейтронов переходит в энергию теплового движения атомов вещества замедлителя.

Если же масса ядра значительно больше массы нейтрона, то нейтрон при любом ударе, даже лобовом, не передаст ядру всей энергии, а отскочит от него, как, например, отскакивает мяч при ударе о стенку. При таком упругом соударении нейтрон может потерять лишь часть своей энергии [7].

Один из типов искусственного источника нейтронов — это смесь радия и бериллия, находящихся в герметично запаянной ампуле.

2.2. Методы обнаружения и измерения ионизирующих излучений

Обнаружением и измерением радиоактивных излучений занимается раздел ядерной физики, называемый дозиметрией ионизирующих излучений (сокращенно — дозиметрия).

Радиоактивные излучения обнаруживают по тем эффектам, которые проявляются при их взаимодействии с веществом, в результате чего изменяются некоторые физические и химические свойства данного вещества.

В настоящее время наиболее широкое распространение получили следующие методы измерения ионизирующих излучений:

- ионизационный;
- сцинтилляционный;
- люминесцентный;
- фотографический;
- химический.

Ионизационный метод является основным при обнаружении и измерении радиоактивных излучений и применяется в большей части аппаратуры радиационного контроля.

В качестве воспринимающего устройства ионизационного типа используются ионизационная камера или газоразрядный счетчик.

Ионизационная камера представляет собой устройство с двумя изолированными электродами, пространство между которыми заполнено изолятором — воздухом (рис. 24). К электродам приложено напряжение. Если радиоактивных излучений нет, ток в цепи ионизационной камеры тоже отсутствует, так как воздух является изолятором. При воздействии на камеру радиоактивного излучения происходит ионизация воздуха, и он приобретает токопроводящие свойства.

Под действием электрического поля положительные ионы будут двигаться к отрицательному электроду, а отрицательные ионы — к положительному. Возникает направленное движение ионов, то есть электрический ток, называемый ионизационным током.

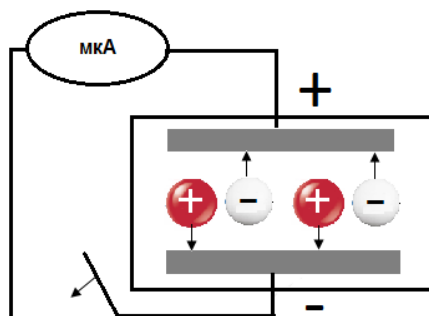


Рис. 24. Схема работы ионизационной камеры

Сила ионизационного тока зависит от напряжения между электродами. При низких напряжениях скорость движения ионов незначительна, вследствие чего при столкновениях ионов противоположного знака происходит процесс их рекомбинации. При увеличении напряжения скорость движения ионов увеличивается, вероятность рекомбинации уменьшается и величина ионизационного тока растет.

С помощью ионизационной камеры производится измерение мощности дозы радиоактивного излучения и дозы облучения.

Ионизационные камеры регистрируют большие мощности доз γ -излучения, поэтому для таких целей они используются ограниченно. Для измерения широкого диапазона мощностей доз γ -излучения чаще применяют газоразрядные счетчики.

Газоразрядный счетчик представляет собой устройство из двух электродов, в котором в качестве изолятора используется газ. В большинстве случаев счетчики для регистрации n - и γ -излучений конструктивно выполнены в виде закрытого металлического или стеклянного цилиндра, по оси которого протянута металлическая нить. Отрицательным электродом является цилиндр, положительным — нить.

Газоразрядные счетчики наполняются смесью инертных газов (неон, аргон) с галогенами (йод, бром) при пониженном давлении и имеют рабочее напряжение 360—400 В. Для регистрации нейтронного излучения используются счетчики с элек-

тродами, покрытыми бором, с рабочим напряжением до 1400 В. Такие конструктивные особенности счетчиков обеспечивают режим ударной ионизации. Ударная ионизация атомов газа электронами возникает около нити, где напряженность электрического поля наибольшая.

При воздействии радиоактивных излучений в газовой среде счетчика идет ионизация и появляется ионизационный ток. Вблизи нити электроны приобретают скорость, достаточную для ионизации атомов посредством удара, то есть начинается процесс лавинообразного нарастания количества ионов.

Число электронов, собираемых на нити-аноде, увеличивается. Длительность развития процесса ионизации составляет микросекунды. Положительные ионы, имеющие сравнительно большую массу, медленно перемещаются к катоду. Силой электрического поля они вырывают электроны из катода и нейтрализуются. Движение ионов вызывает появление импульса тока в цепи счетчика.

Газоразрядные счетчики, используемые в аппаратуре радиационного контроля, работают на участке самостоятельного разряда (участок V), при котором амплитуда импульсов тока не зависит от величины первоначальной ионизации. Они широко используются для регистрации β -частиц, γ -квантов и имеют высокую чувствительность.

С помощью газоразрядных счетчиков можно измерить мощность дозы и степень радиоактивной зараженности поверхностей.

Величины ионизационных токов очень малы (10^{-10} — 10^{-12} А) и для регистрации требуют специальных усилителей.

Ионизационный метод нашел распространение в аппаратуре радиационного контроля (АРК) ввиду широкого диапазона чувствительности, точности, быстродействия и простоты приборного оформления.

Сцинтилляционный метод. Сцинтилляционный счетчик состоит из сцинтиллятора — вещества, способного испускать световые вспышки при поглощении в нем энергии ионизирующих излучений, и фотоэлектронного умножителя ФЭУ, который преобразует энергию световых вспышек в электрический сигнал (рис. 25).

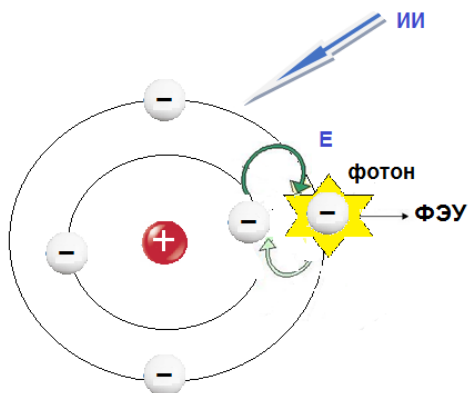


Рис. 25. Сцинтилляционный метод

К сцинтилляторам относится группа неорганических и органических веществ:

- сернистый цинк ZnS , активированный серебром Aq , — для регистрации α -излучения;
- йодистый натрий NaI , активированный таллием Tl , — для регистрации β - и γ -излучения;
- йодистый литий LiI , активированный европием Eu , — для регистрации в основном тепловых нейтронов;
- нафталин $C_{10}H_8$, активированный антриниловой кислотой, — для регистрации β -, γ -излучения и быстрых нейтронов.

Процессы, протекающие в сцинтилляционном счетчике при попадании в сцинтиллятор ионизирующего излучения, условно могут быть разделены на 3 стадии:

- поглощение энергии излучения в сцинтилляторе и преобразование поглощенной энергии в энергию фотонов;
- поглощение фотонов фотокатодом и испускание с его поверхности фотоэлектронов;
- умножение электронов системой динодов фотоэлектронного умножителя (ФЭУ) и собиание их на аноде.

В настоящее время сцинтилляционный метод нашел широкое применение в АРК, используемой на кораблях с ЯЭУ, благодаря ряду важных достоинств.

К их числу следует отнести:

- возможность регистрации ионизирующих излучений любых видов;
- высокую разрешающую способность;
- возможность измерения энергии ионизирующего излучения.

Люминесцентный метод основан на свойстве некоторых веществ, общее название которых — люминофоры, накапливать энергию поглощенного ионизирующего излучения и отдавать ее в виде свечения (люминесценции) после воздействия ультрафиолетового излучения или нагрева. В настоящее время находят все более широкое применение следующие два вида люминесценции: радиофотолюминесценция и радиотермолюминесценция (рис. 26).

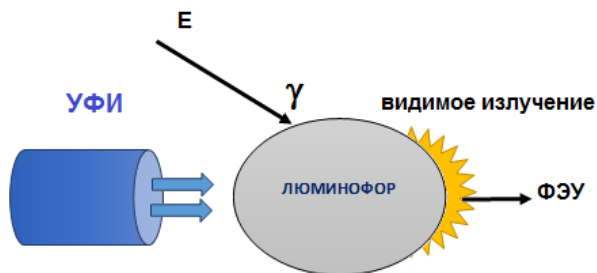


Рис. 26. Метод радиофотолюминесценции

При радиофотолюминесценции под действием ионизирующего излучения в люминофоре образуются центры люминесценции. Последующее освещение люминофора ультрафиолетовым излучением вызывает видимое свечение, интенсивность которого пропорциональна дозе облучения.

В качестве люминофора могут использоваться метафосфатные стекла. Наибольшее практическое применение получили стекла, содержащие небольшое количество металлических метафосфатов, таких как $\text{Al}(\text{PO}_3)_3$, $\text{Ba}(\text{PO}_3)_3$, KPO_3 , NaPO_3 , с добавкой B_2O_3 или SiO_2 для повышения устойчивости к влиянию внешней среды. Активатором служит серебро. При радиотермолюминесценции поглощенная энергия ионизирующего излу-

чения преобразуется в свечение при нагревании люминофора до 300°C . В качестве люминофора используются фтористый литий LiF , фтористый кальций CaF_2 , алюмофосфатные стекла — $50\% \text{Mg} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$, $50\% \text{AlO}_3 \cdot 3\text{P}_2\text{O}_5$, $0,1\% \text{MnO}_2$.

Люминесцентный метод отличается повышенной чувствительностью, малой погрешностью и широким диапазоном измеряемых доз.

Фотографический метод — исторически первый экспериментальный метод регистрации ионизирующих излучений, так как явление радиоактивности было открыто Анри Беккерелем именно с помощью этого метода, когда он проводил опыты с солями урана. Он установил, что атомы урана испускают невидимые глазом излучения, способные проникать через бумагу и вызывать почернение фотографической пластинки (рис. 27).

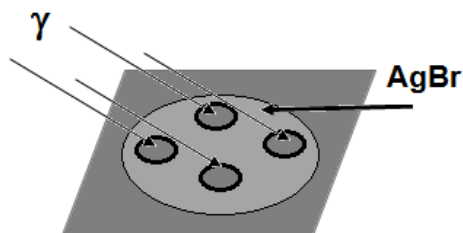


Рис. 27. Фотографический метод

Ионизирующее излучение, воздействуя на чувствительный слой фотоматериалов, вызывает такой же эффект, что и видимый свет. Данное свойство и лежит в основе фотографического метода.

Для фотодозиметров обычно используют рентгеновские пленки, представляющие собой светочувствительную эмульсию, нанесенную с одной или двух сторон на целлулоидную подложку. В состав светочувствительной эмульсии входит бромистое серебро AgBr или хлористое серебро AgCl , равномерно распределенное в слое желатина. Фотоэмульсии используются для измерения доз облучения в широком диапазоне. Фотопленки размещаются в специальных кассетах. Ионизирующее излучение, взаимодействуя с AgBr или AgCl , нейтрализует по-

ложительные ионы серебра, вследствие чего на поверхности образуются центры проявления — атомы металлического серебра. В процессе химического проявления происходит практически полное восстановление металлического серебра в центрах проявления, что приводит к почернению фотопленки, то есть изменяется ее оптическая плотность.

В результате последующего фиксирования происходит растворение и удаление из фотоэмульсии кристалликов бромистого или хлористого серебра, которые не содержали центров проявления и в которых, следовательно, не произошло восстановление металлического серебра. Оптическая плотность фотопленки зависит от полученной дозы.

К числу достоинств фотографического метода следует отнести:

— возможность массового применения для индивидуально-го контроля доз;

— документальность регистрации доз;

— возможность совместной и раздельной регистрации доз от различных видов излучения.

К недостаткам фотографического метода можно отнести:

— низкую точность измерения полученной дозы;

— зависимость показаний от условий обработки пленки и трудоемкость процесса обработки.

Химический метод. Данный метод основан на измерении выхода радиационно-химических реакций, в результате которых появляются новые вещества или изменяются свойства исходных, например изменяется окраска раствора (рис. 28). Из жидкостных химических детекторов получили применение ферросульфатный, нитратный и дозиметры на основе хлорзамещенных углеводов.

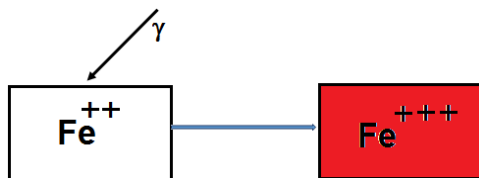


Рис. 28. Химический метод

Ферросульфатный дозиметр основан на свойстве ионов двухвалентного железа Fe^{++} окисляться в кислой среде радикалами $OH\cdot$ до трехвалентного железа Fe^{+++} . Количество ионов трехвалентного железа, а следовательно, и поглощенная энергия ионизирующего излучения, определяется по плотности окраски реактива, в качестве которого можно применять соль роданистого калия $KCNS$. После облучения раствор дает красное окрашивание. Чем больше доза, тем интенсивнее окраска.

Химические дозиметры используются для измерения больших доз γ -излучения. Достоинством химического метода является возможность выбора таких растворов, которые по воздействию на них ионизирующих излучений мало отличаются от биологических тканей,

К недостаткам химического метода следует отнести:

- недостаточную термическую устойчивость;
- чувствительность к примесям и дневному свету;
- плохую стабильность при хранении.

2.3. Единицы измерения в дозиметрии

По мере открытий учеными радиоактивности и ионизирующих излучений стали появляться и единицы их измерения, например рентген, кюри. Но они не были связаны какой-либо системой, поэтому называются внесистемными единицами. Во всем мире сейчас действует единая система измерений — СИ (система интернациональная). В России она подлежит обязательному применению с 1 января 1982 года.

В качестве единицы активности принято одно ядерное превращение в секунду. В целях сокращения используется более простой термин — один распад в секунду (расп/с). В системе СИ эта единица получила название беккерель (Бк). В практике радиационного контроля, в том числе в Чернобыле, до последнего времени широко использовалась внесистемная единица активности — кюри (Ки). Один кюри — это $3,7 \cdot 10^{10}$ ядерных превращений в секунду.

Концентрация радиоактивного вещества обычно характеризуется концентрацией его активности. Она выражается в

единицах активности на единицу массы: Ки/т, мКи/г, кБк/кг и т. п. (удельная активность); на единицу объема: Ки/м³, мКи/л, Бк/см³ и т. п. (объемная концентрация) или на единицу площади: Ки/км², мКи/см² и т. п.

Для измерения величин, характеризующих ионизирующее излучение, исторически первой появилась единица рентген. Это мера экспозиционной дозы рентгеновского или γ -излучения. Позже для измерения поглощенной дозы излучения добавили рад.

Доза излучения (поглощенная доза) — энергия радиоактивного излучения, поглощенная в единице массы облучаемого вещества или человеком.

С увеличением времени облучения доза всегда растет. При одинаковых условиях облучения она зависит от состава вещества.

Поглощенная доза нарушает физиологические процессы в организме и приводит в ряде случаев к лучевой болезни различной степени тяжести. В качестве единицы поглощенной дозы излучения в системе СИ предусмотрен грей (Гр). 1 грей — это такая единица поглощенной дозы, при которой 1 кг облучаемого вещества поглощает энергию в 1 джоуль (Дж). Следовательно, 1 Гр = 1 Дж/кг.

Поглощенная доза излучения является основной физической величиной, определяющей степень радиационного воздействия.

Мощность дозы (*мощность поглощенной дозы*) — приращение дозы в единицу времени. Она характеризуется скоростью накопления дозы и может увеличиваться или уменьшаться во времени. Ее единица в системе СИ — грей в секунду. Это такая мощность поглощенной дозы излучения, при которой за 1 с в веществе создается доза излучения в 1 Гр.

На практике для оценки поглощенной дозы излучения до сих пор широко используют внесистемную единицу мощности поглощенной дозы — рад в час (рад/ч) или рад в секунду (рад/с).

Эквивалентная доза. Это понятие введено для количественного учета неблагоприятного биологического воздействия различных видов излучений. Определяется она по формуле $D_{\text{ЭКВ}} = \sum K_i \cdot D_i$, где D_i — поглощенная доза данного вида излу-

чения, K_i — коэффициент качества излучения, который для различных видов ионизирующих излучений с неизвестным спектральным составом принят для рентгеновского и γ -излучения — 1, для β -излучения — 1, для нейтронов с энергией от 0,1 до 10 МэВ — 10, для α -излучения с энергией менее 10 МэВ — 20. Из приведенных цифр видно, что при одной и той же поглощенной дозе нейтронное и α -излучение вызывают, соответственно, в 10 и 20 раз больший поражающий эффект.

В системе СИ эквивалентная доза измеряется в зивертах (Зв). Зиверт равен одному грею, деленному на коэффициент качества. При $K_i=1$ получаем 1 Зв=1 Гр.

Бэр (биологический эквивалент рад) — это внесистемная единица эквивалентной дозы, такая поглощенная доза любого излучения, которая вызывает тот же биологический эффект, что и 1 рентген γ -излучения. Поскольку коэффициент качества β - и γ -излучения равен 1, то на местности, загрязненной радиоактивными веществами при внешнем облучении, 1 Зв=1 Гр; 1 бэр=1 рад; 1 рад \approx 1 Р. Из того, что коэффициент качества β - и γ -излучения равен 1, можно сделать вывод, что эквивалентная, поглощенная и экспозиционная дозы для людей, находящихся в средствах защиты на зараженной местности, практически равны.

Мощность эквивалентной дозы — отношение приращения эквивалентной дозы за определенный интервал времени. Выражается в зивертах в секунду. Поскольку время пребывания человека в поле излучения при допустимых уровнях измеряется, как правило, часами, предпочтительно выражать мощность эквивалентной дозы в микрозивертах в час.

Согласно заключению Международной комиссии по радиационной защите, вредные эффекты у человека могут наступать при эквивалентных дозах не менее 1,5 Зв/год (150 бэр/год), а случаях кратковременного облучения — при дозах выше 0,5 Зв (50 бэр). Когда облучение превышает некоторый порог, возникает лучевая болезнь.

Мощность эквивалентной дозы, создаваемая естественным излучением (земного и космического происхождения), колеблется в пределах 1,5—2 мЗв/год, плюс искусственные источники (медицина, радиоактивные осадки) — от 0,3 до 0,5 мЗв/год.

Таким образом, человек в год получает от 2 до 3 мЗв. Это примерные цифры, которые зависят от конкретных условий. По другим источникам, они выше и доходят до 5 мЗв/год.

Экспозиционная доза — мера ионизационного действия фотонного излучения, определяемая по ионизации воздуха в условиях электронного равновесия.

В СИ единицей экспозиционной дозы является один кулон на килограмм (Кл/кг). Внесистемной единицей является рентген (Р), $1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$. В свою очередь, $1 \text{ Кл/кг} = 3,876 \cdot 10^3 \text{ Р}$. Для удобства в работе при пересчете числовых значений экспозиционной дозы из одной системы единиц в другую обычно пользуются таблицами, имеющимися в справочной литературе.

Мощность экспозиционной дозы — приращение экспозиционной дозы в единицу времени. Ее единица в системе СИ — ампер на килограмм (А/кг). Однако в переходный период можно пользоваться внесистемной единицей — рентген в секунду (Р/с). $1 \text{ Р/с} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ А/кг}$ [4].

Глава 3

СРЕДСТВА РАДИАЦИОННОГО НАБЛЮДЕНИЯ, РАЗВЕДКИ И КОНТРОЛЯ

3.1. Комплект измерителей дозы ИД-1

ИД-1 (рис. 29) предназначен для измерения поглощенных доз гамма- и смешанного гамма-нейтронного излучения в диапазоне от 20 до 500 рад, с целью оценки боеспособности частей и подразделений, подвергшихся облучению.



Рис. 29. Комплект измерителей дозы ИД-1

Устройство. В комплект прибора входят 10 измерителей дозы и зарядное устройство ЗД-6, работающее на пьезоэлементах. Масса одного измерителя дозы 40 г.

Отсчет измеряемых доз производится по шкале, расположенной внутри измерителя. Погрешность измерений $\pm 20\%$, саморазряд измерительной дозы не превышает 1 деления за 24 ч и 2 делений за 150 ч при нормальных климатических условиях.

Принцип работы прибора ИД-1. При воздействии ионизирующего излучения на заряженный измеритель дозы в объеме ионизационной камеры образуются положительные и отрицательные заряды, которые притягиваются к соответствующим электродам и уменьшают их первоначальный заряд и напряжение на электродах камеры. Соответственно, уменьшаются силы отталкивания между кварцевой нитью и держателем электроскопа.

Вследствие этих явлений изображение нити перемещается по шкале в пределах от 0 до 500, так как угол отклонения кварцевой нити от держателя электроскопа пропорционален дозе облучения. Показания измерителя дозы просматриваются через окуляр при направлении его на любой рассеянный источник света.

Подготовка к работе:

- повернуть ручку ЗД-6 в исходное положение до упора;
- отвинтить заглушку дозиметра с помощью трехгранника, находящегося на ручке ЗД-6;
- вставить дозиметр в зарядно-контактное гнездо ЗД-6 и, наблюдая в окуляр, добиться освещения шкалы поворотом зеркала [7].

Зарядка дозиметров:

- нажать на измеритель и, наблюдая в окуляр, поворачивать ручку по направлению стрелки «Заряд» до тех пор, пока нить на шкале дозиметра не установится на «0»;
- извлечь дозиметр из гнезда и, направив на свет, проверить положение нити на «0»;
- завернуть заглушку на дозиметре [7].

Остальные дозиметры комплекта заряжаются аналогичным образом, но при этом ручка после каждого заряда в исходное положение не возвращается.

Таким образом, не возвращая ручку в исходное положение, можно зарядить 10—15 не полностью разряженных дозиметров или 3—4 полностью разряженных. После заряда дозиметров ручку ЗД-6 необходимо вернуть в исходное положение.

Заряженные измерители дозы могут выдаваться личному составу.

Значения суммарной дозы облучения, регистрируемые ИД-1, отсчитываются в радах по шкале. Для отсчета показаний ИД-1 просматривается через окуляр при направлении измерителя на свет любого источника.

При работе для предупреждения механических повреждений необходимо оберегать комплект от толчков, ударов, падений и защищать от загрязнений и вредных климатических воздействий (дождя, снега, прямых солнечных лучей и т. д.) [7].

3.2. Комплект измерителей дозы ИД-11

ИД-11 (рис. 30) предназначен для измерения поглощенных доз гамма-нейтронного излучения от 10 до 1500 рад. Комплект используется для индивидуального контроля облучения личного состава с целью первичной диагностики степени тяжести радиационных поражений.



Рис. 30. Комплект измерителей дозы ИД-11

Состав комплекта: измерительное устройство (ИУ); детектор ИД-11 — 1000 шт.; детектор градуировочный; детектор перегрузочный, кабели питания — 2 шт., комплект ЗИП, пеналы — 10 шт., техническая документация.

Технические данные ИД-11 (рис. 31):

— погрешность измерения — не превышает $\pm 15\%$;

- время прогрева перед измерениями — не более 30 мин;
- время измерения дозы одного ИД-11 не превышает 30 с;
- питание ИУ осуществляется от сети переменного тока с напряжением 220 В и частотой 50 Гц, а также аккумуляторов с напряжением 12 В и 24 В, потребляемая мощность — не более 100 Вт;
- масса детектора не превышает 23 г, а измерительного устройства — 18 кг;
- измерительное устройство работоспособно в стационарных и полевых условиях при температуре от -30 до $+50^{\circ}\text{C}$;
- детектор способен накапливать дозу при многократном облучении, сохранять ее в течение не менее 12 месяцев и допускает многократное измерение полученной дозы.

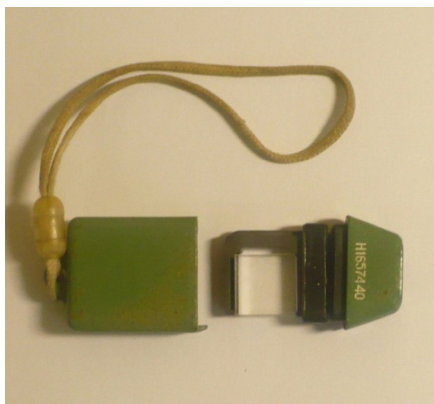


Рис. 31. Детектор ИД-11

В качестве чувствительного элемента детектора гамма-нейтронного излучения используется пластинка из фосфатного стекла, активированного серебром (размером $12 \times 12 \times 4$ мм). Конструктивно детектор состоит из держателя с закрепленной на нем пластинкой и корпуса.

Подготовка к работе и проведение измерений. Извлечь заглушку из гнезда измерительного устройства, включить его в сеть и прогреть 30 мин.

Вставить в гнездо заглушку и установить нулевые показания на табло ручкой «Уст. нуля».

Открыть градуировочный детектор ключом на передней панели измерительного устройства. Вставить градуировочный детектор в гнездо измерительного устройства. Ручкой чувствительности установить на табло значения, записанные в технической документации.

Открыть перегрузочный детектор и вставить его в гнездо измерительного устройства. Наблюдать загорание индикатора «Перегрузка».

Для измерения дозы необходимо открыть рабочий детектор, вставить детектор в гнездо измерительного устройства и через 30 с снять показания на цифровом табло [7].

3.3. Измеритель мощности дозы ДП-5В

ДП-5В (рис. 32) предназначен для измерения мощности доз гамма-излучения и степени зараженности поверхностей гамма-активными веществами. Диапазон измерений прибора — от 0,05 мР/ч до 200 Р/ч. Кроме того, прибор позволяет обнаружить бета-излучение. Прибор имеет 6 поддиапазонов измерений.



Рис. 32. Измеритель мощности дозы ДП-5В

Отсчет показаний на поддиапазонах 2—6 производится по верхней шкале с последующим умножением на соответствующий коэффициент поддиапазона, а на поддиапазоне 1 — непосредственно по нижней шкале. Участки шкалы от нуля до первой значащей цифры являются нерабочими. На всех поддиапазонах, кроме первого, прибор имеет звуковую индикацию с помощью головного телефона.

Питание осуществляется от двух элементов типа А-336. Для подсвета шкалы используется еще один такой же элемент. Прибор также имеет переходное приспособление, позволяющее осуществлять питание от внешних источников постоянного тока напряжением 12 и 24 В.

Общее устройство. Основные части прибора: измерительный пульт (рис. 33) и зонд с контрольным радиоактивным бета-источником, соединяемый с пультом с помощью гибкого кабеля длиной 1,2 м. Кроме того, в комплект прибора входят футляр с ремнями, удлинительная штанга, делитель напряжения для подключения прибора к внешнему источнику постоянного тока напряжением 12 и 24 В, комплект документации и укладочный ящик.



Рис. 33. Пульт управления ДП-5В

На передней панели измерительного пульта размещаются шкала прибора, переключатель поддиапазонов на 8 положений, кнопка сброса показаний, тумблер подсвета шкалы, гнездо включения телефона. К панели крепится кабель, соединяющий пульт с зондом [1].

Подготовка к работе. Переключатель поддиапазонов прибора устанавливается в положение «Выкл.». Проверяется надежность соединения блока детектирования с измерительным пультом. Устанавливаются источники питания.

Ручка переключателя поддиапазонов устанавливается в положение — ▲.

Стрелка прибора при этом должна установиться в режимном секторе, то есть в пределах «Реперной метки». Если стрелка прибора не доходит до режимного сектора, то источники питания следует заменить.

Проверка работоспособности. Ручку переключателя поддиапазонов поставить в положение $\times 10$, а экран датчика — в положение «К». Сравнить снятые показания с записями в формуляре прибора.

Измерение гамма-излучения. Установить экран датчика в положение «Г». Измерение мощности дозы гамма-излучения (уровня радиации) производится на расстоянии 70 см—1 м от подстилающей поверхности. На поддиапазоне 1 показания снимаются по нижней шкале 0—200, а на остальных поддиапазонах — по верхней шкале, и результат умножается на коэффициент соответствующего поддиапазона.

Измерение зараженности различных поверхностей гамма-активными веществами производится аналогичным образом, но при этом датчик устанавливается на расстоянии 1—1,5 см от обследуемой поверхности.

Обнаружение бета-излучения. Установить экран датчика в положение «Г». Поднести датчик к обследуемой поверхности на расстояние 1—1,5 см и произвести измерение.

Не меняя положения датчика, установить экран в положение «Б». Если показания прибора увеличатся, это говорит о наличии бета-активных веществ на обследуемой поверхности. Если стрелка измерительного прибора не изменила своего положения, это говорит об отсутствии бета-активных веществ на обследуемой поверхности.

Особенности работы с прибором. Через каждые 30 мин непрерывной работы прибора контролируется напряжение источников питания.

3.4. Измеритель мощности дозы ИМД-2Н

ИМД-2Н (рис. 34) предназначен для измерения мощности поглощенной дозы гамма-излучения.



Рис. 34. Передняя панель ИМД-2Н

Обеспечивает ведение радиационной разведки пешим порядком, осуществляет радиационное наблюдение и обеспечивает контроль радиационной обстановки в интересах экипажей (расчетов) подвижной наземной техники и сил стационарных объектов.

Варианты исполнения: ИМД-2Н (носимый), ИМД-2С (стационарный), ИМД-2Б (бортовой).

Состав комплекта ИМД-2Н: пульт измерительный ИМД-2 — 1, ремень, футляр батарейный ПНН-173С, комплект ЗИП, ключ, отвертка, техническое описание и инструкция по эксплуатации, формуляр.

Технические данные:

— диапазон измерения мощности поглощенной дозы гамма-излучения от 10 мкрад/ч до 1000 рад/ч;

— используются счетчики Гейгера — Мюллера: СБМ-20, СИ-3БГ, СИ-38Г;

— погрешность измерения не превышает 30%;

— время установления рабочего режима не превышает 1 мин;

— время срабатывания — от 2 до 90 с;

— время непрерывной работы от комплекта элементов — не менее 100 ч;

- диапазон рабочих температур — от -50 до $+50$ °С;
- питание измерителя осуществляется от 4 элементов питания;
- время автоматической проверки прибора — не более 5 мин.

Подготовка к работе ИМД-2Н. Исходное положение: прибор и элементы питания находятся в укладочном ящике, ремни сняты, тумблер «Питание» установлен в положение «Внешн.».

Для подготовки к работе ИМД-2Н необходимо:

- установить элементы питания;
- тумблер «Питание» установить в положение «Внутр.» (контролировать отсутствие сигнала «Разряд», в случае разряда заменить элементы питания);
- контролировать поочередное загорание индикаторов «рад/ч», «мрад/ч», «мкрад/ч»;
- установить ремни и разместить прибор на груди. Примерно через 90 с загорается сегмент логарифмической шкалы пульта и световые вспышки индикатора «Фон»;
- нажать и удерживать кнопку «Свет. пров.» до загорания индикатора «Измер. / пров.», далее контролировать свечение каждого сегмента шкалы и индикаторов «рад/ч», «мрад/ч», «мкрад/ч»;
- не более чем через 5 мин гаснет индикатор «Измер. / пров.», загорается индикатор «мкрад/ч», светится сегмент в пределах от 10 до 30 и мерцает индикатор «Фон».

Прибор к работе готов. Для подсветки шкалы нажать кнопку «Свет. пров.».

Для выключения измерительного пульта тумблер «Питание» установить в положение «Внешн.» [7].

3.5. Измеритель мощности дозы ИМД-7Н

ИМД-7Н (рис. 35) предназначен для измерения мощности эквивалентной дозы и эквивалентной дозы фотонного ионизирующего (рентгеновского и γ -излучения), плотности потока α - и β -частиц (в зависимости от подключаемых выносных блоков: БДПА-07, БДБГ-07 и БДКС-07) [7].



Рис. 35. Измеритель мощности дозы ИМД-7Н

Измеритель применяется для оперативного дозиметрического контроля радиационных карт местности и исследования радиационных аномалий, для обнаружения загрязнения радиоактивными веществами одежды, стен, полов и др. в качестве носимого специального измерителя мощности дозы [7].

ИМД-7Н состоит из измерительного блока и сменных выносных блоков БДПА-07, БДБГ-07, БДКС-07.

Кроме того, ИМД-7Н комплектуется телескопической штангой 0,9 м, выносным батарейным отсеком, кабелем и адаптером внешним (рис. 36).

Блоки детектирования поставляются в соответствии с комплектом поставки:

- комплект 1 — блоки БДКС-07, БДБГ-07, БДПА-07;
- комплект 2 — блок БДКС-07;
- комплект 3 — блоки БДКС-07, БДПА-07.

Выносные блоки:**БДПА-07 БДБГ-07 БДКС-07 Адаптер**

Рис. 36. Общее устройство измерителя мощности дозы ИМД-7Н

Выносной блок БДКС-07 предназначен для измерения мощности дозы рентгеновского и гамма-излучения в диапазоне 0,1 мкЗв/ч—2 мЗв/ч и плотности потока бета-излучения в диапазоне 0,1—1500 с⁻¹·см⁻² [8].

Выносной блок БДБГ-07 предназначен для измерения мощности дозы рентгеновского и гамма-излучения в диапазоне 0,1 мкЗв/ч—10Зв/ч.

Выносной блок БДПА-07 предназначен для измерения плотности потока альфа-излучения в диапазоне 0,01—1500 с⁻¹·см⁻².

При использовании сменных выносных блоков соответствующий блок закрепляется на конце телескопической штанги. Крепление — резьбовое, рассчитанное на завинчивание и отвинчивание рукой, без помощи ключа или отвертки. Затем блок соединяется с пультом кабелем, имеющим на концах одинаковые разъемы. Соединение возможно только с соответствующим разъемом на пульте.

Пульт измерительный обеспечивает измерение мощности дозы (10^{-7} — 10 Зв/ч) и дозы гамма-излучения ($1 \cdot 10^{-6}$ —

100 Зв) (рис. 37). Пульт измерительный представляет собой прибор с ЖК-индикатором, подсветкой и кнопочной клавиатурой. Выполнен в герметичном металлическом корпусе и имеет герметичные байонетные разъемы для подключения выносных блоков детектирования, внешнего блока питания и ремни для ношения и закрепления измерителя.



Рис. 37. Пульт измерительный

Отсек батарейный выносной предназначен для установки таких же элементов питания, как и пульт, и снабжен кабелем для соединения с пультом.

Адаптер внешний предназначен для обеспечения возможности питания измерителя от внешних источников.

Питание измерителя при использовании внешнего адаптера может осуществляться от внешнего источника:

- постоянного тока напряжением от 9 В до 33 В;
- переменного тока напряжением 220 ± 22 В, 50 ± 5 Гц.

Питание измерителя осуществляется от двух элементов питания (аккумуляторная батарея NiMH типоразмера R14 или С) с номинальным напряжением $1,3 \pm 0,1$ В.

В измерителе предусмотрено устройство, сигнализирующее о разрядке элементов до напряжения 2 В включением на табло светового индикатора.

Время непрерывной работы измерителя от одного комплекта элементов не менее 100 ч [7].

3.6. Корабельный радиометр альфа КРА-1

КРА-1 (рис. 38, 39) предназначен для контроля степени загрязненности поверхностей альфа-активными веществами. Диапазон измерения — от 1 до 10^4 распад/мин \cdot см².



Рис. 38. Радиометр КРА-1



Рис. 39. Щит с КРА-1

Принцип регистрации альфа-излучения — аналогичный для всех приборов этого класса: сцинтиляционный метод с помощью альфа-детектора (рис. 40), представляющего собой тонкий слой сернистого цинка, активированного серебром, нанесенного на подложку из органического стекла.

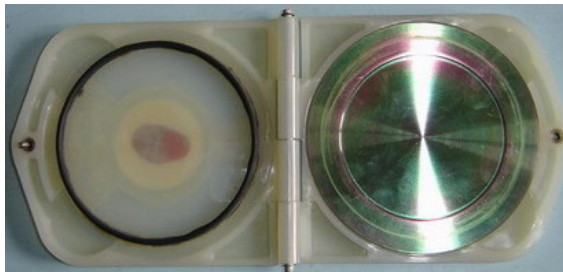


Рис. 40. Контрольный альфа-активный источник прибора КРА-1

Сцинтилляции (световые вспышки) появляются в сернистом цинке в результате воздействия на него альфа-частиц. Далее фотоны от сцинтиллятора попадают на высокочувствительный фотокатод, где с помощью фотоэлектронного умножителя формируется электрический сигнал.

Для светозащиты окна детектора используются прочные органические пленки с напыленным на них алюминием. Толщина пленки всего 6—8 мкм, поэтому требуется осторожность во избежание ее механического повреждения. В нерабочем положении окно альфа-датчика должно быть закрыто резиновой или полиэтиленовой крышкой.

Время установления показаний составляет не более 200 с на поддиапазоне $\times 1$ и не более 100 с на остальных поддиапазонах. В процессе измерений берут среднее показание из пяти последовательных наблюдений, соблюдая положенные между ними перерывы, которые должны быть не менее 15 с для поддиапазона $\times 10^3$ и $\times 10^2$, не менее 30 с — $\times 10$ и не менее 1 мин для поддиапазона — $\times 1$.

Питание радиометра обеспечивается тремя аккумуляторами типа НКГЦ-1Д (кадмиево-никелевый), включенными последовательно. Зарядка аккумуляторов на корабле осуществляется с помощью зарядного устройства ЗУК-3.

Радиометр используется на надводных кораблях и подводных лодках, в том числе и атомных.

3.7. Корабельный радиометр бета КРБ-1

КРБ-1 предназначен для измерения загрязненности поверхностей β -активными веществами. Диапазон измерения — от 10 до 10^7 расп/мин \cdot см².

Диапазон измерения бета-излучения настолько широк, что позволяет использовать радиометр при всех типах радиационной обстановки с учетом величины допустимого гамма-фона в контролируемом помещении. Весь диапазон измерения разбит на 6 поддиапазонов с декадным соотношением между ними.

КРБ-1 конструктивно выполнен в водозащитном исполнении (рис. 41). Состав: измерительный пульт, блок детектирова-

ния БДЗБ-01, щит, комплект ЗИП (рис. 42). Питание радиометра обеспечивается тремя аккумуляторами типа НКГЦ-1Д (кадмиево-никелевый), включенными последовательно. Зарядка аккумуляторов на корабле осуществляется с помощью зарядного устройства ЗУК-3.



Рис. 41. Радиометр для измерения бета-загрязненности поверхностей КРБ-1

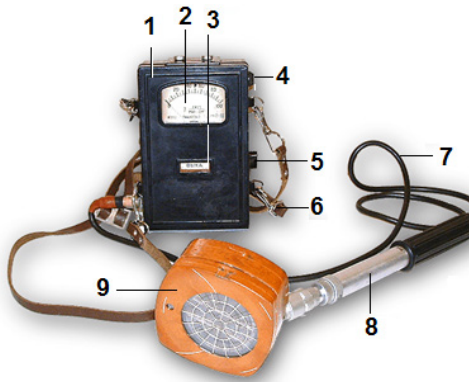


Рис. 42. Общее устройство корабельного дозиметра КРБ-1:
 1 — пульт управления; 2 — шкала; 3 — смотровое окно для наблюдения множителя шкалы; 4 — ручка установка нуля; 5 — переключатель поддиапазонов; 6 — ремень; 7 — кабель; 8 — удлинительная штанга; 9 — блок детектирования

Счетчик типа СИ-8Б, чувствительный, работает при измерении β -излучения в диапазоне от 10 до 10^4 расп/мин \cdot см², а счетчик типа СИ-19БГ работает в диапазоне от 10^4 до 10^7 расп/мин \cdot см². При наличии γ -фона счетчики СИ-8Б и СИ-19БГ регистрируют суммарный эффект от β - и γ -излучения.

Для определения величины от γ -фона используется стальной экран толщиной 2 мм, полностью экранирующий β -излучение. Разность скорости счета без экрана и с экраном дает величину скорости счета, обусловленную β -загрязнением поверхности. При этом весь диапазон измерения разбит на 6 поддиапазонов.

Подготовка к работе. Произвести внешний осмотр на отсутствие повреждений блоков радиометра. Переключатель поддиапазонов должен находиться в положении «Выкл.».

Переключатель поддиапазонов измерительного пульта перевести в положение «Вкл.», а спустя одну минуту в положение «Уст. нуля» и при необходимости установить с помощью ручки «Уст. нуля» стрелку измерительного прибора на нуль. Перевести переключатель поддиапазонов в положение «Пров. питания». При этом стрелка измерительного прибора должна находиться правее реперной метки на шкале прибора, если стрелка находится левее реперной метки, то необходимо произвести смену источников питания. Запрещается работа с разряженными ниже нормы источниками питания.

Произвести проверку работоспособности радиометра по контрольному β -источнику (рис. 43), для чего необходимо снять заглушку с рабочего окна блока детектирования и зафиксировать ее с обратной стороны блока.



Рис. 43. Контрольный источник прибора КРБ-1

Установить переключатель поддиапазонов в положение $\times 10^4$ расп/мин \cdot см², наложить на поверхность блока в окружность, отмеченную рисками, β -источник и по истечению 100 с отсчитать показания, которые при этом должны соответствовать величине, зафиксированной для данного источника на начальной стадии эксплуатации радиометра. Убрать контрольный источник.

Порядок работы. Установить заглушку на рабочее окно блока детектирования. Переключатель поддиапазонов установить в положение $\times 10^5$ расп/мин \cdot см² и по истечении 100 с ручкой «Уст. нуля» совместить стрелку с нулевым делением шкалы. Снять заглушку и по истечении 100 с отсчитать показания по шкале измерительного прибора. При отсутствии отклонения стрелки или отклонении ее ниже 0,1 конечного значения шкалы, необходимо переключатель поддиапазонов переводить последовательно на следующие низшие поддиапазоны до получения показаний в пределах шкалы.

После 30-минутной работы следует проводить периодический контроль напряжения источников питания и установки стрелки измерительного прибора на нулевое деление шкалы, зафиксировав при этом заглушку на рабочем окне блока детектирования.

3.8. Комплект индивидуальных дозиметров КИД-6

КИД-6 (рис. 44) предназначен для измерения экспозиционной дозы гамма-излучения. Диапазон измерения доз лежит в пределах от 0,005 до 500 Р и разбит на шесть поддиапазонов:

1 — 0,005—0,05 Р; 2 — 0,02—0,2 Р; 3 — 0,2—2 Р;
4 — 2—20 Р; 5 — 10—100 Р; 6 — 50—500 Р.

КИД-6 состоит из зарядно-измерительного пульта, аккумуляторного блока питания и контейнеров с дозиметрами 2 типов: Д-2 и Д-500.

Дозиметры Д-2 обеспечивают измерение дозы на 1—3 поддиапазонах, а Д-500 на 4—6 поддиапазонах (рис. 45).



Рис. 44. Комплект индивидуальных дозиметров КИД-6



Рис. 45. Комплект индивидуальных дозиметров КИД-6

Комплект обеспечивает измерение доз при уровне радиации 0,002—500 рад/ч. Дозиметры сохраняют дозу в течение 48 ч, погрешность $\pm 25\%$.

Питание производится от сети переменного тока частотой 50 и 400 Гц, напряжением 127 или 220 В, а также от серебряно-цинкового аккумулятора типа СЦС-5. Комплект используется на надводных кораблях и подводных лодках, в том числе и атомных.

Дозиметры Д-2 и Д-500 конденсаторного типа предназначены для измерения экспозиционной дозы гамма-излучения. Дозиметром Д-2 производятся измерения в диапазоне 0,005 — 2 Р, дозиметром Д-500 — в диапазоне 2 — 500 Р. Диапазон каждого типа дозиметров разбит на три поддиапазона. Дозиметры Д-500 используются в качестве аварийных дозиметров.

При воздействии гамма-излучения происходит заряд конденсатора током ионизационной камеры, являющейся детектором излучения.

Дозиметры Д-2 и Д-500 имеют цилиндрический корпус, внутри которого находятся ионизационная камера и два конденсатора: зарядный и измерительный, расположенные по концам детектора. Зарядный конденсатор служит для подачи напряжения на ионизационную камеру и для поддержания режима насыщения камеры. При облучении детектора в камере возникает ионизационный ток, при этом заряжается измерительный конденсатор.

Дозиметр Д-2 отличается от дозиметра Д-500 величиной емкости измерительного конденсатора и объемом ионизационной камеры.

В режиме насыщения ионизационной камеры величина заряда на измерительном конденсаторе прямо пропорциональна дозе гамма-излучения и не зависит от зарядного напряжения.

Снятие показаний дозиметров Д-2 и Д-500 производится на измерителе дозы КИД-6, который обеспечивает также заряд детекторов.

Подготовка к работе зарядно-измерительного пульта:

1. Переключатель «Поддиапазоны» ставят в положение «Контр.», тумблер «Сеть — выкл.» — в положение «Сеть», тумблер «Вкл. Выкл.» — в положение «Вкл.», при этом загорается сигнальная лампочка.

2. После 5 мин прогрева стрелка измерительного прибора должна остановиться на красном поле шкалы, что свидетельствует о готовности пульта к зарядке дозиметров.

3. По истечении 15 мин переключатель «Поддиапазоны» устанавливают в положение 0,05, а стрелку измерительного прибора потенциометром «Уст. нуля» на нуль шкалы.

4. Затем нуль шкалы проверяется на всех поддиапазонах. Положение стрелки измерительного прибора на нуле свидетельствует о готовности пульта к работе. Проверка работоспособности КИД-6:

1. На пульте открываются гнезда «Заряд» и «Измерение», переключатель «Поддиапазоны» устанавливается в положение 0,2.

2. С помощью гнезда «Разряд» разряжаются оба конца контрольного дозиметра Д-2.

3. Затем дозиметр зарядным концом вставляется в гнездо «Заряд», затем измерительным концом (со стороны держателя) в гнездо «Измерение» и проверяется показание измерительного прибора.

4. КИД-6 работоспособен, если стрелка прибора отклоняется на всю шкалу.

Заряд дозиметров:

1. Перед зарядом с дозиметров снимаются защитные колпачки.

2. Далее торцевым концом без держателя дозиметр вставляется в гнездо «Заряд», а затем другим концом с держателем — в гнездо «Разряд».

3. После заряда всех дозиметров выборочно проверяется нулевой уровень заряда на измерительных конденсаторах отдельных дозиметров. Для этого переключатель «Поддиапазоны» устанавливается в положение 0,05 и дозиметр измерительным концом вставляется в гнездо «Измерение».

4. Такие дозиметры, закрытые с двух сторон защитными колпачками, готовы к работе.

Измерение доз облучения дозиметров Д-2 (Д-500):

1. Переключатель «Поддиапазоны» пульта устанавливают в положение 0,05 (20) или 0,2 (100), если известно, что измеряемая доза более 0,05 (более 20).

2. Дозиметр измерительным концом вставляется в гнездо «Измерение» и проводят отсчет дозы по шкале измерительного прибора. При зашкаливании стрелки переключатель «Поддиапазоны» переводят в положение 0,2; 2 (или 500).

3. Дозиметр при этом из гнезда не вынимается.

3.9. Измеритель дозы ДЭГХ-02

ДЭГХ-02 (рис. 46) предназначен для измерения экспозиционной дозы гамма-излучения в местах его расположения, в диапазоне от 0,1 до 10000 Р. Погрешность измерения не превышает $\pm 20\%$ измеряемой дозы.



Рис. 46. Измеритель дозы ДЭГХ-02

Время установления рабочего режима установки после ее включения не превышает 1 мин.

Конструктивно ДЭГХ-02 выполнен в виде измерительного пульта УИ-14 и блока детектирования БДДГ-01. Соединение пульта и блока осуществляется кабелем длиной до 300 м.

Питание установки осуществляется от сети частотой 50 или 400 Гц, напряжением 220 В. Температура в помещении, где установлен блок УИ-14, должна поддерживаться в пределах от 0 до $+50^{\circ}\text{C}$. Используется на надводных кораблях ВМФ.

Устройство измерителя дозы. Конструктивно измеритель дозы ДЭГХ-02 выполнен в виде измерительного пульта УИ-14 и блока детектирования БДДГ-01. В местах установки блок детектирования крепится к переборке с помощью двух хомутиков,

а пульт устанавливается на переходную плату с помощью четырех винтов. Измерительный пульт с блоком детектирования соединяется кабелем длиной до 300 м.

Измерительный пульт УИ-14 состоит из передней панели и кожуха. На лицевой стороне панели установлены электромеханический счетчик; тумблер включения сети; сетевой индикатор включения сети.

Электромеханический счетчик шестизрядный обеспечивает прямую цифровую индикацию суммарной дозы гамма-излучения.

Кнопка «Контроль» предназначена для проверки работоспособности измерителя дозы.

Панель с помощью петель, установленных в ее нижней части, может откидываться вперед на 90°. Крайнее положение панели фиксируется тягой. Соединение панели с кожухом осуществляется с помощью двух замков в верхней и нижней частях пульта.

В кожухе смонтированы элементы блока питания. На нижней боковой стороне кожуха установлены два разъема, обеспечивающие подключение пульта к сети питания и датчика к пульту.

Блок детектирования БДДГ-01 состоит из цилиндрического корпуса, в котором размещена рамка с закрепленной на ней платой с узлами электрической схемы. Электрическое соединение схемы блока с пультом обеспечивается через разъем фланца, крепящегося к рамке, а его герметичность — с помощью накидной гайки и резиновой прокладки.

Подготовка к работе измерителя дозы производится в следующей последовательности:

- тумблер «Сеть» переводится в нижнее положение;
- проверяется надежность соединения блока детектирования с измерительным пультом, обращается внимание на отсутствие механических повреждений;
- тумблер «Сеть» устанавливается в верхнее положение, при этом на передней панели пульта загорается лампа, сигнализирующая о включении сети;
- через 1 мин нажимается кнопка «Контроль» и на табло электромеханического счетчика должен быть зарегистрирован один счетный импульс;

— нажатием на кнопку «Сброс» счетчик устанавливается в нулевое положение. Частота нажатия кнопки — не более одного раза в секунду.

Порядок работы с измерителем дозы:

- подготовить измеритель ДЭГХ-02 к работе, как было указано ранее;
- записать время включения прибора;
- по окончании измерений снять показания.

3.10. Устройство дозиметрическое УД-01

УД-01 (рис. 47) предназначено для измерения экспозиционной дозы гамма-излучения в диапазоне от 0,01 до 1000 Р и сигнализации о превышении установленных уровней (порогов) экспозиционной дозы гамма излучения.



Рис. 47. Устройство дозиметрическое УД-01

Конструктивно состоит из пяти дозиметров ДЭГ-08 и зарядного устройства ЗУК-10, служащего для хранения дозиметров и зарядки установленных в них аккумуляторов. Штатное питание дозиметров осуществляется от 4 аккумуляторов типа Д-0,26Д общим напряжением 5 В. Для питания могут использоваться элементы РЦ-82, РЦ-83Х, 4РЦ-83Х. Время непрерывной работы дозиметра без подзарядки аккумуляторов — 12 ч.

ЗУК-10 работает от сети переменного тока 220 (127) В, 50 (400) Гц.

Дозиметр ДЭГ-08 (рис. 48) обеспечивает:

- изменение экспозиционной дозы гамма-излучения;
- сигнализацию о превышении установленного порога экспозиционной дозы гамма-излучения с помощью звуковой и световой сигнализации;
- измерение экспозиционной дозы гамма-излучения и сигнализацию о превышении установленных порогов без вывода информации на цифровое табло;
- автоматический контроль собственной работоспособности; сигнализацию о разряде аккумуляторов.



Рис. 48. Дозиметр ДЭГ-08

Устройство зарядное ЗУК-10 обеспечивает:

- автоматический разряд и заряд аккумуляторов по стандартному циклу «Разряд-заряд»;
- подзарядку аккумуляторов до максимального напряжения;
- проверку работоспособности дозиметров ДЭГ-08 от контрольного источника, размещенного в контейнере зарядного устройства.

Зарядное устройство и дозиметры выполнены в ударопрочном, влагоустойчивом исполнении. Масса ЗУК-10 — 21 кг, дозиметра — 0,54 кг.

3.11. Комплекс корабельных дозиметрических установок КДУ-6

КДУ-6 предназначен для радиационного контроля на надводных кораблях. Комплекс относится к классу многоканальных информационно-управляющих систем радиационного контроля и состоит из источников первичной информации (блоки детектирования), устройств обработки, отображения информации и выдачи управляющих сигналов (пультов установок КДУ-6А, КДУ-6Б, КДУ-6В, КДУ-6Г, дозиметра ДЭГХ-02 и блока БВА-06).

КДУ-6А обеспечивает (рис. 49):

— измерение мощности дозы гамма-излучения в диапазоне от 10^{-4} до 10^3 Р/ч;

— измерение объемной активности бета-радиоактивных веществ в воздухе в диапазоне от $3 \cdot 10^{-8}$ до 10^{-3} Ки/л;

— измерение объемной активности бета-радиоактивных веществ в воде в диапазоне от 10^{-6} до 10^{-3} Ки/л;

— выдачу светового сигнала «Гамма» $> 5 \cdot 10^{-4}$ Р/ч при превышении порогового значения уровня гамма-излучения, устанавливаемого в диапазоне от $5 \cdot 10^{-4}$ до $5 \cdot 10^{-3}$ Р/ч (рис. 50);

— выдачу светового сигнала «Гамма» > 50 Р/ч при превышении порогового значения уровня гамма-излучения, устанавливаемого в диапазоне от 50 до 500 Р/ч;

— выдачу сигнала «Включить дозиметр» при превышении мощности дозы гамма-излучения в 1 Р/ч;

— выдачу световых сигналов «В зоне» и «Ограничить подачу воды» при превышении пороговых значений активности воды, устанавливаемых в диапазонах от $5 \cdot 10^{-6}$ до $5 \cdot 10^{-5}$ Ки/л и от $1 \cdot 10^{-5}$ до $1 \cdot 10^{-4}$ Ки/л соответственно;

— выдачу светового сигнала «Произвести герметизацию» при превышении порогового значения объемной активности бета-радиоактивных веществ в воздухе, устанавливаемого в диапазоне от $5 \cdot 10^{-8}$ до $5 \cdot 10^{-7}$ Ки/л;

— ориентировочное определение направления на внешний источник гамма-излучения по курсу корабля (левый борт, прямо, правый борт) при измерении мощности дозы гамма-излучения на 1, 2, 3-х и 4-м каналах индикации;

- выдачу обобщенного звукового сигнала о превышении уровня гамма-излучения $5 \cdot 10^{-4}$ Р/ч;
- проверку работоспособности каналов индикации и сигнализации от встроенного в пульт генератора проверки;
- проверку работоспособности установки от бленкеров, встроенных в блоки детектирования установки [8].



Рис. 49. КДУ-6А



Рис. 50. Выносной блок сигнально-индикационного табло БВА-06

В модуле КДУ-6А часть выходной информации и световых сигналов дублируется на выносном сигнально-индикационном табло БВА-06.

Установка радиационного контроля КДУ-6Б (рис. 51) обеспечивает:

- контроль уровней мощности экспозиционной дозы гамма излучения;
- определение ориентировочного направления на внешний источник излучения;
- формирование и выдачу сигнала команд «Зона».



Рис. 51 КДУ-6Б

Установка радиационного контроля КДУ-6В (рис. 52) обеспечивает:

- контроль уровней мощности экспозиционной дозы гамма излучения;
- формирование данных для включения УСВЗ и оценку эффективности ее работы.



Рис. 52. КДУ-6В

Установка радиационного контроля КДУ-6Г обеспечивает автоматическое формирование и выдачу управляющих сигналов на включение исполнительных механизмов системы герметизации корпуса корабля.

Кроме того, установка обеспечивает контроль дозы облучения личного состава при помощи ДЭГХ-02, а также дублирование с помощью табло БВА-06 информации о мощности экспозиционной дозы излучения и дублирование сигналов команд на командном пункте («Включить дозиметр», «Ограничить подачу воды», «В зоне», «Произвести герметизацию»).

Направление на внешний источник гамма-излучения ориентировочно определяется в установках КДУ-6А и КДУ-6Б путем сравнения показаний мощности экспозиционной дозы гамма-излучения на 1-м и 2-м или 3-м и 4-м каналах контроля, на которые информация поступает от датчиков, размещенных по правому и левому бортам корабля соответственно.

Превышение показаний в одном из каналов индикации ориентировочно указывает на появление источника излучения по соответствующему борту.

КДУ-6Г выдает сигнал на исполнительные механизмы в случае резкого возрастания по определенному закону уровня мощности дозы гамма-излучения или достижения величины 300 Р/ч.

Комплекс корабельных дозиметрических установок КДУ-8 предназначен для радиационного контроля на надводных кораблях.

Комплекс относится к классу многоканальных информационно-управляющих систем радиационного контроля и состоит из источников первичной информации (блоки детектирования), устройств обработки, отображения информации и выдачи управляющих сигналов (пультов установок КДУ-8А, КДУ-8Б, КДУ-8В, КДУ-8Г).

Установка КДУ-8А (рис. 53) обеспечивает автоматический контроль и измерение параметров радиационной, радиометрической и дозиметрической обстановки посредством обработки информации от блоков детектирования в каналах измерения, сигнализации и формирования сигналов-советов «РО» ($5 \cdot 10^{-4}$ Р/ч), «Предельная РО» (200 Р/ч), «В зоне» ($5 \cdot 10^{-6}$ Ки/л), «Ограничить подачу воды» ($5 \cdot 10^{-6}$ Ки/л), «Вкл. герметизацию», а также ориентировочное определение направления на внешний источник гамма-излучения.

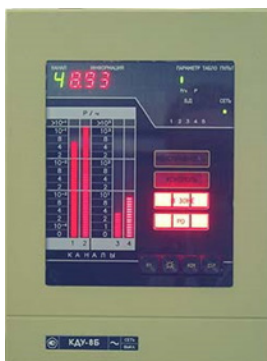


Рис. 53. КДУ-8А

Установка КДУ-8Б (рис. 54) обеспечивает автоматический контроль и измерение параметров радиационной (в 1, 2-х или 3, 4-х каналах измерения) и дозиметрической обстановки (5-й канал) посредством обработки информации от блоков детектирования, сигнализации и формирования сигналов-советов «РО»

($5 \cdot 10^{-4}$ Р/ч), а также ориентировочное определение направления на внешний источник гамма-излучения. Формирование сигналов-советов «РО» в 1, 2-х каналах измерения и сигнализации пульта УНО производится на основе анализа информации, поступающей по «чувствительным» каналам БДРГ-18С.



Рис. 54. КДУ-8Б

Установка КДУ-8В (рис. 55) обеспечивает автоматический контроль и измерение параметров радиационной, радиометрической и дозиметрической обстановки посредством обработки информации от блоков детектирования в каналах измерения, сигнализации и формирования сигналов-советов «Включить СУВЗ» (5 Р/ч).



Рис. 55. КДУ-8В

Формирование сигналов-советов «Включить СУВЗ» в 1—4-х каналах измерения и сигнализации пульта УНО производится на основе анализа информации, поступающей по «грубым» каналам БДРГ-18С. «Чувствительные» каналы БД не задействованы.

Установка КДУ-8Г (рис. 56) обеспечивает контроль мощности экспозиционной дозы гамма-излучения в четырех точках контроля, автоматически формирует сигналы управления на исполнительные устройства и механизмы герметизации корабля при мощности экспозиционной дозы гамма-излучения более 300 Р/ч или скорости нарастания мощности дозы $\Delta P=0,125—0,35$ Р/ч за 1 мс, а также формирование сигналов-советов «Герметизация произведена».



Рис. 56. КДУ-8Г

Автоматическое формирование сигнала управления сопровождается включением на время 2—5 с транспаранта «Герметизация произведена». Формирование сигналов советов в четырех каналах измерения и сигнализации пульта УНО производится на основе анализа информации, поступающей от БДРГ-17С ($\Delta P=0,12—0,35$ Р/ч за 1 мс) — каналы 1, 2; от БДРГ-18С — по «грубым» каналам ($P>300$ Р/ч) — каналы 3, 4. «Чувствительные» каналы БДРГ-18С не задействованы. Основная погрешность формирования сигнала при превышении мощности дозы гамма-излучения пороговой величины 300 Р/ч не превышает $\pm 30\%$.

Установка КДУ-8Д (рис. 57) предназначена для непрерывного автоматического контроля дозиметрической обстановки

по восьми каналам (постам) контроля, сигнализации и формирования сигналов оценки работоспособности операторов на постах контроля путем сбора и обработки информации от устройств детектирования.



Рис. 57. КДУ-8Д

Оценка работоспособности операторов на постах контроля в каждой из 8 точек контроля на текущий момент времени и прогнозирование на установленные моменты времени состояния работоспособности производится путем формирования сигналов, свидетельствующих о том, что работоспособность сохранена (загорание транспаранта зеленого цвета) или существенно ограничена (потеря работоспособности — загорание транспаранта красного цвета). Моменты времени прогнозирования состояния работоспособности операторов составляют: текущее время, 1, 2 ч; 1, 15 и 30 сут начиная с включения установки.

Представление информации о контролируемых параметрах на устройстве УНО-104С в каналах измерения — в цифровом виде на четырехразрядном цифровом табло с указанием номера канала контроля.

3.12. Измеритель мощности дозы КДГ-1

КДГ-1 предназначен для измерения мощности экспозиционной дозы гамма-излучения и индикации «жесткого» бета-излучения при проведении дозиметрического контроля (рис. 58).



Рис. 58. Корабельный дозиметр гамма КДГ-1

Дозиметр обеспечивает измерение мощности экспозиционной дозы гамма-излучения в диапазоне от 10^{-4} до 10^3 Р/ч. При этом весь диапазон измерения разбит на следующие поддиапазоны:

- I — от 0,1 до 1 мР/ч;
- II — от 1 до 10 мР/ч;
- III — от 10 до 100 мР/ч;
- IV — от 1 до 10 Р/ч;
- V — от 10 до 10^2 Р/ч;
- VI — от 10^2 до 10^3 Р/ч [8].

Дозиметр обеспечивает индикацию «жесткого» бета-излучения при измерении на чувствительном поддиапазоне $\times 1$ мР/ч. Время установления показаний дозиметра при измерениях — не более 100 с. Его питание осуществляется тремя последовательно включенными аккумуляторами типа НК-ГЦ-1Д. Дозиметр устойчиво работает в интервале температур от -40 до $+50$ °С [8].

Устройство. Конструктивно дозиметр выполнен в виде измерительного пульта и выносного блока детектирования. В состав КДГ-1, кроме того, входят комплект ЗИП и установочная плата (рис. 59).

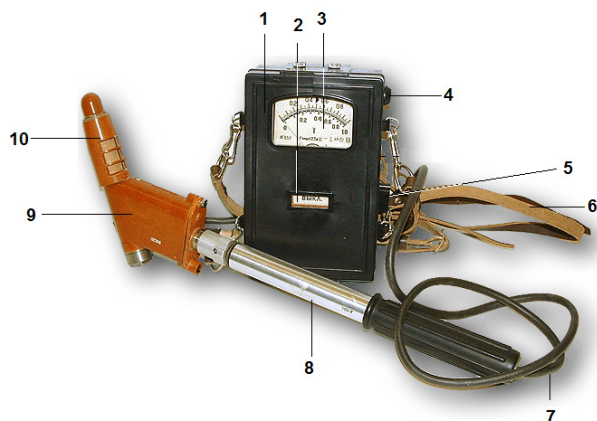


Рис. 59. Общее устройство корабельного дозиметра КДГ-1:
1 — пульт управления; 2 — смотровое окно для наблюдения
множителя шкалы; 3 — шкала; 4 — ручка установка нуля;
5 — переключатель поддиапазонов; 6 — ремень; 7 — кабель;
8 — удлинительная штанга; 9 — блок детектирования;
10 — поворотный экран

На лицевой стороне пульта имеются два смотровых окна и шильдик, смотровые окна защищены стеклами, приклеенными с внутренней стороны корпуса прибора. Одно окно предназначено для наблюдения шкалы измерительного прибора, а другое — для наблюдения множителя шкалы. На шильдике приведена краткая инструкция по эксплуатации прибора, а также указан тип прибора.

На правую боковую стенку пульта выведены ручка установки нуля и ручка переключения поддиапазонов. На левой боковой стенке установлен разъем для подключения блока детектирования. Корпус пульта пластмассовый и разделен на два изолированных герметичных отсека. Каждый отсек закрывается крышкой с резиновой уплотняющей прокладкой и крепится винтами. В большом отсеке размещена электромонтажная схема прибора. В малом отсеке размещены аккумуляторы типа НКГЦ-1Д.

Измерительный пульт помещен в защитный футляр из кожи или пластика. Крепление футляра к корпусу осуществляется с помощью винта и резьбового отверстия в крышке футляра.

Блок детектирования БДМГ-01 (рис. 60). Конструктивно блок детектирования состоит из следующих узлов: корпуса блока, крышки, плиты с элементами схемы, экрана поворотного, штанги, кабеля с разъемом. В качестве детектора бета-, гамма-излучения используется счетчик СБМ-20 и детектора гамма-излучения — счетчик СИ-38. Против счетчика СБМ-20 в корпусе блока имеется окно для бета-измерений, защищенное пленкой толщиной 20 мкм, покрытой алюминием с одной стороны.



Рис. 60. Блок детектирования БДМГ-01

Блок и крышка блока детектирования изготовлены из пластмассы. Входное отверстие в торце цилиндрической части корпуса запирается металлической втулкой с герметизирующим фторопластовым кольцом. Раздвижная штанга с ручкой крепится к крышке корпуса с помощью резьбовой титановой втулки.

В нерабочем состоянии измерительный пульт и блок детектирования дозиметра размещаются на щите, который представляет собой корпус и крышку с кронштейнами для установки измерительного пульта и блока детектирования гамма-излучения (рис. 61). Блоки крепятся на щите с помощью натяжных замков.



Рис. 61. Щит с КДГ-1

Подготовка к работе дозиметра производится в такой последовательности: переключатель поддиапазонов прибора устанавливается в положение «Выкл.», затем проверяется надежность соединения блока детектирования с измерительным пультом. Последовательно проверяются установка нуля прибора и режим питания прибора. Проверка режима питания прибора осуществляется путем установки переключателя поддиапазонов в положение «Пров. пит.». При этом стрелка измерительного прибора пульта должна находиться в зоне красного сектора шкалы. Если стрелка прибора находится левее красного сектора, источник питания следует заменить на заряженный.

Проверка работоспособности прибора. Работоспособность дозиметра КДГ-1 проверяют с помощью контрольного бета-источника, входящего в состав ЗИП дозиметра. С этой целью поворотный экран блока детектирования устанавливается и фиксируется в положении $\beta+\gamma$.

Переключатель поддиапазонов устанавливается в положение $\times 100$ мР/ч, бета-источник подносится вплотную к окну измерения так, чтобы его активная площадь полностью перекрыла окно счетчика СБМ-10 (рис. 62). Через 100 с по стрелочному

прибору снимают показания, которые должны соответствовать значению, указанному в формуляре на дозиметр. Необходимо повернуть и зафиксировать поворотный экран блока детектирования в положении β .



Рис. 62. Контрольный β -источник КДФ-1

Производство измерений. При измерении мощности дозы гамма-излучения переключатель поддиапазонов устанавливается в положение $\times 10^3$ Р/ч и через 100 с снимаются показания. При отсутствии отклонения стрелки или отклонения ее менее 0,1 шкалы переключатель поддиапазонов последовательно переводится на следующие низшие поддиапазоны до получения показаний в пределах шкалы, начиная с 0,1 ее части. Показания на поддиапазонах $\times 10^3$ Р/ч и $\times 100$ МР/ч снимаются по нижней (неравномерной) шкале, а на остальных поддиапазонах — по верхней шкале.

Для индикации наличия бета-излучения в диапазоне от 0,1 до 100 МР/ч необходимо ручкой «Уст. нуля» установить стрелку измерительного прибора на нуль (компенсация гамма-фона). Поворотный экран блока детектирования установить в положение $\beta+\gamma$. Отклонение стрелки измерительного прибора более 0,1 значения шкалы данного диапазона указывает на наличие бета-излучения.

Особенности работы с прибором. Через каждые 30 мин непрерывной работы прибора контролируются напряжение источников питания и установка стрелки измерительного прибора на нуль. При эксплуатации дозиметра в условиях повышенной влажности необходимо следить за сохранностью уплотнения

измерительного пульта и блока детектирования. Винты измерительного пульта и блока детектирования должны быть туго затянуты, пленка окна датчика — хорошо приклеена и не иметь проколов, разъем — быть сухим, чистым внутри и туго свинченным. Для работы с прибором в условиях плохой освещенности шкалу измерительного прибора и барабан на переключателе, покрытые светосоставом, облучают кратковременно потоком света, поворачивая при этом барабан от упора до упора.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Байбиков Р. А., Хрусталева А. М., Штеренберг И. Г.* Основы военной подготовки : учеб. пособие. СПб., 2025.
2. *Безопасность жизнедеятельности* : учебник для бакалавров / отв. ред. А. А. Бирюков, В. К. Кузнецов. М., 2014.
3. *Герасимов А. А.* Защита войск от оружия массового поражения. М., 2021.
4. *Радиационная, химическая и биологическая защита* : учеб. пособие / В. Ю. Радоуцкий [и др.] ; под ред. В. Ю. Радоуцкого ; Федеральное агентство по образованию, Белгородский гос. технологический ун-т им. В. Г. Шухова. Белгород, 2008.
5. *Инфоурок* : [сайт]. URL: <https://infourok.ru/seminar-dlya-prepodavateley-obzh-1566668.html/> (дата обращения: 06.01.2026).
6. *Инфоурок* : [сайт]. URL: <https://infourok.ru/radiacionnaya-himicheskaya-i-biologicheskaya-zaschita-naseleniya-2267503.html> (дата обращения: 06.01.2026).
7. *Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова* : [сайт]. URL: <https://www.s-vfu.ru/universitet/nauka/nauchnye-instituty-i-tsentry/vus/Uchebnaa-baza/PXB3%20-%202021г.pdf/> (дата обращения: 07.01.2026).
8. *Учебник сержанта войск радиационной, химической и биологической защиты* / Н. Т. Волков [и др.]. М., 2006.

Источники иллюстраций

1. *Nuclear bomb* // Istock. URL: <https://www.istockphoto.com/ru/фотографии/nuclear-nuclear-bomb> (дата обращения: 07.01.2026).
2. *Приборы радиационной, химической разведки и контроля* // ГБУ ДПО «Учебно-методический центр по гражданской обороне и чрезвычайным ситуациям Республики Татарстан». URL: https://umcgo.tatarstan.ru/file/pub/pub_3501080_enc_177401.pdf (дата обращения: 07.01.2026).
3. *Nuclear Reaction* // Istock. URL: <https://www.istockphoto.com/ru/фотографии/nuclear-reaction> (дата обращения: 07.01.2026).

Учебное издание

Зель Алексей Викторович
Балько Сергей Владимирович

РАДИАЦИОННАЯ, ХИМИЧЕСКАЯ
И БИОЛОГИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА

Часть I
ЯДЕРНОЕ ОРУЖИЕ.
СРЕДСТВА РАДИАЦИОННОГО НАБЛЮДЕНИЯ,
РАЗВЕДКИ И КОНТРОЛЯ

Учебное пособие

Редактор *Е. Т. Иванова*
Компьютерная верстка *Е. В. Денисенко*

Подписано в печать 12.05.2026 г.
Дата выхода в свет 20.05.2026 г.
Формат 60 × 90 ¹/₁₆. Усл. печ. л. 7,6
Тираж 300 (1-й завод 66 экз.). Заказ 40

Издательство Балтийского федерального университета им. Иммануила Канта
236041, г. Калининград, ул. А. Невского, 14

