# **РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

## Общие сведения об ионизирующих излучениях

Радиационная опасность обусловлена воздействием на окружающую среду ионизирующих излучений, которые составляют часть общего понятия – радиация, включающего в себя также радиоволны, видимый свет, ультрафиолетовое и инфракрасное излучения.

**Ионизирующим**называется излучение, взаимодействие которого со средой приводит к образованию ионов разных знаков. К ним относятся:

1. α, β, γ - излучения, обусловленные естественной и искусственной радиоактивностью химических элементов;
2. рентгеновские излучения, создающиеся в рентгеновских аппаратах, а также образующиеся при радиоактивном распаде ядер некоторых элементов;
3. потоки нейронов и γ - квантов, возникающих при ядерных реакциях деления и синтеза;
4. излучения, генерируемые на ускорителях;
5. излучения, приходящие из космоса и т.д.

Различают корпускулярное и фотонное ионизирующие излучения.

**Корпускулярное** излучение – поток элементарных частиц с массой покоя, отличной от нуля (α и β - частицы, нейтроны, протоны, электроны и др.). Кинетическая энергия этих частиц достаточна для ионизации атомов при столкновении – называется **непосредственно ионизирующим** излучением.

**Фотонное** излучение – электромагнитное излучение. К нему относятся: γ - излучение, возникающее при изменении энергетического состояния ядер; тормозное излучение, возникающее при уменьшении кинетической энергии заряженных частиц; характеристическое излучение, возникающее при изменении энергетического состояния электронов атома; рентгеновское излучение, состоящее из тормозного и (или) характеристического излучения. Фотоны имеют массу покоя, равную нулю.

Фотонное излучение, а также нейтроны и другие незаряженные частицы непосредственно ионизацию не производят, но в процессе взаимодействия со средой они высвобождают заряженные частицы, способные ионизировать атомы и молекулы данной среды. Поэтому его еще называют **косвенно ионизирующим** излучением.

Частицы корпускулярного излучения и фотоны принято называть ионизирующими частицами.

**Радиоактивность** – свойство неустойчивых атомных ядер одних химических элементов самопроизвольно превращаться в ядра атомов других химических элементов с испусканием одной или нескольких ионизирующих частиц. Процесс такого спонтанного ядерного превращения называется **радиоактивным распадом***.* При этом образовавшееся новое (дочернее) ядро оказывается в более устойчивом состоянии, чем исходное материнское.

Радиоактивность может быть естественной и искусственной.

**Естественная**радиоактивность наблюдается у существующих в природе неустойчивых изотопов. К ним относятся тяжелые ядра элементов, расположенных в Периодической системе за свинцом (Z>82), а также некоторые легкие и средние ядра (например, ядро калия-40).

**Искусственной** называется радиоактивность изотопов, полученных в результате ядерных реакций в ядерных реакторах, на ускорителях, при ядерных взрывах и др.

**Основные характеристики радиоизотопов**

Основными характеристиками радиоизотопов (радионуклидов) являются:

1. Активность.
2. Тип (способ) распада.
3. Период полураспада.
4. Вид и энергия излучения.

**Активность** радионуклида А в источнике (образце) есть отношение числа dN спонтанных ядерных превращений, происходящих в источнике (образце) за интервал времени dt, к этому интервалу:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.1) |

Единица активности радионуклида в СИ – *Беккерель* (Бк). Беккерель равен активности радионуклида в источнике (образце), в котором за 1с происходит одно спонтанное ядерное превращение.

Активность радионуклида с течением времени уменьшается по **закону радиоактивного распада**:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.2) |

где A(t), A0 – активность нуклида в источнике в текущий и начальный (t=0) моменты времени соответственно; –постоянная распада, имеющая смысл вероятности распада ядра за 1 секунду и равная доле ядер, распадающихся за единицу времени;T1/2 –**период полураспада** - время, в течение которого распадается половина первоначального количества ядер, при этом активность радионуклида уменьшается в 2 раза.

Для смеси радионуклидов суммарная активность определяется из уравнения:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.3) |

где A0*i* – активность *i*–го нуклида в момент времени t=0; λ*i* – постоянная распада *i*-го нуклида.

Каждый радионуклид распадается вполне определенным способом, при этом распад ядер сопровождается испусканием:

α– частиц (ядер атомов гелия) при α–распаде,

β–– частиц (электронов) – при электронном (β–) – распаде,

β+– частиц (протонов) – при протонном (β+) – распаде и др.

Образующиеся в результате указанных распадов дочерние ядра, как правило, оказываются возбужденными. Снятие энергии возбуждения и переход дочернего ядра в основное (стабильное) или менее возбужденное состояние происходит путем испускания гамма-кванта (фотона).

Переход ядра из возбужденного состояния в невозбужденное с испусканием γ–излучения называется **изомерным переходом***.*

Фотон может и не вылетать из атома, а поглотиться одним из электронов внутренних оболочек, который в результате перейдет в свободное состояние. Это явление называется **внутренней конверсией** γ–лучей. Электроны, образовавшиеся вследствие такого внутреннего фотоэффекта, называются конверсионными.

В ряде случаев вся энергия γ-излучения расходуется на явление внутренней конверсии и вместо вылета фотонов из атома наблюдается вылет только электронов конверсии. Внутренняя конверсия сопровождается испускание рентгеновского характеристического излучения.

Таким образом, радиоактивный распад сопровождается испусканием корпускулярных частиц (α, β+ , β–, конверсионные электроны) и фотонов.

**Дозиметрические величины**

Результатом воздействия ионизирующих излучений на облучаемые объекты являются различные радиационные эффекты – обратимые и необратимые физико-химические или биологические изменения в этих объектах, зависящие от величины воздействия и условий облучения.

Физические величины, функционально связанные с радиационным эффектом, называются **дозиметрическими**.

Основной физической величиной, определяющей степень радиационного воздействия, является **поглощенная доза ионизирующего излучения D** – отношение средней энергии , переданной ионизирующим излучением веществу в элементарном объеме, к массе *dm* вещества в этом объеме:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.4) |

Единица поглощенной дозы в СИ – *грей* (Гр). Грей равен поглощенной дозе ионизирующего излучения, при которой веществу массой 1 кг передается энергия ионизирующего излучения, равная 1 Дж, т.е. 1Гр = 1Дж/кг.

Поглощенная доза ионизирующего излучения является мерой ожидаемых последствий облучения объектов как живой, так и неживой природы. Она не зависит от вида ионизирующего излучения (α, β, γ, X, n и др.) и его энергии, но для одного и того же вида и энергии излучения зависит от вида вещества.

Поэтому, когда говорят о поглощенной дозе, необходимо указывать, к какой среде это относится: к воздуху, воде или другой среде.

В повседневной жизни человек подвергается хроническому облучению естественными и искусственными источниками ионизирующих излучений в малых дозах. Установлено, что в этом случае биологический эффект облучения зависит от суммарной поглощенной энергии и вида (качества) излучения.

По этой причине для оценки радиационной безопасности при хроническом облучении человека в малых дозах, т.е. дозах, не способных вызвать лучевую болезнь, используется **эквивалентная доза ионизирующего излучения** **Hт** – произведение «тканевой дозы» (дозы на орган) D*T* на взвешивающий коэффициент *wR* для излучения *R*:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.5) |

При этом доза на орган – средняя поглощенная доза в определенной ткани или органе человеческого тела задается в виде:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.6) |

где *mT* – масса ткани или органа; D – поглощенная доза в элементе *dm*.

Если в пределах органа или ткани D=const, то D*T* = D или = где – средняя энергия, поглощенная массой *mT*.

Если поле излучения состоит из нескольких излучений с различными значениями *wR*, то эквивалентная доза определятся в виде:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.7) |

Единица эквивалентной дозы в СИ - *зиверт* (Зв).

Зиверт равен эквивалентной дозе, при которой произведение поглощенной дозы в биологической ткани стандартного состава на взвешивающий коэффициент равно 1Дж/кг. Следовательно,

1Зв=1Гр/ .

Разные органы или ткани человека могут облучаться неравномерно, причем они имеют разную чувствительность к облучению (радиочувствительность).

Для учета указанных обстоятельств введена **эффективная доза ионизирующего****излучения** **Е** - величина, используемая как мера риска возникновения отдаленных последствий облучения всего тела человека и отдельных его органов с учетом их радиочувствительности. Она представляет собой сумму произведений эквивалентной дозы в органе или ткани Т за время τ на соответствующий взвешивающий коэффициент для данного органа или ткани:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.8) |

Единицы эффективной дозы совпадают с единицами эквивалентной дозы. Взвешивающий коэффициент *wT*равен отношению стохастического (вероятностного) риска смерти *rT* в результате облучения *Т*-го органа или ткани к риску смерти от равномерного облучения тела при одинаковых эквивалентных дозах:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.9) |

Поглощенная, эквивалентная и эффективная дозы характеризуют меру ожидаемого эффекта облучения для одного индивидуума. Эти величины являются индивидуальными дозами.

Для оценки меры ожидаемого эффекта при облучении больших групп людей, вплоть до целых популяций, используется **коллективная эффективная****доза S** - величина, определяющая полное воздействие от всех источников на группу людей. Она представляет собой сумму произведений средней эффективной дозы *Еi* для *i*-ой подгруппы большой группы людей на число людей *Ni* в подгруппе:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.10) |

Единица коллективной эффективной дозы в СИ - человеко-зиверт (чел⋅Зв), внесистемная единица - человеко-бэр (чел⋅бэр).

**Воздействие ионизирующих излучений на человека**

Человек подвергается облучению естественными и искусственными источниками радиации. При этом в зависимости от того, расположен ли источник вне или внутри организма, различают внешнее и внутреннее облучение человека.

**Внешнему облучению** может подвергаться как весь организм (*общее облучение*), так и отдельные органы и ткани (*локальное облучение*).

**Внутреннее облучение** обусловлено поступлением радионуклидов в организм ингаляционным (при вдыхании) или пероральным (через рот) путями, а также через поврежденную (ожог, рана, ссадина) и неповрежденную кожу.

**Радиационные эффекты облучения**

При воздействии на организм человека ионизирующая радиация может вызвать два вида эффектов: детерминированный и стохастический.

**Детерминированные** – биологические эффекты излучения, в отношении которых предполагается существование дозового порога (0,5 ÷ 1 Гр), выше которого тяжесть эффекта зависит от дозы.

К детерминированным эффектам относятся:

1. **Острая лучевая болезнь** (ОЛБ) – проявляется как при внешнем, так и при внутреннем облучении. В случае однократного равномерного внешнего фотонного облучения ОЛБ возникает при поглощенной дозе D ≥ 1 Гр и подразделяется на четыре степени:

I – легкая (D = 1÷2 Гр) смертельный исход отсутствует.

II – средняя (D = 2÷4 Гр) через 2 ÷ 6 недель после облучения смертельный исход возможен в 20% случаев.

III – тяжелая (D = 4÷6 Гр) средняя летальная доза – в течение 30 дней возможен летальный исход в 50% случаев.

IV – крайней тяжести (D > 6 Гр) – абсолютно смертельная доза – в 100% случаев наступает смерть от кровоизлияний или от инфекционных заболеваний вследствие потери иммунитета (при отсутствии лечения). При лечении смертельный исход может быть исключен даже при дозах около 10 Гр.

2. **Хроническая лучевая болезнь**(ХЛБ) формируется постепенно при длительном облучении дозами, значения которых ниже доз, вызывающих ОЛБ, но выше предельно-допустимых.

ХЛБ может возникнуть как при общем (внешнем или внутреннем) облучении всего тела, так и при преимущественном поражении отдельных органов. Период формирования ХЛБ совпадает со временем накопления дозы облучения. Признаки ХЛБ (уменьшение числа лейкоцитов, малокровие и др.) неспецифичны и встречаются при болезнях, развивающихся вследствие других причин. Последствия – лейкоз, опухоли – через 10 – 25 лет возможен летальный исход.

3. **Локальные лучевые повреждения** характеризуются длительным течением заболевания и могут приводить к лучевому ожогу и раку (некрозу) кожи, помутнению хрусталика глаза (лучевая катаракта).

**Стохастические**(вероятностные) эффекты – это биологические эффекты излучения, не имеющие дозового порога. Принимается, что вероятность этих эффектов пропорциональна дозе, а тяжесть их проявления от дозы не зависит.

Основные стохастические эффекты:

1. **Канцерогенные** – злокачественные опухоли, лейкозы – злокачественные изменения крове образующих клеток.

2. **Генетические** – наследственные болезни, обусловленные генными мутациями.

**Нормирование радиационного облучения**

Принятые в нашей стране Нормы радиационной безопасности НРБ – 99/2009 основаны на рекомендациях Международной комиссии по радиационной защите (МКРЗ).

В *нормальных* условиях эксплуатации источников ИИ Нормами установлены следующие **категории** облучаемых лиц:

1. **персонал** - лица, работающие с техногенными источниками ИИ (группа А) или находящиеся по условиям работы в сфере их воздействия (группа Б);
2. **все население**, включая лиц из персонала, вне сферы и условий их производственной деятельности.

Таблица 4.1

**Основные пределы доз**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Нормируемые величины | Пределы доз | |
| Персонал  (группа А)\* | Население |
| Эффективная доза | 20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но ≤ 50 мЗв/год | 1 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но ≤ 5 мЗв/год |
| Эквивалентная доза за год в: - хрусталике,  - коже, кистях и стопах | 150 мЗв  500 мЗв | 15 мЗв   1. мЗв |

\*Дозы облучения, как и все остальные допустимые производные уровни группы Б не должны превышать 0,25 значений для группы А

Основные пределы доз облучения для персонала и населения не включают в себя дозы от природных источников ИИ, на которые практически невозможно влиять (космическое излучение на поверхности Земли и облучение, создаваемое содержащимся в организме человека калием-40), от медицинских источников ИИ и дозу вследствие радиационных аварий. На эти виды облучения устанавливаются специальные ограничения.

Соблюдение предела годовой дозы предотвращает возникновение детерминированных эффектов, а вероятность стохастических эффектов сохраняется при этом на приемлемом уровне.

## Приведение мощности дозы на различное время после аварии на АЭС

Рад (международное: rad, от англ. radiation absorbed dose) – внесистемная единица измерения поглощённой дозы ионизирующего излучения. 1 рад равен поглощённой дозе излучения, при которой облучённому веществу массой 1 грамм передаётся энергия ионизирующего излучения 100 эрг. Фактически, если имеется ввиду влияние только гамма- или рентгеновского излучения (их коэффициент эквивалентности равен единице) на человека, то можно с некоторой погрешностью сказать: 1 рад = 100 эрг/г = 0,01 Дж/кг = 0,01 Гр =0,01Зв.

Поглощающим материалом могут быть как ткани живых организмов, так и любое другое вещество (например, воздух, вода, почва и т. д.).

В Российской Федерации рад допущен к использованию в качестве внесистемной единицы без ограничения срока с областью применения «ядерная физика, медицина».

Расчёт задач по установлению мощности дозы на определенное время после взрыва осуществляется с помощью специальных таблиц.

В таблице 3 для различного времени после аварии с учетом спада мощности дозы приведены коэффициенты пересчета мощности дозы на любое время после аварии. Если принять мощность на 1 час после аварии за единицу, то коэффициент пересчета показывает, во сколько раз уменьшится мощность дозы за тот или иной промежуток времени (t), прошедший после аварии.

ЗАДАЧА 1. *На объекте через tавар час после аварии мощность дозы составляет Pt рад/час. Определить мощность дозы через 1 час и через 1 сутки после аварии.*

ПРИМЕР. Решение задачи осуществляется для следующих условий:

количество часов после аварии tавар = 3,5 часа;

мощность дозы через 3,5 часа после аварии *Pt* = 1 рад/час.

РЕШЕНИЕ.

1. В таблице 4.2 находим, что при t =3,5 часа мощность дозы составляет 0,61 от мощности дозы на 1 час после аварии.

2. Определяем мощность дозы на 1 час после аварии.

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.11) |

3. В таблице 4.2 находим, что при t = 1 сутки мощность дозы составит 0,28 от мощности дозы на 1 час после аварии.

4. Определяем мощность дозы на 1 сутки после аварии

Таблица 4.2**.**

**Коэффициенты пересчета мощности дозы на различное время после аварии на АЭС**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| |  | | --- | | Время, прошедшее после аварии, час | | Kt= t -0,4 | Время, прошедшее после аварии, час | Kt= t -0,4 | Время, прошедшее после аварии, час | Kt= t -0,4 |
| 0,5 | 1,32 | 6 | 0,49 | 11,5 | 0,38 |
| 1 | 1,00 | 6,5 | 0,47 | 12 | 0,37 |
| 1,5 | 0,85 | 7 | 0,46 | 16 | 0,33 |
| 2 | 0,76 | 7,5 | 0,45 | 20 | 0,30 |
| 2,5 | 0,70 | 8 | 0,43 | 1 сутки | 0,28 |
| 3 | 0,65 | 8,5 | 0,42 | 2 суток | 0,21 |
| 3,5 | 0,61 | 9 | 0,41 | 3 суток | 0,18 |
| 4 | 0,58 | 9,5 | 0,41 | 4 суток | 0,16 |
| 4,5 | 0,55 | 10 | 0,40 | 5 суток | 0,15 |
| 5 | 0,53 | 10,5 | 0,39 | 6 суток | 0,14 |
| 5,5 | 0,51 | 11 | 0,39 |  |  |

## Расчёт ожидаемых доз облучения при действии людей на заражённой местности при авариях на АЭС

В общем случае изменение мощности дозы на местности, зараженной радиоактивными веществами при аварии на АЭС, определяется зависимостью:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.12) |

где *Pt* – мощность дозы на момент t после взрыва (аварии); *P*0 – мощность дозы, измеренная (рассчитанная) на время t0 после взрыва (аварии), например, на 1 час после аварии; t –время от момента взрыва (аварии), на которое рассчитывается мощность дозы; t0 – время от момента взрыва (аварии), для которого известна мощность дозы; n – показатель степени, зависящий от времени с момента взрыва (аварии).

Для аварии на АЭС при времени менее суток от момента взрыва n = 0,4. Проинтегрировав выражение (4.12), можно получить зависимость, позволяющую определить дозу излучения при аварии на АЭС на открытой местности.

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.13) |

где *P*н – мощность дозы в момент начала нахождения на местности, зараженной радиоактивными веществами; *P*к – мощность дозы в момент окончания нахождения на местности, зараженной радиоактивными веществами; *t*н и *t*к – соответственно время начала и окончания нахождения на местности, зараженной радиоактивными веществами от момента аварии.

Учитывая вышеприведенные зависимости для различных типов аварийных реакторов, рассчитаны дозы облучения и сведены в таблицы. Пользуясь этими таблицами, представляется возможным определить дозу облучения для различных условий обстановки.

В таблицах 4.3 и 4.4 в зависимости от типа аварийного реактора (РБМК или ВВЭР) приведены дозы облучения в радах для мощности 1 рад/час после аварии. Для определения доз облучения для других значений мощностей доз необходимо найденную по таблице дозу облучения умножить на указанную мощность дозы.

ЗАДАЧА 2. *На объекте мощность дозы через tвзр час после взрыва на АЭС с реактором (ВВЭР или РБМК) составляет Pt рад/час. Определить дозы облучения, которые получат люди, находящиеся на открытой местности, за tм час, если известно, что облучение началось через tзар час после аварии.*

ПРИМЕР. Решение задачи осуществляется для следующих условий:

количество часов после взрыва tвзр = 5 часа;

мощность дозы через 4 часа после аварии *Pt* = 0,55 рад/час;

количество часов нахождения людей на местности *tм* = 4 часов;

количество часов от взрыва до начала заражения местности tзар= 4 часов;

тип реактора АЭС – РБМК.

РЕШЕНИЕ.

1. Определяем мощность дозы на 1 час после аварии (по таблице 4.2):
2. В таблице 4.3 (для РБМК) на пересечении колонки 4 часов и строки 4 часов находим дозу облучения на открытой местности при мощности дозы 1 рад/час, которая равна 1,36 рад.
3. Определяем дозу облучения для мощности дозы на 1 час, равную 1,04 рад/час:

ЗАДАЧА 3. *В результате аварии на АЭС началось радиоактивное заражение местности через (tзар) час после аварии. Мощность дозы - (Pt) рад/час. Определить дозу облучения за первые сутки нахождения на открытой местности, используя вышеприведенную формулу.*

ПРИМЕР. Решение задачи осуществляется для следующих условий:

количество часов от взрыва до начала заражения местности tзар= 5 час,мощность дозы через 5 часов после аварии *Pt* = 0,53 рад/час.

РЕШЕНИЕ

1. Определяем мощность дозы на 1 час после аварии
2. Определяем мощность дозы на 24 часа после аварии по таблице 4.4.
3. Подставляем полученные значения в формулу (4.13):

Таблица 4.3

**Дозы радиации, получаемые на открытой местности, при мощности дозы 1 Р/час на 1 час после аварии на АЭС. Тип аварийного реактора РБМК.**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Время начала облучения с момента аварии | | Время пребывания на зараженной местности | | | | |
| Часы | | | | Сутки |
| 3 | 4 | 5 | 6 | 1 |
| Часы | 3 | 0,78 | 1,49 | 2,14 | 3,12 | 11,4 |
| 4 | 0,70 | 1,36 | 1,97 | 2,78 | 11,0 |
| 5 | 0,61 | 1,19 | 1,74 | 2,54 | 10,3 |
| 6 | 0,55 | 0,99 | 1,53 | 2,12 | 9,4 |
| Сутки | 1 | 0,35 | 0,70 | 1,05 | 1,15 | 7,37 |

Таблица 4.4

**Дозы радиации, получаемые на открытой местности, при мощности дозы 1 Р/час на 1 час после аварии на АЭС. Тип аварийного реактора ВВЭР.**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Время начала облучения с момента аварии | | Время пребывания на зараженной местности | | | | | |
| Часы | | | | | Сутки |
| 2 | 3 | 5 | 6 | 7 | 1 |
| Часы | 2 | 0,99 | 1,68 | 2,39 | 3,66 | 8,57 | 12,0 |
| 3 | 0,78 | 1,49 | 2,14 | 3,33 | 8,07 | 11,4 |
| 4 | 0,70 | 1,36 | 1,97 | 3,10 | 7,70 | 11,0 |
| 5 | 0,61 | 1,19 | 1,74 | 2,78 | 7,12 | 10,3 |
| 6 | 0,55 | 0,99 | 1,53 | 2,57 | 6,54 | 9,4 |
| 7 | 0,43 | 0,70 | 1,10 | 2,33 | 5,87 | 8,7 |
| Сутки | 1 | 0,35 | 0,70 | 1,05 | 1,72 | 4,84 | 7,37 |

## Определение допустимой продолжительности пребывания людей на заражённой местности при аварии на АЭС

Допустимое время пребывания на зараженной местности определяется по таблице 4.5. Для определения времени пребывания, используя исходные данные, рассчитывается отношение:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.14) |

где *P*1 – мощность дозы на 1 час после аварии; *Pt* – заданная мощность дозы на любое время; Дзад – установленная мощность дозы; *К*осл – коэффициент ослабления (на местности равен 1); *Кt* – определяется по таблице 4.2.

В таблице 4.5 на пересечении строчки «а» и графы начала работ находится продолжительность пребывания на зараженной местности.

Таблица 4.5

**Допустимая продолжительность пребывания людей на радиоактивной зараженной местности при аварии на АЭС**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| a=Р1/(Дзад∙ Косл) | Время, прошедшее с начала аварии до начала облучения tзар, час | | | | | | | | | |
| 1,5 | 2 | 2,5 | 3 | 3,5 | 4 | 4,5 | 5 | 5,5 | 6 |
| 0,2 | 7,3 | 8,35 | 10,0 | 11,3 | 12,3 | 14,0 | 16,0 | 21,0 | 23,0 | 25,0 |
| 0,3 | 4,5 | 5,35 | 6,3 | 7,1 | 8,0 | 9,0 | 10,3 | 13,3 | 15,3 | 17,3 |
| 0,4 | 3,3 | 4,0 | 4,35 | 5,1 | 5,5 | 6,3 | 7,3 | 10,0 | 12,0 | 14,0 |
| 0,5 | 2,45 | 3,05 | 3,35 | 4,05 | 4,3 | 5,0 | 6,0 | 7,5 | 9,5 | 11,5 |
| 0,6 | 2,15 | 2,35 | 3,0 | 3,22 | 3,45 | 4,1 | 4,5 | 6,25 | 8,25 | 10,25 |
| 0,7 | 1,5 | 2,1 | 2,3 | 2,4 | 3,1 | 3,3 | 4,0 | 5,25 | 7,25 | 9,25 |
| 0,8 | 1,35 | 1,5 | 2,1 | 2,25 | 2,45 | 3,0 | 3,3 | 4,5 | 6,5 | 8,5 |
| 0,9 | 1,25 | 1,35 | 1,55 | 2,05 | 2,25 | 2,4 | 3,05 | 4,0 | 6,0 | 8,0 |
| 1,0 | 1,15 | 1,3 | 1,4 | 1,55 | 2,10 | 2,2 | 2,45 | 3,4 | 5,4 | 7,4 |

ЗАДАЧА 4. *Определить допустимую продолжительность работы спасательной команды на зараженной местности, если измеренная мощность дозы при входе в зону через tвзр час составляет Pt рад/час. Установленная мощность дозы равна Дзад, рад.*

ПРИМЕР

Решение задачи осуществляется для следующих условий:

количество часов после взрыва 3 часа;

мощность дозы через 3 часа после аварии 0,39 рад/час;

установленная мощность дозы (Дзад) равна 1рад.

РЕШЕНИЕ

1. По таблице 4.2 находится мощность дозы на 1 час после аварии.
2. Находим «а»
3. По таблице 4.5 определяем продолжительность работ: Т= 3 часа.

## Исходные данные для расчёта

ЗАДАЧА 1. На объекте через заданное после аварии время (tавар) мощность дозы составляет Pt рад/час. Определить мощность дозы через 1 час и через 1 сутки после аварии.

ЗАДАЧА 2. На АЭС с реактором (ВВЭР или РБМК) мощность дозы через заданное после взрыва время (tвзр) составляет Pt рад/час. Определить дозы облучения, которые получат люди, находящиеся на открытой местности, за время tм, если известно, что облучение началось через tзар час после аварии.

ЗАДАЧА 3. В результате аварии на АЭС через определённое время (tзар) началось радиоактивное заражение местности. Мощность дозы – (Pt) рад/час. Определить дозу облучения за первые сутки нахождения на открытой местности, используя вышеприведенную формулу.

ЗАДАЧА 4. Определить допустимую продолжительность работы спасательной команды на заражённой местности, если измеренная мощность дозы при входе в зону tвзр составляет Pt рад/час. Установленная мощность дозы равна Дзад, рад.

Таблица 4.6

**Исходные данные для решения задач по оценке радиационной обстановки на объекте**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Задача № 1** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| № | Исходные параметры | | | Номер варианта | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | | | 2 | | | 3 | | | 4 | | | 5 | | | 6 | | | 7 | | | 8 | | | 9 | | | 10 |
| 1 | Количество часов после аварии (tавар), час | | | 1,5 | | | 2 | | | 2,5 | | | 3 | | | 3,5 | | | 4 | | | 4,5 | | | 5 | | | 5,5 | | | 6 |
| 2 | Мощность дозы через tавар часов после аварии (Pt), рад/час. | | | 0,6 | | | 0,7 | | | 0,8 | | | 0,9 | | | 1,0 | | | 1,1 | | | 1,0 | | | 0,9 | | | 0,8 | | | 0,7 |
| **Задача № 2** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Количество часов после взрыва (tвзр), час | | | 2 | | | 2,5 | | | 3 | | | 3,5 | | | 4 | | | 4,5 | | | 5 | | | 5,5 | | | 6 | | | 7 |
| 2 | Мощность дозы через tвзр часов после взрыва (Pt), рад/час. | | | 0,1 | | | 0,2 | | | 0,3 | | | 0,4 | | | 0,5 | | | 0,6 | | | 0,7 | | | 0,8 | | | 0,9 | | | 1,0 |
| 3 | Количество часов нахождения людей на местности (tм), час | | | 6 | | | 5 | | | 3 | | | 4 | | | 2 | | | 3 | | | 5 | | | 6 | | | 6 | | | 7 |
| 4 | Количество часов от взрыва до начала заражения местности (tзар), час | | | 2 | | | 3 | | | 4 | | | 3 | | | 6 | | | 5 | | | 6 | | | 5 | | | 4 | | | 5 |
| 5 | Тип реактора | | | ВВЭР | | | | | | РБМК | | | | | | ВВЭР | | | | | | РБМК | | | | | | ВВЭР | | | |
| **Задача № 3** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Количество часов от взрыва до начала заражения местности (tзар), час | 3 | | | 4 | | | 5 | | | 6 | | | 7 | | | 8 | | | 9 | | | 8 | | | 7 | | | 6 | | |
| 2 | Мощность дозы через tзар часов после аварии (Pt), рад/час. | 0,34 | | | 0,4 | | | 0,44 | | | 0,51 | | | 0,44 | | | 0,4 | | | 0,51 | | | 0,4 | | | 0,44 | | | 0,51 | | |
| **Задача № 4** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Количество часов после взрыва (tвзр), час | | 1,5 | | | 2 | | | 2,5 | | | 3 | | | 3,5 | | | 4 | | | 4,5 | | | 5 | | | 5,5 | | | 6 | |
| 2 | Мощность дозы через tзар часов после аварии (Pt), рад/час. | | 0,25 | | | 0,3 | | | 0,35 | | | 0,40 | | | 0,45 | | | 0,50 | | | 0,55 | | | 0,6 | | | 0,65 | | | 0,7 | |
| 3 | Установленная мощность дозы (Дзад), рад/час | | 1 | | | 1,5 | | | 2 | | | 2,5 | | | 3 | | | 3,5 | | | 4 | | | 4,5 | | | 5 | | | 5,5 | |