

«Утверждено»

Заведующий кафедры  
мобилизационной подготовки  
здравоохранения и медицины катастроф  
к. м .н. доцент Петров В. П.

**Контроль радиационной  
безопасности.  
Аппаратура радиационного  
контроля.**

Для разработки способов защиты от ионизирующих излучений и установления допустимых уровней облучения в 1928 г. была создана Международная комиссия по радиационной защите (МКРЗ), а затем Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ) и Научный комитет ООН по действию атомной радиации (НКДАР). В настоящее время во многих странах, в том числе и в РФ, действуют национальные комиссии этих международных организаций.

В 1934 году была принята предельно допустимая доза облучения. С тех пор регламентация вопросов обеспечения радиационной безопасности в виде «Норм радиационной безопасности», «Основных санитарных правил работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений» носит в нашей стране государственный законодательный характер и обязательна для выполнения всеми министерствами и ведомствами.

### **МКРЗ выделяет три вида ситуаций облучения:**

1. **Планируемое облучение**, которое включает не только действия с источниками, но и их утилизацию, захоронение отходов, снятие с эксплуатации, реабилитацию загрязненных земель и т.д.
2. **Авария** – непредвиденная ситуация, которая возникает в процессе планируемого облучения.

3. **Существующее облучение** – это облучение, которое уже существует, когда решения по контролю источника облучения приняты, к нему может быть отнесено природное облучение долгоживущими радионуклидами или остаточное облучение в результате прошлой практической деятельности.

Для количественной характеристики уровня лучевого воздействия введено понятие дозы излучения. Применяются три основных вида дозы – экспозиционная, поглощённая и эквивалентная. Эффективная доза - является расчетной величиной (не определяется приборами).

### ***Технические характеристики источников излучения***

1. **Вид излучения** (альфа-, бета-, гамма-излучение, нейтронное излучение).

2. **Геометрия источника.** Геометрически источники могут быть точечными и протяженными. Протяженные источники могут быть линейными, поверхностными или объемными.

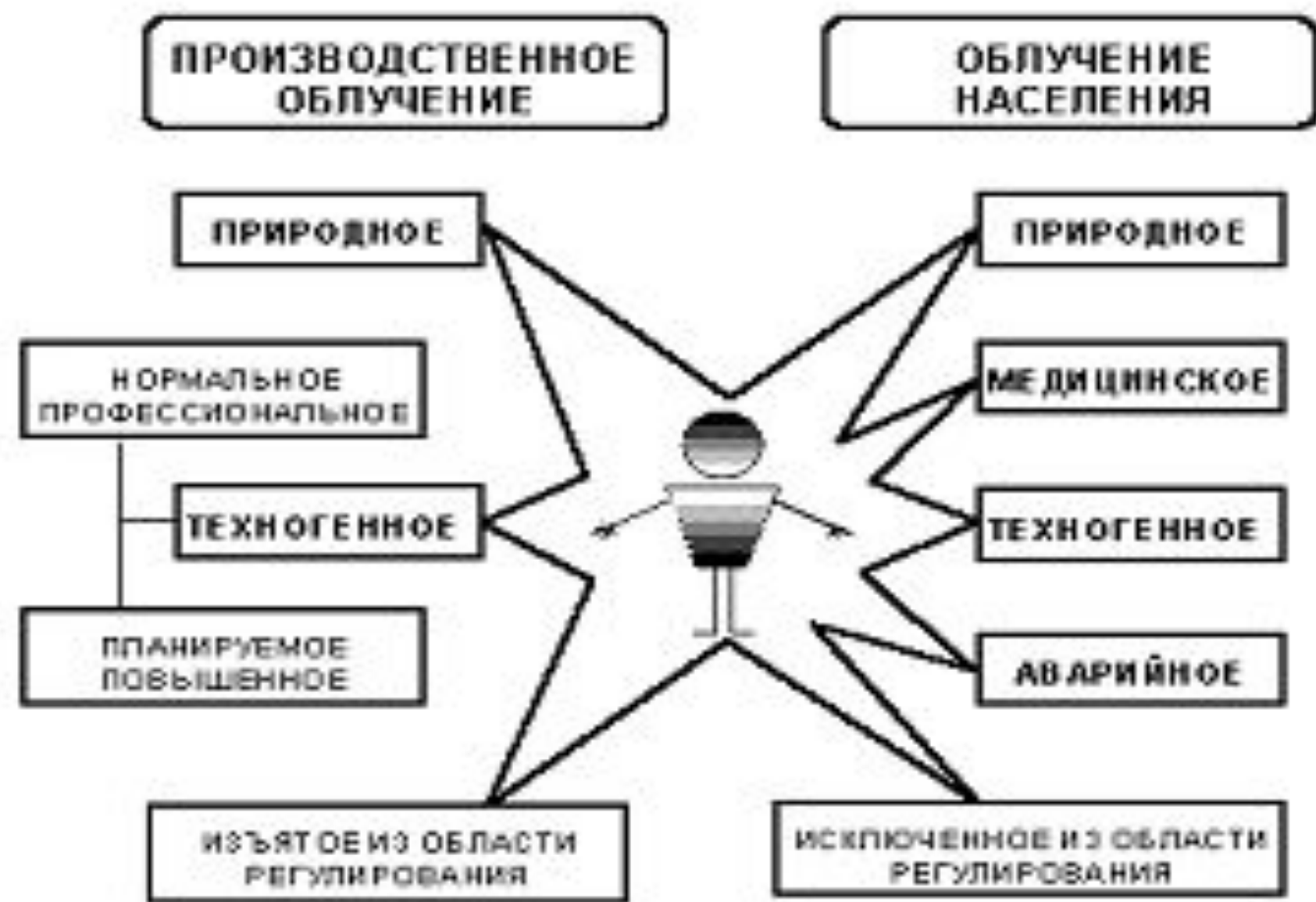
3. **Активность** и ее распределение по источнику. Мощность или плотность потока излучения.

### *Энергетический состав.*

Энергетический спектр источников может быть **моноэнергетическим** (испускаются частицы одной фиксированной энергии), **дискретным** (испускаются моноэнергетические частицы нескольких энергий), **непрерывным** (испускаются частицы разных энергий в пределах некоторого энергетического диапазона).

### *Угловое распределение излучения.*

Среди многообразия угловых распределений излучений источников для решения большинства практических задач обычно задаются изотропное, косинусоидальное или мононаправленное.



Классификация облучений

# Аппаратура радиационного контроля (АРК)

Для обнаружения и измерения ионизирующих излучений используются аппаратура радиационного контроля.

АРК предназначения для измерения физических величин, характеризующих источники или поля ионизирующих излучений, или взаимодействие последних с веществом.

## Классификация АРК по назначению

Дозиметрические приборы и установки (**дозиметры**) – приборы, предназначенные для измерения экспозиционной, поглощенной или эквивалентной доз (или) мощностей этих доз, т.е. в группе дозиметров различают измерители дозы и измерители мощности дозы.

2. Радиометрические приборы и установки (**радиометры**) – приборы, предназначенные для измерения активности нуклидов, потока или плотности потока частиц. В этой группе различают радиометры активности нуклида в источнике, удельной, объемной и удельной поверхностной активности нуклида, потока и плотности потока ионизирующих частиц.

3. Спектрометрические приборы и установки (**спектрометры**) – приборы для измерения распределения (спектра) величин, характеризующих поле ионизирующего излучения по энергии, интервалами времени между событиями.

4. **Комбинированные приборы**, выполняющие функции дозиметра и радиометра, дозиметра и спектрометра, радиометра и спектрометра.
5. **Многофункциональные приборы**, выполняющие две и более измерительных функций дозиметра или радиометра.
6. **Универсальные установки** – приборы для одновременного или последовательного измерения нескольких величин, характеризующих различные виды и параметры ионизирующих излучений, т.е. радиационную обстановку на объекте по всем радиационным факторам.
7. **Индикаторные приборы**, предназначенные для обнаружения и ориентировочной оценки ионизирующих излучений.

### **Классификация АРК по виду регистрируемого излучения**

1. Альфа.
2. Бета.
3. Гамма.
4. Нейтронного.

# Классификация АРК по типу детектора (физические методы регистрации)

1. **Ионизационную** ( с газовым, полупроводниковыми или кристаллическими детекторами).
2. **Люминесцентную**( со сцинтилляционными или термолюминесцентными датчиками)
3. **Химическую** (фотодозиметрическую, калориметрическую, радиодефекционную).

В мировой и отечественной практике дозиметрии для определения степени облучения персонала и населения используется **около 20 различных методов** и соответствующих им технических средств.

## Метрологическая классификация

1. **Эталонная** (погрешность измерения  $\pm 2\%$ ).
2. **Практическую** (погрешность измерения  $\pm 20\%$  и более).
3. **Индикаторную** (погрешность измерения до  $\pm 50\%$ ).



# По характеру установки или использования

1. Стационарные ; 2.Переносные; 3.Мобильные

## Выделяют приборы:

Первого, второго, третьего, четвертого («интеллектуальные») поколений.

## Условные обозначения и краткие технические характеристики средств измерений

Первый элемент буквенного обозначения — функциональное назначение средств измерений:

**Д** — дозиметры (дозиметрические установки);

**Р** — радиометры (радиометрические установки);

**С** — спектрометры (спектрометрические установки);

**БД** — блоки детектирования;

**УД** — устройства детектирования.

## Второй элемент буквенного обозначения — физическая величина, измеряемая средством измерений.

- Д** — поглощенная доза излучения;
- М** — мощность поглощенной дозы излучения;
- Э** — экспозиционная доза фотонного излучения;
- Р** — мощность экспозиционной дозы фотонного излучения;
- В** — эквивалентная доза излучения;
- Б** — мощность эквивалентной дозы излучения;
- Ф** — поток энергии ионизирующего излучения;
- Н** — плотность потока энергии ионизирующего излучения;
- Т** — перенос энергии ионизирующего излучения;
- И** — активность радионуклида в источнике;
- У** — удельная активность радионуклида;
- Г** — объемная активность радионуклида в газе;
- Ж** — объемная активность радионуклида в жидкости;

**А** — объемная активность радиоактивного аэрозоля;

**З** — поверхностная активность радионуклида;

**Л** — поток ионизирующих частиц;

**П** — плотность потока ионизирующих частиц;

**Е** — энергетическое распределение ионизирующего излучения;

**С** — перенос ионизирующих частиц;

**Ч** — временное распределение ионизирующего излучения;

**К** — две и более физических величины.

## Третий элемент буквенного обозначения — вид ионизирующего излучения:

**А** — альфа-излучение;

**Б** — бета-излучение;

**Г** — гамма-излучение;

**Р** — рентгеновское излучение;

**Н** — нейтронное излучение;

**П** — протонное излучение;

**Т** — тяжелые заряженные частицы;

**С** — смешанное излучение;

**Х** — прочие излучения.

## Примеры буквенных обозначений средств измерений:

**ДДБ** — дозиметр (дозиметрическая установка) поглощенной дозы бета-излучения;

**РЗА** — радиометр (радиометрическая установка) поверхностной активности гамма-активного радионуклида (радиометр загрязненности поверхностей);

**СЕГ** — спектрометр (спектрометрическая установка) энергетического распределения гамма-излучения;

**УДДР** — устройство детектирования поглощенной дозы рентгеновского излучения.

Приборы каждого вида по совокупности технических характеристик и очередности разработок разделяются на типы, которым присваиваются сокращенное обозначение и порядковый номер данного типа (модели) изделия. Номер отделяется от остального буквенного обозначения черточкой (дефисом). Конструктивная модификация типа (модели) обозначается цифрой, следующей после второго дефиса. После схемной модификации (частичное изменение принципиальной схемы) за номером типа (модели) ставятся русские прописные буквы.

**Пример.**

Дозиметр для определения экспозиционной дозы рентгеновского и гамма-излучений во втором варианте исполнения, в третьей конструкторской модификации обозначается **«Дозиметр экспозиционной дозы ДЭРГ-02-03»**.

## Методы индикации, использующиеся в работе дозиметрических и радиометрических приборов

- **ионизационный**, основанный на свойстве излучений ионизировать любую среду, через которую они проходят, в том числе и детекторное (улавливающее) устройство прибора. Измеряя ионизационный ток, получают представление об интенсивности радиоактивных излучений;
- **сцинтиляционный**, регистрирующий вспышки света, возникающие в сцинтиляторе (детекторе) под действием ионизирующих излучений, которые фотоэлектронным умножителем (ФЭУ)

- **люминисцентный**, базирующийся на эффектах радиофотолюминисценции (ФЛД) и радиотермолюминисценции (ТЛД). В первом случае под действием ионизирующих излучений в люминофоре создаются центры фотолюминисценции, содержащие атомы и ионы серебра, которые при освещении ультрафиолетовым светом вызывают видимую люминисценцию, пропорциональную уровням радиации. Дозиметры ТЛД под действием теплового воздействия (нагрева) преобразуют поглощенную энергию ионизирующих излучений в люминисцентную, интенсивность которой пропорциональна дозе ионизирующих излучений;
- **фотографический** — один из первых методов регистрации ионизирующих излучений, позволивший французскому ученому Э. Беккерелю открыть в 1896 г. явление радиоактивности. Этот метод дозиметрии основан на свойстве ионизирующих излучений воздействовать на чувствительный слой фотоматериалов аналогично видимому свету. По степени почернения (плотности) можно судить об интенсивности воздействующего на пленку

- **химический**, основанный на измерении выхода радиационно-химических реакций, протекающих под действием ионизирующих излучений. Известно значительное количество различных веществ, изменяющих свою окраску (степень окраски) или цвет в результате окислительных или восстановительных реакций, что можно соизмерять со степенью или плотностью ионизации. **Например**, нитраты под влиянием гамма-излучения переходят в нитриты. При облучении нейтронами меняют свой изотопный состав бораты. Данный метод используют при регистрации значительных уровней радиации;
- **калориметрический**, базирующийся на измерении количества теплоты, выделяемой в детекторе при поглощении энергии ионизирующих излучений, поглощаемая веществом, в конечном итоге преобразуются в теплоту при условии, что поглощающее вещество является химически инертным к излучению и это пропорционально интенсивности излучений;
- **нейтронно-активационный**, связанны с измерением наведенной активности и в некоторых случаях является единственно возможным методом регистрации, особенно при регистрации слабых нейтронных потоков, так как наведенная ими активность оказывается слишком малой для надежных измерений обычными методами. Кроме того, этот метод удобен при оценке доз в аварийных ситуациях.

В мировой и отечественной практике дозиметрии для определения степени облучения персонала и населения используется около 20 различных методов и соответствующих им технических средств.

## 1. Ионизационные камеры.

В методах, основанных на использовании ионизационных камер, измеряют разряд конденсаторной ионизационной камеры, вызванный излучением, и по нему определяют дозу фотонного излучения. Энергетическая зависимость их чувствительности обычно не превышает  $\pm 15\%$  в диапазоне энергии фотонов 40 кэВ - 1,25 МэВ. Однако они имеют существенную угловую зависимость чувствительности. К сопутствующему нейтронному излучению без специально принятых мер они на порядок менее чувствительны. Эти





**Термолюминесцентный метод** основан на использовании активированных добавками веществ, надолго запасаящих энергию, переданную им излучением, и освобождающих ее при нагревании в виде фотонов термолюминесценции.

В современных модификациях этот метод обладает очень широким диапазоном по дозам - от 10 мкЗв до 1,0 Зв по индивидуальной эквивалентной дозе и от 0,1 до 50 Гр по поглощенной дозе. Это позволяет использовать его одновременно для текущего и аварийного контроля.

**В качестве люминофоров нашли применение:**

- алюмофосфатные стекла, активированные марганцем;
- монокристаллы фторида лития, активированные магнием и титаном;
- поликристаллы бората магния, активированные диспрозием.
- монокристаллы корунда;
- монокристаллы фторида лития активированные магнием, фосфором и медью



**3. Радиофотолюминесцентный метод** заключается в образовании в люминофоре под действием ИИИ стабильных центров люминесценции.

При дополнительном возбуждении люминофора ультрафиолетовым светом возникает люминесценция, которая служит мерой поглощенной энергии. В выпускаемых моделях метод обеспечивает диапазон измерения от 0,25 до 5000 мЗв от 0,1 до 5 Гр, соответственно. В новых моделях нижний предел измерения будет уменьшен до 0,1 мЗв. Дозиметры не чувствительны к нейтронам. Особенностью РФЛД является то, что информация о зарегистрированной дозе не утрачивается в процессе считывания. Отжиг РФЛД можно проводить по мере необходимости. РФЛД могут быть использованы для текуще

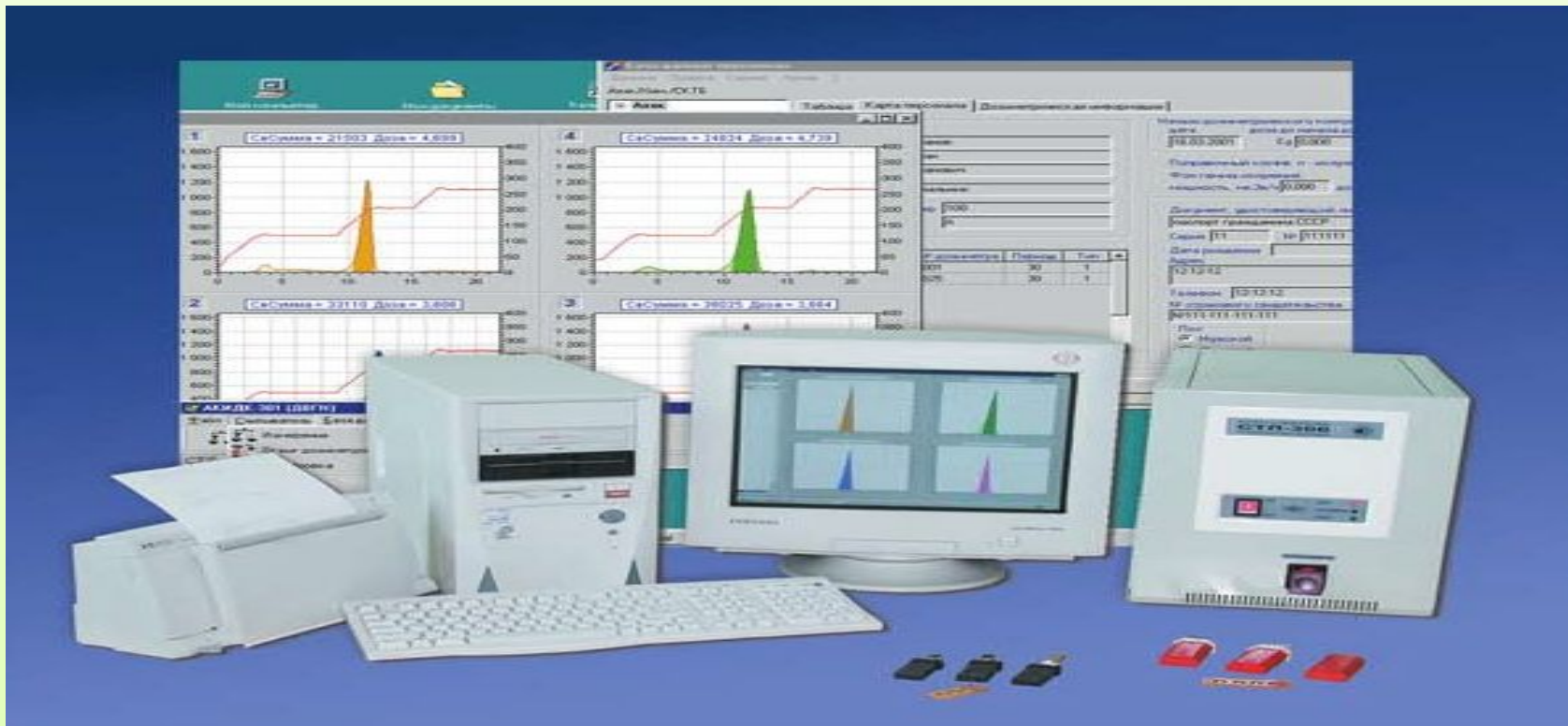


**Электронные прямопоказывающие дозиметры основаны на применении дискретных детекторов: газоразрядных счетчиков, полупроводниковых или сцинтилляционных детекторов.**

**Эти дозиметры обеспечивают обработку информации с детекторов и представление результатов измерения дозы и/или мощности дозы на прямопоказывающие цифровое, аналоговое или цифро-аналоговое табло в реальном времени. Диапазон измерения фотонного и бета-излучения таких дозиметров - от 1 мкЗв до 1,0 Зв для приборов текущего и оперативного контроля и от 0,1 мГр до 10 Гр для приборов аварийного контроля. Дозиметры обеспечивают измерение не только интегральной дозы и мощности дозы, но и сигнализацию о превышении заданных значений дозы и мощности дозы. Электронные прямопоказывающие дозиметры удобны для оперативного и аварийного контроля.**



На основе применения термолюминесцентных, прямопоказывающих электронных и полупроводниковых дозиметров разработаны и используются **автоматизированные системы ИДК.**



В индивидуальной дозиметрии нейтронов в основном применяются:

- ядерные фотоэмульсии;
- термолюминесцентные альбедные дозиметры;
- твердотельные трековые детекторы;
- пузырьковые детекторы;
- электронные прямопоказывающие дозиметры.

**5. Ядерные фотоэмульсии** используются в индивидуальной дозиметрии быстрых нейтронов. Нейтроны взаимодействуют с ядрами водорода в эмульсии и окружающих материалах, образуя протоны отдачи. При прохождении протонов через эмульсию образуется скрытое изображение треков, выявляемое путем химического проявления. Для счета треков в эмульсии необходимо использовать микроскоп с увеличением около 1000х. **Погрешность измерения дозы зависит от опыта лаборанта.** Серьезной проблемой при использовании ядерных фотоэмульсий является их чувствительность к фотонам, что приводит к почернению эмульсии после проявления и к усложнению задачи выявления и счета треков.

**6. Твердотельные трековые детекторы** основаны на том, что сильно ионизирующие частицы, такие, как осколки деления,  $\alpha$ -частицы и протоны создают структурные повреждения в различных материалах, например, в минералах, стеклах и пластиках. Путем химического травления поверхности детектора специально подобранными реагентами зона повреждения вдоль трека частицы может быть удалена и трек увеличен до размеров, видимых в оптический микроскоп. Применения пленочных полимерных детекторов (полиэтилентерефталатных, поликарбонатных, нитратцеллюлозных) удобно применять электроискровой способ автоматического счета треков.

В индивидуальной дозиметрии нейтронов в настоящее время используются три основных типа детекторов на основе ТТД.

**В детекторах осколков деления** при облучении нейтронами радиатор из делящегося материала испускает осколки деления, которые регистрируются с помощью ТТД. Применение делящихся материалов в индивидуальных дозиметрах в настоящее время ограничено или запрещено в некоторых странах из-за их радиоактивности.

**В детекторах альфа-частиц** нейтроны взаимодействуют с ядрами Li-6 или B-10 во внешнем радиаторе.

**В детекторах ядер отдачи** упругое рассеяние нейтронов на ядрах пластиковых ТТД (CR-39, Macrofol, LR-115) приводит к образованию ядер отдачи, таких, как протоны, ядра углерода, кислорода и азота. Эти ядра отдачи образуют скрытые треки, проявляемые путем травления ТТД. Для увеличения треков используется химическое или электрохимическое травление, либо их комбинация. Наиболее перспективными являются ТТД типа CR-39, имеющие чувствительность 5 - 8 мрад/трек и порог

**7. Пузырьковые детекторы** являются относительно новым типом прямопоказывающего дозиметра нейтронов.

Эти детекторы представляют собой упругий полимер с внедренными в него каплями перегретой жидкости. Выделение небольшой энергии в перегретой жидкости при образовании нейтронами ядер отдачи приводит к появлению пузырьков пара, видимых невооруженным глазом. Плотность пузырьков пропорциональна дозе нейтронов. Пузырьковый детектор имеет очень высокую чувствительность к нейтронам (до нескольких мкЗв) и нечувствителен к фотонам. Могут изготавливаться детекторы с различными энергетическими порогами от 100 кэВ до нескольких МэВ, так что набор пузырьковых детекторов может применяться



**Нейтронные электронные прямопоказывающие дозиметры** обеспечивают обработку информации с детекторов и представление результатов измерения дозы и мощности дозы. В качестве детектора нейтронов в них применяются полупроводниковые поверхностно-барьерные детекторы с радиаторами из водородсодержащих материалов или содержащими Li или B. Регистрация быстрых нейтронов (свыше 0,5 МэВ) осуществляется по протонам отдачи, тепловых нейтронов - по продуктам реакции на Li или B.

В настоящее время в отечественной практике индивидуального дозиметрического контроля нейтронного излучения используются следующие методы:

- **Ядерные фотоэмульсии.**
- **Детекторы осколков деления.**
- **Альбедные дозиметры.**

**Биологические** методы дозиметрии основаны на способности излучений изменять биологические объекты. Величину дозы оценивают по уровню летальности животных, степени лейкопении, количеству хромосомных аббераций, изменению окраски и гиперемии кожи, выпадению волос, появлению в моче дезоксицитидина и др.



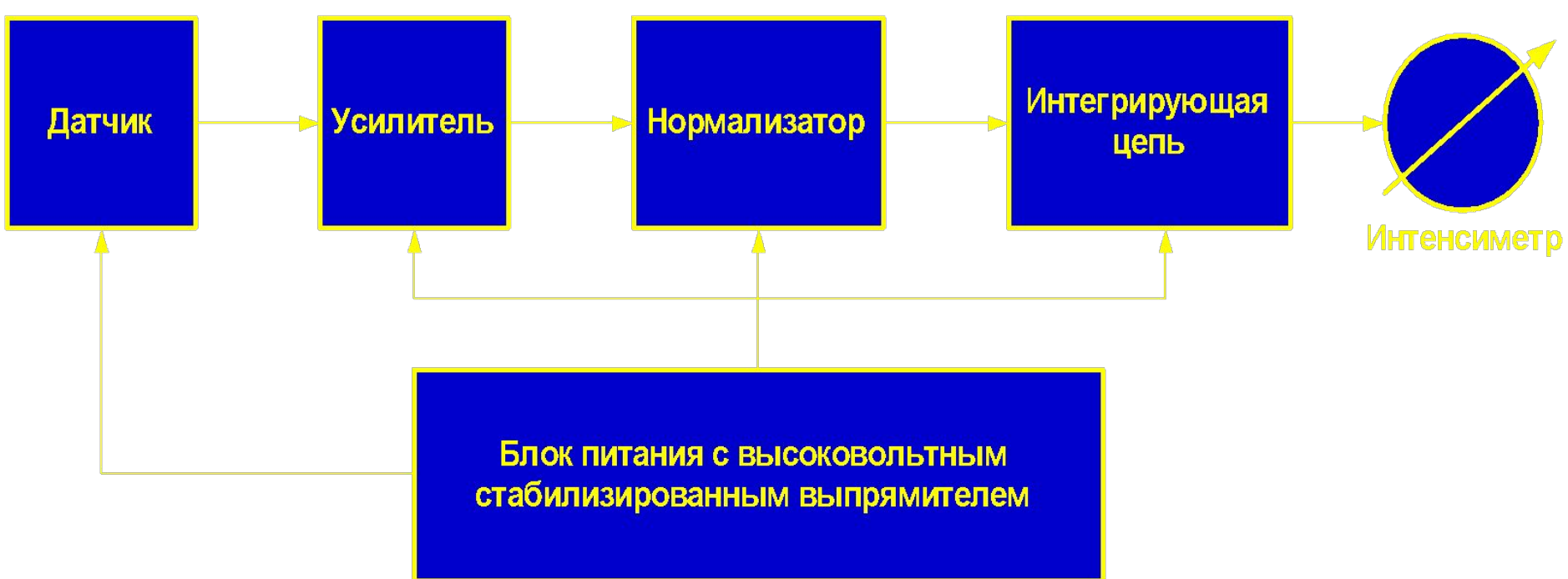
Оценка доз расчетным методом производится исходя из данных радиационной разведки об изменении мощности экспозиционной дозы излучения на местности за время пребывания в РОО:  $D = P_{\text{ср}}T / K_{\text{осл}}$ ,

где  $P_{\text{ср}}$  — среднее значение мощности экспозиционной дозы при нескольких замерах, Р/ч;  $T$  - время облучения, ч;  $K_{\text{осл}}$  — коэффициент ослабления дозы излучения при пребывании людей в зданиях (сооружениях), обладающих защитными свойствами.

При аварийном облучении наряду с применением индивидуальных дозиметров аварийного контроля могут быть привлечены специализированные лаборатории, использующие методы ретроспективной дозиметрии.

К ним относятся методы, основанные на подсчете частоты появления хромосомных aberrаций в лимфоцитах периферической крови или подсчете концентрации клеток в пункции костного мозга.

При наличии зубов, удаленных по медицинским показаниям у пострадавших при аварии, по сигналу электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) образцов эмалей зуба может быть



**Принципиальная схема любого дозиметрического и радиометрического прибора одинакова. Она включает три обязательных блока: детекторное устройство (детектор), регистрирующий прибор (индикатор) и блок питания (аккумуляторы, батарейки, элементы, электросеть и пр.).**

# Индивидуальный дозиметрический контроль (ИДК)

В мировой и отечественной практике дозиметрии для определения степени облучения персонала и населения используется около 20 различных методов и соответствующих им технических средств.





ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ ДОЗИМЕТР ГАММАИЗЛУЧЕНИЯ ДКГ-05Д



**Кордон-2 трековый дозиметр**

**ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ДОЗИМЕТРЫ  
РЕНТГЕНОВСКОГО И ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЙ  
ДКГ РМ-1621/РМ-1621А**



**ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ ДОЗИМЕТР  
ГАММАИЗЛУЧЕНИЯ ИД-0,2 (ДК-0,2)**



**ДОЗИМЕТР ДКГ-РМ-1603**





**Гамма-спектрометр для измерения  
гамма-излучения человека  
«Прогресс-гамма (СИЧ)»**



**Счетчик двойного назначения для  
измерения излучения  
человеческого тела и легких**



### **РИГ-02**

**Прибор предназначен для  
измерения содержания гамма-  
излучающих радионуклидов в  
диапазоне энергий от 0.1 до 3 МэВ,  
равномерно распределенных в  
организме человека, и йода 131,  
находящегося в щитовидной железе.**