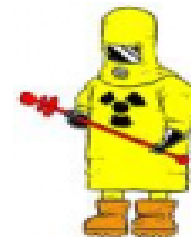


«Защита от ионизирующих излучений»

Тема 13:

Методы защиты от ионизирующего излучения на АЭС



Энергетический факультет
2015/2016 учебный год



Белорусский национальный
технический университет

Обеспечение радиационной защиты на АЭС

Радиационная защита на АЭС

- **Главной целью радиационной защиты является охрана здоровья персонала и населения от вредного воздействия ионизирующего излучения путем соблюдения основных принципов и норм радиационной безопасности.**

Принципы обеспечения радиационной безопасности на АЭС

Для обеспечения радиационной безопасности при нормальной эксплуатации АЭС необходимо руководствоваться следующими основными принципами:

- непревышение допустимых пределов индивидуальных доз облучения граждан от всех источников излучения - принцип нормирования;
- запрещение всех видов деятельности по использованию источников излучения, при которых полученная для человека и общества польза не превышает возможного вреда, причиненного дополнительным облучением - принцип обоснования;
- поддержание на возможно низком и достижимом уровне с учетом экономических и социальных факторов индивидуальных доз облучения и числа облучаемых лиц при использовании любого источника излучения - принцип оптимизации (ALARA).

Обеспечение радиационной защиты

Радиационная защита обеспечивается целым комплексом средств и мер:

- создание надежных барьеров распространению радиоактивных веществ,
- Создание экранов биологической защиты,
- Создание промежуточных контуров охлаждающей воды,
- организованный сбор и очистка радиоактивных протечек,
- организованный сбор и хранение сухих и жидких радиоактивных отходов,
- поддержание нормальных радиационно-климатических условий в производственных помещениях системами спецвентиляции,
- разделение производственных помещений на зоны контролируемого и свободного доступов и создание санпропускников,
- организация санитарно-защитной зоны вокруг АЭС, организация радиационного контроля и т.д.

Методы и средства обеспечения радиационной безопасности на АЭС

Радиационная безопасность во всех режимах эксплуатации АЭС (нормальный режим, режим проектной аварии, запроектной аварии, ликвидация последствий аварии, снятие с эксплуатации) обеспечивается следующими методами и средствами:

- организационные методы**
- технические средства**
- радиационно-гигиенические средства**
- информационно-обеспечивающие средства**

Средства радиационной защиты

- **технические средства**, включающие в себя оборудование, сооружения, конструкции, предназначенные **для удержаний радиоактивных веществ** и ионизирующих излучений в заданных границах;
- **радиационно-гигиенические средства**, включающие в себя оборудование, сооружения, средства индивидуальной защиты, предназначенные **для снижения радиационного воздействия на человека**
- **информационно-обеспечивающие средства**, включающие в себя все приборы, датчики, системы баз данных, предназначенные для получения, обработки, использования и хранения информации необходимой для качественного обеспечения радиационной безопасности.

Проектная и запроектная аварии на АЭС

Проектная авария - авария, для которой проектом определены исходные события и конечные состояния, предусмотрены системы безопасности, работающие с учетом принципа единичного отказа систем безопасности или одной, независимой от исходного события ошибки персонала. Последствия проектной аварии ограничены установленными для таких аварий пределами.

Запроектная авария - авария, вызванная неучитываемыми для проектных аварий исходными событиями или сопровождающаяся дополнительными по сравнению с проектными авариями отказами систем безопасности сверх единичного отказа, ошибочными решениями персонала, которые могут привести к тяжелым повреждениям или к расплавлению активной зоны. Уменьшение последствий запроектной аварии достигается управлением аварией и/или реализацией планов мероприятий по защите персонала и населения.

Организационные методы радиационной защиты

Организационные методы радиационной защиты

К организационным методам радиационной защиты относится комплекс мероприятий который включает в себя

- проектные работы, зонирование и планировку помещений
- организацию систем допуска персонала к работам с ИИИ (подготовка персонала и организация труда)
- создание инструкций по РБ, установление граничных доз
- организацию радиационного контроля и проверки состояния радиационной безопасности.
- а также в принципе весь процесс принятия решений по обеспечению радиационной безопасности, начиная от исполнителя работ и заканчивая руководством эксплуатирующей организации;

Организационные методы радиационной защиты

- **Общее руководство по обеспечению радиационной безопасности АЭС возглавляет директор АЭС.** На нем лежит ответственность за разработку Программы радиационной защиты АЭС и организацию контроля ее выполнения.
- **Главный инженер АЭС** персонально отвечает за организацию и техническое обеспечение радиационной безопасности, выполнение Программы радиационной защиты АЭС.
- **Руководители подразделений АЭС** несут персональную ответственность за изучение и выполнение подчиненным персоналом правил и инструкций по радиационной безопасности, Программы радиационной защиты АЭС

Зонирование помещений

Организационные методы радиационной защиты на АЭС

Основным организационно-техническим принципом обеспечения радиационной безопасности является строгое соблюдение персоналом режима зон.

Все здания, сооружения и производственные помещения АЭС должны быть разделены на:

- зону свободного доступа (ЗСД)
- зону контролируемого доступа (ЗКД)

Гигиенический принцип деления на зоны учитывает характер технологических процессов, размещенное оборудование, характер и возможную степень загрязнения радиоактивными веществами

Зонирование помещений

Зона свободного доступа

- вспомогательные и административные помещения, где при нормальной эксплуатации АЭС не осуществляется обращение с ИИИ и, как правило, практически исключается воздействие на людей радиационных факторов

- Административно-служебные помещения
- Столовые
- Мастерские по ремонту чистого оборудования
- и т.д.

Действуют допустимые уровни для непрофессионального облучения

Зона контролируемого доступа

В этой зоне осуществляется обращение с ИИИ и возможно воздействие радиационных факторов на персонал:

- Помещения главного корпуса (главный корпус - здание, кот. содержит реактор, парогенератор, турбины, конденсаторы, электрогенераторы)
- Хранилище РАО
- Здания спецводоочистки, спецгазоочистки
- Мастерские по ремонту загрязненного оборудования и др.

Зонирование помещений

- На АЭС с реакторами типа ВВЭР **центральный, блочный и резервный пункты управления, помещения комплекса средств автоматизированной системы управления технологическим процессом, электропитания распределительных устройств** должны размещаться в **ЗСД**.
- **Пункты управления и контроля работы отдельных групп технологического оборудования с радиоактивными средами** (местные щиты управления) допускается размещать в помещениях постоянного пребывания персонала **ЗКД**.
- **Щиты радиационного контроля** на всех АЭС должны размещаться в **ЗКД** на основных путях прохода персонала к рабочим местам.

Классификация помещений зоны контролируемого доступа

- В зависимости от степени возможного радиационного воздействия на персонал все помещения зоны контролируемого доступа делятся на три категории:
 - I категория - необслуживаемые помещения;
 - II категория - периодически обслуживаемые помещения;
 - III категория - помещения постоянного пребывания.

Необслуживаемые помещения (I категория)

В необслуживаемых помещениях:

размещается технологическое оборудование и коммуникации, условия эксплуатации которых и радиационная обстановка при работе АЭС на мощности не допускают пребывания в них персонала;

т.е. не допускается пребывания в них персонала при работающем технологическом оборудовании !

- Необслуживаемые помещения — боксы, камеры и другие герметичные помещения, где размещается технологическое оборудование и коммуникации, являющиеся основными источниками излучения и радиоактивного загрязнения.
- Двери этих помещений во время работы на мощности закрываются на замки и пломбируются администрацией цеха-владельца.
- На период ремонта необслуживаемое помещение распоряжением главного инженера может быть переведено в категорию периодически обслуживаемого.

Периодически обслуживаемые помещения (II категория)

В периодически обслуживаемых помещениях:

условия эксплуатации оборудования и радиационная обстановка при работе АЭС на мощности допускает ограниченное во времени пребывание в них персонала.

- Периодически обслуживаемые помещения (помещения временного пребывания)— помещения для проведения эксплуатационного обслуживания и ремонта оборудования и других работ, связанных с вскрытием технологического оборудования, узлы загрузки и выгрузки радиоактивных материалов, временного хранения и удаления отходов;
- Двери этих помещений, при отсутствии в них персонала, должны быть закрыты на замки или другие запорные устройства.

Помещение постоянного пребывания персонала (III категория)

- Помещения постоянного пребывания персонала — операторские, пульты управления и др. помещения, где персонал может находиться в течение всей смены.
- Здесь влияние радиации за рабочий день не превышает допустимых норм для профессионалов.

Требования к помещениям ЗКД

- Помещения ЗКД с оборудованием, обслуживаемым оперативным персоналом, должны быть обеспечены надежной двухсторонней связью со щитами контроля и управления.

Требования к помещениям ЗКД

- Поверхности помещений и оборудования ЗКД должны быть защищены материалами, слабо сорбирующими радиоактивные вещества и легко поддающимися дезактивации.
- Все поверхности и их сочленения должны быть максимально гладкими, без выбоин, трещин и неровностей.
- Окна без подоконников.
- В помещениях ЗКД проектируемых АЭС должны быть предусмотрены коммуникации для подачи воды и моющих растворов, а также средства для механизированной уборки и дезактивации. Полы в этих помещениях должны иметь уклоны и трапы для стока воды в спецканализацию.

Требования к помещениям ЗКД

- Помещение реакторного зала с бассейном выдержки должно быть с гладкими стенами и без окон.
- Пол реакторного зала должен быть облицован нержавеющей сталью, ровным по всей площади и иметь уклон для стока воды в спецканализацию

Требования к помещениям ЗКД

- **Мебель, инструменты, приборы и оборудование помещений ЗКД должны быть закреплены за конкретными помещениями и соответственно маркированы.**
- **Мебель, предназначенная для использования в ЗКД, должна быть с гладкой поверхностью, легко поддающейся дезактивации и обладающей малой сорбционной способностью**

Требования к помещениям ЗКД

- Помещения зон свободного и контролируемого доступа должны быть окрашены в различные цвета.
- Помещения I – III категорий ЗКД и двери помещений должны иметь отличную друг от друга окраску.

(часто: I категория – красный, II- желтый, III - зеленый)

- Входные двери в ЗКД должны иметь маркировку – знак радиационной опасности.
- На действующих АЭС все помещения ЗКД должны иметь на двери обозначение категории.

Знак радиационной опасности

- Старого образца



- Нового образца



Требования к помещениям ЗКД

- Для транспортирования оборудования и материалов в помещения и из помещений ЗКД необходимо предусматривать специальные входы и транспортные въезды.
- Транспортные въезды должны оборудоваться воздушными завесами и спецканализацией. Должно быть предусмотрено проведение обмыва транспорта и радиационного контроля транспортных средств, вывозимого оборудования и материалов.
- Транспортирование загрязненного оборудования, инструментов и радиоактивных отходов (далее – РАО) не должно осуществляться через помещения постоянного пребывания персонала.

Санпропускники и саншлюзы

Контроль пересечения зон

- Пересечение установленных границ зон как людьми, так и радиоактивными материалами осуществляется под строгим контролем
- Для предупреждения распространения радиоактивных веществ из зоны контролируемого доступа **проход туда и обратно из зоны контролируемого доступа должен осуществляться через санпропускники**

Санпропускники

- **Вход в комплекс помещений зоны контролируемого доступа (и выход из нее) осуществляется исключительно через санитарные пропускники с обязательным переодеванием.**
- **Санпропускник размещается между ЗСД и ЗКД и предназначен для полного переодевания, санитарной обработки персонала, радиационного контроля тела и спецодежды, сбора и отправки на дезактивацию загрязненной спецодежды и спецобуви.**
- **В санпропускник входят:**
 - гардероб для личной одежды
 - гардероб для рабочей одежды (спецодежды)
 - Умывальники (бесконтактная, или педальная, или локтевая подача воды), душевые, санузлы
 - пункты радиационного контроля загрязнения спецодежды и кожных покровов
 - кладовые чистой и грязной спецодежды и СИЗ
 - помещение сортировки спецодежды

Санпропускники

- Прохождение персонала через пропускник в рабочие помещения и обратно обеспечивается по разным маршрутам.
- На выходе из санпропускника в ЗСД осуществляется обязательный радиационный контроль чистоты рук и тела после санитарной обработки.
- Возможность входа в ЗКД из зоны свободного доступа и выхода из ЗКД, минуя санпропускники, должна быть исключена.

Саншлюзы

- Проход персонала в необслуживаемые помещения при неработающем технологическом оборудовании должен предусматриваться через стационарные или временные саншлюзы.
- Санитарный шлюз - помещение на границе ЗКД разных категорий, предназначенное для предотвращения распространения радиоактивных веществ.
- В саншлюзе персонал надевает и снимает дополнительные средства индивидуальной защиты, проводит санитарную обработку рук, а в случае необходимости — всего тела. Проходит обязательный дозиметрический контроль
- Стационарные саншлюзы должны быть оборудованы трапами специальной канализации, подводкой горячей и холодной воды, дезактивирующих растворов.

Саншлюзы

В составе стационарного саншлюза должны быть:

- места для надевания, снятия и хранения дополнительных СИЗ;**
- стеллажи или шкафы для хранения СИЗ;**
- устройство для очистки подошв спецобуви непосредственно на работающих;**
- место смены спецобуви, оборудованное стеллажами;**
- пункт предварительной дезактивации пневмокостюмов непосредственно на человеке перед их снятием;**
- участок сбора загрязненных СИЗ;**
- участок дезактивации дополнительных СИЗ, изготовленных из ПВХ-пленки, резины и прорезиненных тканей;**
- пункт радиационного контроля, включающий кроме приборов радиометрического контроля (рук, основных и дополнительных СИЗ) умывальники с подачей горячей и холодной воды, а также бачки с дезактивирующими растворами;**
- место смены основной спецодежды в случае ее значительного радиоактивного загрязнения;**
- участок сбора твердых РАО.**

Организационные методы радиационной защиты на АЭС. Контроль допуска

Другой важной мерой радиационной защиты помимо зонирования помещений является выдача нарядов (разрешений) на производство работ в зоне контролируемого доступа .

При проведении радиационно-опасных работ, требующих предварительной подготовки рабочего места и ограничения продолжительности, при выполнении которых индивидуальные дозы облучения могут **превысить 0,2 мЗв**, оформляется дозиметрический наряд-допуск.

В наряде указывается место, время и условия проведения работ, необходимые меры и средства обеспечения радиационной безопасности (дополнительные средства индивидуальной защиты и индивидуального дозиметрического контроля, дополнительная местная защита и т.п.), состав бригады и лица, ответственные за обеспечение радиационной безопасности при производстве работ.

Организационные методы радиационной защиты на АЭС. Контроль допуска

- Право выдачи дозиметрических допусков предоставляется руководителям, заместителям руководителей, а также инженерно-техническим работникам структурных подразделений АЭС, прошедшим проверку знаний, допущенным к самостоятельной работе и включенным в список лиц, имеющих право выдачи допусков (нарядов).
- Инженерно-техническим работникам подразделений предоставляется право выдачи допусков на проведение только тех работ, при выполнении которых требуется установление разрешенной индивидуальной дозы облучения не более 1 мЗв.
- Допуски на проведение работ, при выполнении которых требуется установление индивидуальной дозы облучения более 1 мЗв, выдаются руководителями АЭС и руководителями подразделений АЭС или их заместителями.

Организационные методы радиационной защиты на АЭС. Контроль допуска

- Небольшие по объему работы, не требующие подготовки рабочего места (снятие показаний с приборов, осмотр оборудования, производство переключений, выполнение измерений, отбор проб и т.д.), при выполнении которых индивидуальные дозы облучения **не превышают 0,2 мЗв**, выполняются **по распоряжениям**.
- Распоряжения имеют разовый характер и действуют в течение только одной рабочей смены.
- Для работ, при выполнении которых максимальная индивидуальная эффективная доза может **превысить 15 мЗв**, программа обеспечения радиационной безопасности дополнительно должна быть согласована с эксплуатирующей организацией (в РФ – концерн Росэнергоатом, в РБ – РУП Белорусская АЭС)

Зонирование территории

Санитарно-защитная зона

- Одним из барьеров безопасности АЭС является санитарно-защитная зона
- **Санитарно-защитная зона** — территория вокруг АЭС, на которой уровень облучения людей в условиях нормальной эксплуатации данного источника может превысить установленный предел дозы облучения для населения.
- В санитарно-защитной зоне запрещается постоянное и временное проживание людей, вводится режим ограничения хозяйственной деятельности и проводится радиационный контроль.
- Часто СЗЗ составляет 3 км

Зона наблюдения

- **Зона наблюдения (ЗН)**- территория, на которой возможно влияние радиоактивных выбросов и сбросов радиационного объекта, в результате чего облучение проживающего на ней населения может достигнуть установленного предела допустимой дозы или допустимой мощности дозы.
- В ЗН проводится радиационный контроль, могут вводиться определенные ограничения на хозяйственную деятельность.
- При возникновении проектной радиационной аварии может потребоваться проведение мероприятий по защите населения.
- Размеры ЗН устанавливаются с учетом величины и площади возможного распространения радиоактивных выбросов и сбросов при нормальной эксплуатации объекта и при радиационной аварии.
- Внутренняя граница зоны всегда совпадает с внешней границей санитарно-защитной зоны. Радиус зоны наблюдения не должен превышать 30 км

Радиационно- гигиенические средства

Средства индивидуальной защиты (СИЗ)

- При входе в зону контролируемого доступа АЭС персонал в санитарном пропускнике полностью переодевается в спецодежду.
- В комплект повседневной спецодежды персонала для работы в ЗКД входит:
 - комбинезон или костюм,
 - спецбелье,
 - шапочка хлопчатобумажная (или косынка при длинных волосах),
 - носки,
 - легкая обувь или ботинки,
 - полотенце и носовые платки разового пользования (на одну смену).

Дополнительные СИЗ

- Набор дополнительных средств индивидуальной защиты (СИЗ) для защиты от попадания радиоактивных веществ на кожу или внутрь организма (определяется начальником смены или дозиметристом):
 - пластиковые полукombineзон,
 - полухалат и фартук,
 - нарукавники,
 - бахилы (типа сапог),
 - чулки и следы
 - резиновые перчатки.



Рис. 4.9 Полукомбинезон

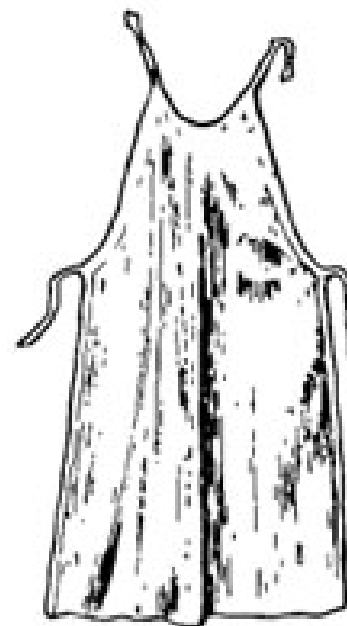


Рис. 4.10. Пластиковый фартук

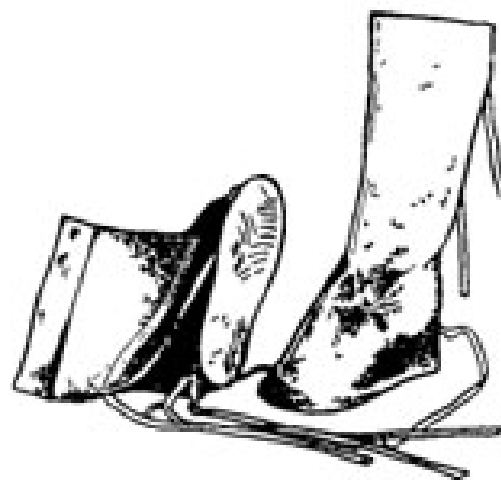


Рис 4.11. Пластиковые бахилы

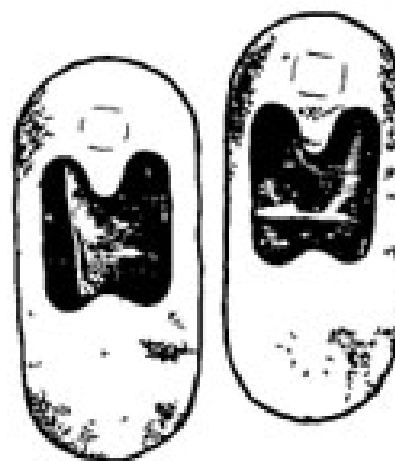


Рис. 4.12. Пластиковые следы

Средства индивидуальной защиты (СИЗ)

- Пленочная спецодежда изготовлена из поливинилхлоридного (ПВХ) пластика, обладающего химической стойкостью к кислотам и щелочам, морозостойкостью, хорошо дезактивируется моющими средствами.
- Эту одежду надевают поверх повседневной спецодежды. Используют ее, как правило, при дезактивации полов и оборудования (без вскрытия последнего), сортировке и стирке спецодежды, отборе и обработке жидких и сыпучих радиоактивных сред.
- Под резиновые перчатки, при длительной работе в них, надевают, как правило, хлопчатобумажные перчатки.

Средства индивидуальной защиты (СИЗ)

Существуют также средства индивидуальной защиты глаз, органов дыхания и комбинированные.

- К **средствам защиты глаз** относятся очки и щитки-экраны из оргстекла, применяемые при работах на оборудовании с интенсивным бета-излучением.
- **Средства защиты органов дыхания** обеспечивают защиту от попадания радионуклидов внутрь организма. Они подразделяются на фильтрующие и изолирующие.
 - К фильтрующим относятся **респиратор и противогазы**, в которых внешний вдыхаемый воздух проходит очистку на специальных фильтрах.
 - В изолирующих СИЗ обеспечивается **подача чистого воздуха в зону дыхания по шлангам (шланговые СИЗ)** или **от автономных кислородных приборов (автономные СИЗ)**.

Фильтрующие СИЗ органов дыхания



Респиратор «Лепесток»



противогаз

Шланговые СИЗ органов дыхания

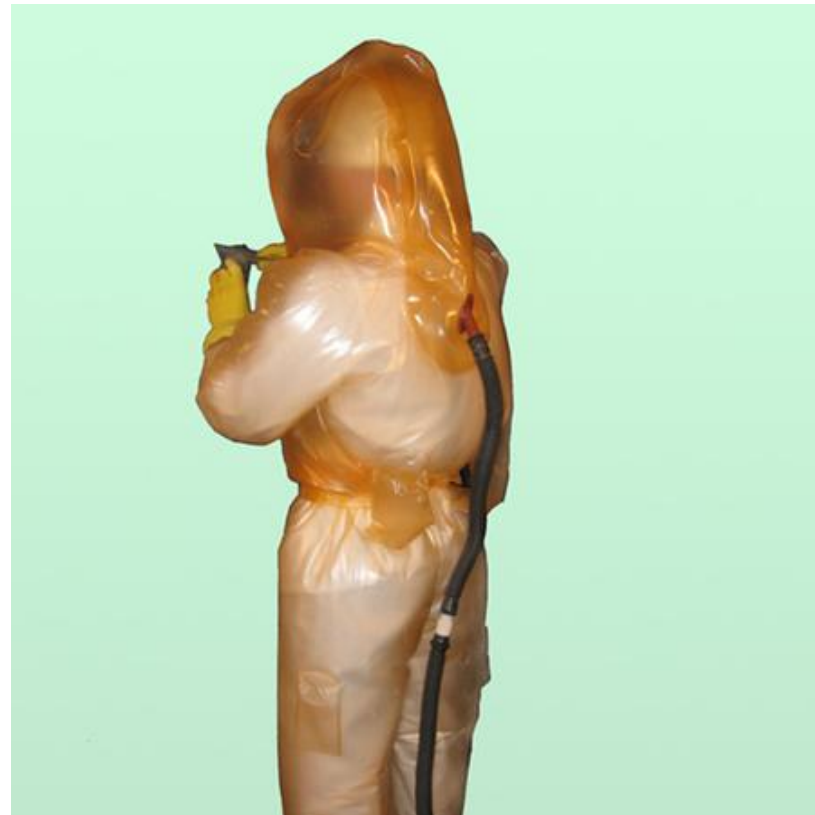


ПНЕВМОМАСКА

Шланговые СИЗ органов дыхания



пневмокуртка



пневмокостюм

Защитный костюм



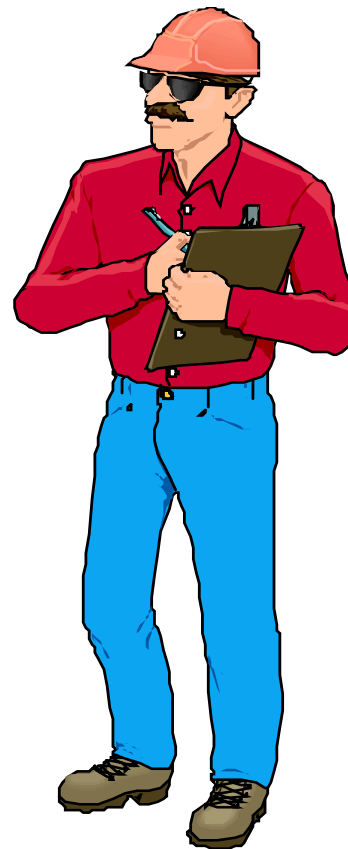
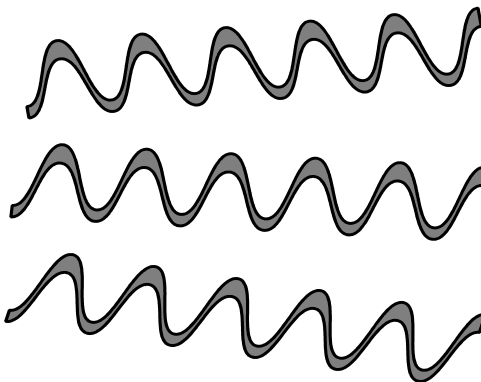
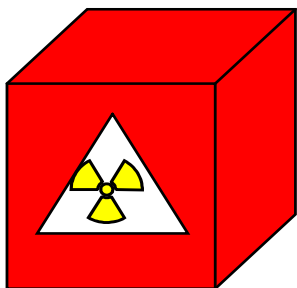
Физические методы и технические средства радиационной защиты

Физические методы радиационной защиты

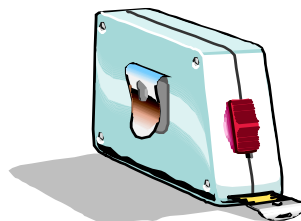
- Защитные мероприятия, позволяющие обеспечить условия радиационной безопасности при применении закрытых источников, основаны на знании законов распространения ионизирующих излучений и характера их взаимодействия с веществом.
- Главные из них:
 - Доза внешнего облучения пропорциональна интенсивности излучения и времени действия.
 - Интенсивность излучения от точечного источника пропорциональна количеству квантов или частиц, возникающих в них в единицу времени, и обратно пропорционально квадрату расстояния.
 - Интенсивность излучения может быть уменьшена с помощью экранов.

Факторы влияющие на дозу

(Выход $\mu\text{Зв/ч}$)



Экран



Расстояние



Время

Физические методы радиационной защиты

- Из этих закономерностей вытекают основные принципы обеспечения радиационной безопасности:
- защита количеством - уменьшение мощности источников до минимальных величин;
- защита временем - сокращение времени работы с источниками;
- защита расстоянием - увеличение расстояния от источника до работающих
- защита экранами - экранирование источников излучения материалами, поглощающими ионизирующие излучения.

Защита количеством

- - подразумевает проведение **работы с минимальными количествами радиоактивных веществ**, т.е. пропорционально сокращает мощность излучения.

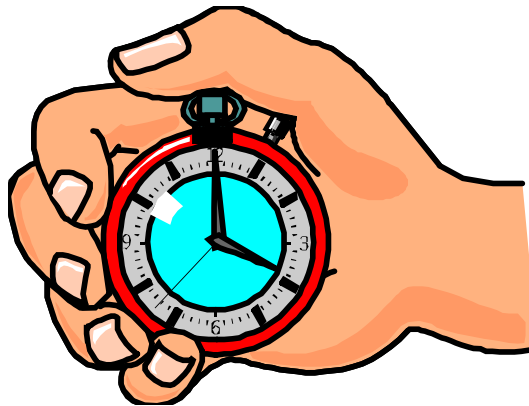
Мощность дозы ~ активность

- Однако требования технологического процесса часто не позволяют сократить количество радиоактивного вещества в источнике, что ограничивает на практике применение этого метода защиты.

Защита временем

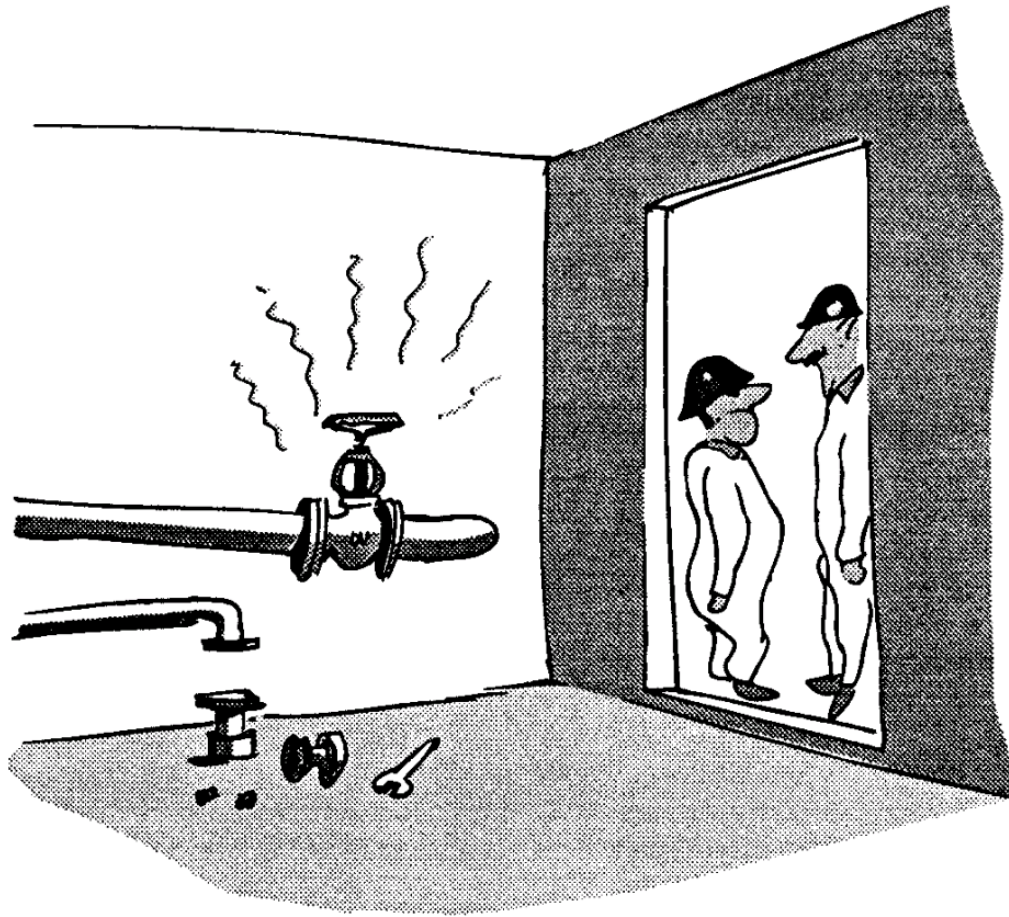
- основана на сокращении времени работы с источником, что позволяет уменьшить дозы облучения персонала. Этот принцип особенно часто применяется при непосредственной работе персонала с малыми активностями.

Доза ~ Время



Доза = Мощность дозы x Время

Защита временем



Если необходим
перерыв в работе
(напр. на отдых), то
работник должен
выйти из зоны
воздействия ИИ в
место, где уровень
излучения низок,
насколько возможно

Защита расстоянием

- достаточно простой и надежный способ защиты, связан со способностью излучения терять свою энергию во взаимодействиях с веществом: **чем больше расстояние от источника, тем больше процессов взаимодействия излучения с атомами и молекулами, что в конечном итоге приводит к снижению дозы облучения персонала.**

Свойство всех источников – мощность дозы уменьшается с расстоянием

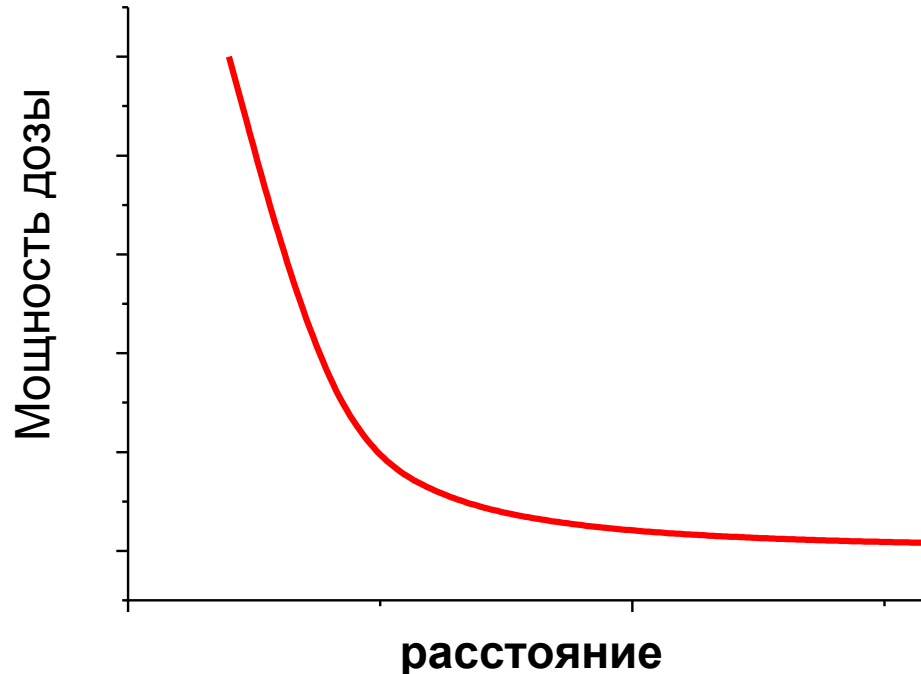
Защита расстоянием.

Точечные источники

Для точечных источников выполняется

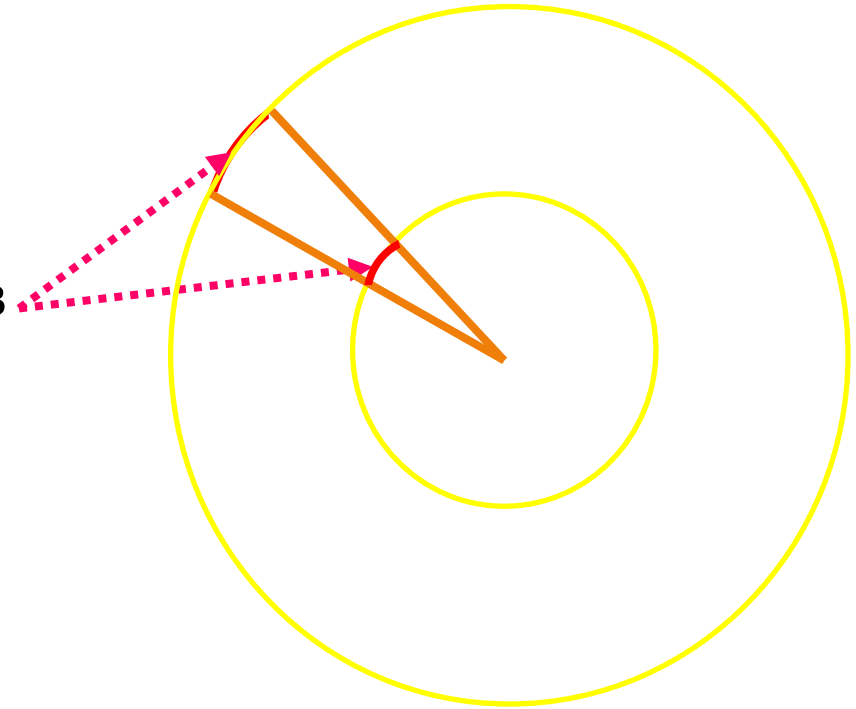
закон обратных квадратов:

$$\text{Мощность дозы} \sim 1/(\text{расстояние})^2$$



Закон обратных квадратов для точечного источника

Одно и то же число фотонов,
ударяющее о поверхности двух
сфер, но “плотность” или
“интенсивность” больше для
меньшей сферы (больше фотонов
на квадратный см)



**Т.о. интенсивность излучения в
данной точке пространства
обратно пропорционально
квадрату расстояния от источника**

$$\frac{\dot{D}_2}{\dot{D}_1} = \left\{ \frac{\phi_2}{\phi_1} = \frac{\Phi_2}{\Phi_1} = \frac{N}{4\pi r_2^2} \cdot \frac{4\pi r_1^2}{N} \right\} = \frac{r_1^2}{r_2^2}$$

Защита расстоянием.

Линейные и объемные источники

Однако, большинство источников излучения - не точечные. Очень много линейных источников, имеются также крупные объемные источники типа радиоактивных емкостей и теплообменников.

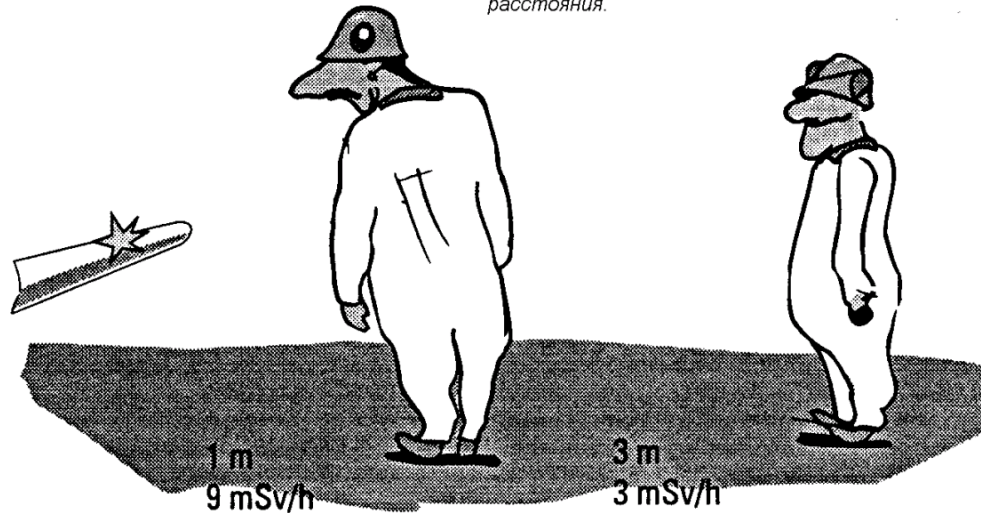


Для линейных источников и крупных источников, мощность дозы уменьшается пропорционально расстоянию

$$\text{Мощность дозы} \sim 1/(\text{расстояние})$$

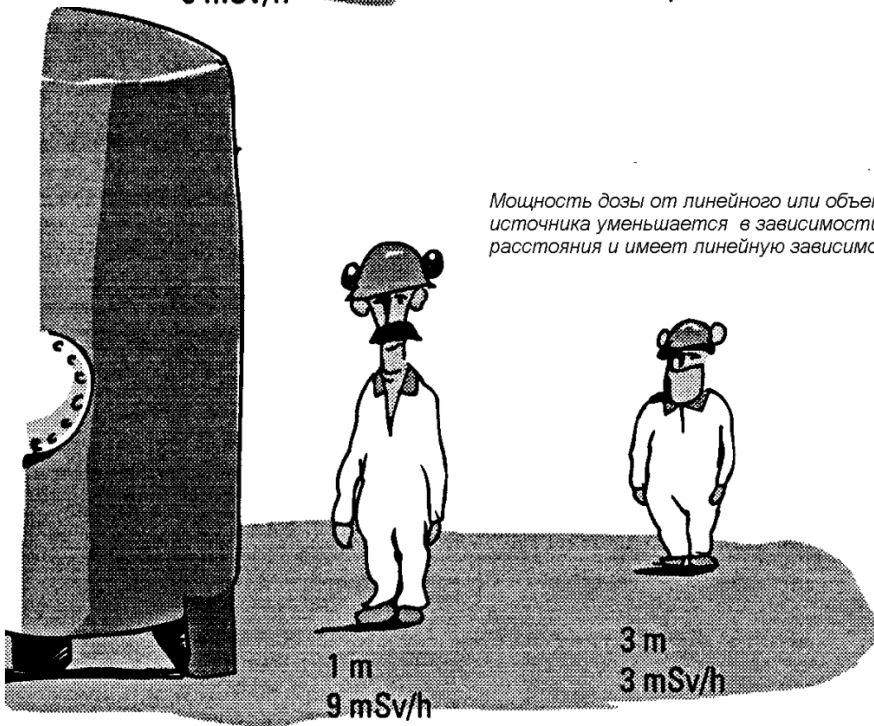
Защита расстоянием

Излучение от точечного источника уменьшается пропорционально квадрату расстояния.



Точечный источник:
 $D \sim 1/r^2$

Мощность дозы от линейного или объемного источника уменьшается в зависимости от расстояния и имеет линейную зависимость

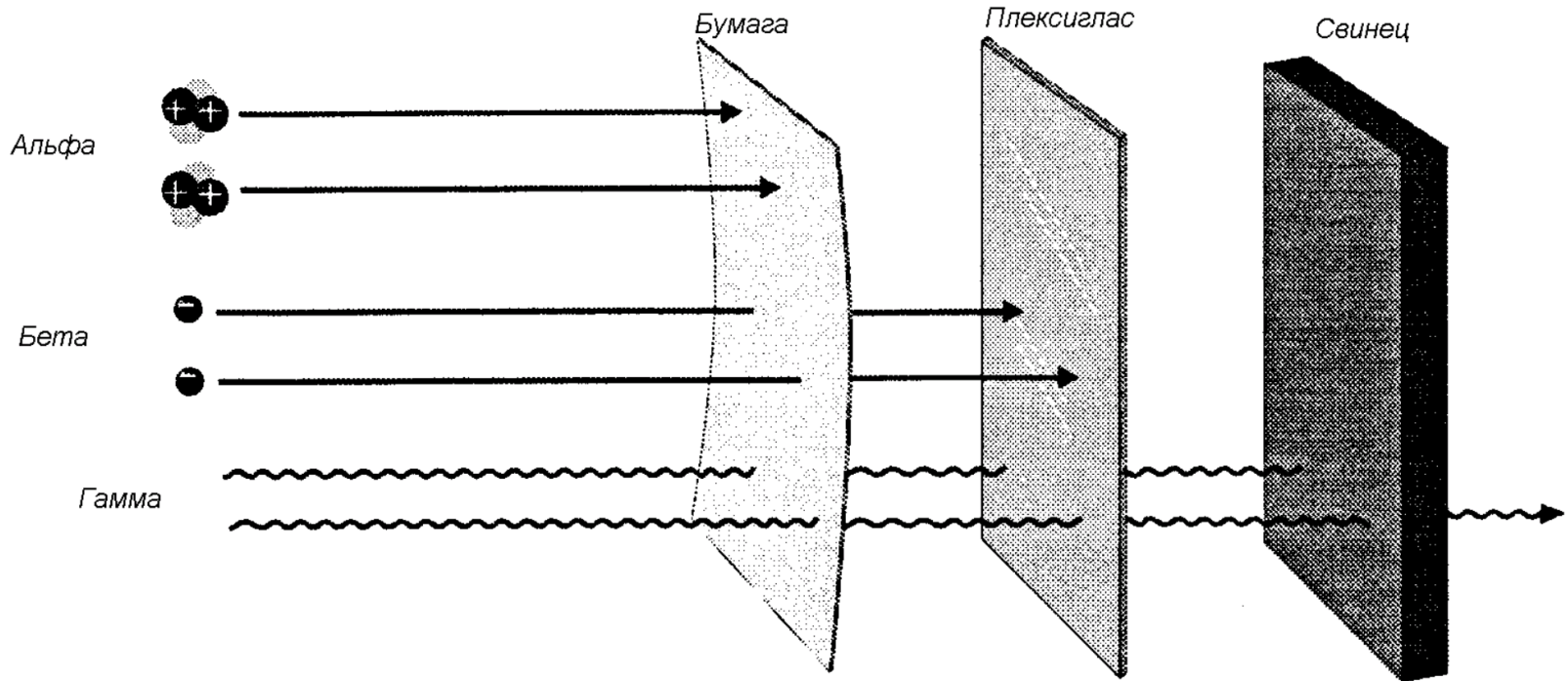


Линейный, объемный источники:
 $D \sim 1/r$

Защита экраном

- Защита временем, защита количеством радионуклида и защита расстоянием не всегда позволяет снизить дозу до предельно допустимого уровня, так как в производственных условиях нельзя безгранично уменьшать активность радиоактивных веществ, требующихся для работы, продолжительность работы или увеличивать расстояние до источника.
- В этих случаях для защиты работающих используют специальные защитные экраны (защитные стенки, боксы, укрытия, сейфы, контейнеры и прочее оборудование)
- **Защита экранами наиболее эффективный способ защиты от излучений. В зависимости от вида ионизирующих излучений для изготовления экранов применяют различные материалы, а их толщина определяется мощностью излучения.**

Защита экраном



- Лучшими экранами для защиты от рентгеновского и гамма-излучений являются материалы с большим Z и высокой плотностью, например свинец, позволяющий добиться нужного эффекта по кратности ослабления при наименьшей толщине экрана.
- Более дешевые экраны делаются из просвинцованного стекла, железа, бетона, железобетона и воды.

Факторы, определяющие выбор материала для защиты (экрана)

- **Защитные, механические и химические свойства материалов, их масса и объем, а также стоимость.**
 - Под защитными свойствами материалов понимают их замедляющую и поглощающую способность, способность к активации под действием ионизирующего излучения;
 - под механическими — механическую прочность, способность сохранять размеры;
 - под химическими — стойкость к ионизирующему излучению, к химическим реагентам, огнестойкость, нетоксичность.

Поглотители нейтронов

- **Вещества, ядра атомов которых обладают большим сечением поглощения (как правило, на тепловых нейтронах)**
 - **бор и материалы с добавками бора:**
борные стали, бораль, борный графит, карбид бора, борированные вода и бетон, боритовая штукатурка.
 - **кадмий** и его соединения

Вода

- Наиболее распространенный и доступный материал, который используется для замедления быстрых нейтронов и как защитный материал.
- На атомах водорода нейтроны эффективно замедляются и превращаются в тепловые. При поглощении тепловых нейтронов в воде возникает захватное γ -излучение с энергией $E_\gamma = 2,23$ МэВ.
- Применение борированной воды резко снижает захватное γ -излучение. В борированной воде атомы бора легко поглощают тепловые нейтроны, а захватное γ -излучение обладает меньшей энергией ($E_\gamma = 0,5$ МэВ).

Бетон

- Является хорошим замедлителем и поглотителем быстрых нейтронов, интенсивно поглощает и γ -излучение.
- В состав бетона входят цемент, песок и гравий. Цемент в основном состоит из окислов различных элементов (Ca, Si, Al, Fe), содержит легкие элементы.
- Для получения бетона с наибольшей плотностью в него добавляют руды-наполнители
- Конструкция бетонной защиты может быть монолитной (например, для больших реакторов) или состоять из отдельных блоков. Как правило, бетон применяют в стационарных защитных устройствах.

Свинец

- Является одним из наиболее распространенных материалов для защиты от γ -излучения. При защите от нейтронов используется, в основном, для защиты от захватного γ -излучения в сочетании с другими материалами.
- Его используют в качестве защитного материала при изготовлении контейнеров, блочных защитных экранов, коллиматоров и защитных устройств, когда необходима их компактность и малая масса.
- К недостаткам свинца как защитного материала следует отнести его малую механическую прочность и низкую температуру плавления ($t_{пл}=327\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Железо, сталь различных сортов

- **Являются основными материалами для изготовления корпусов реакторов, различных коммуникаций, арматуры для защиты из других материалов.**
- **Как защита от нейтронного излучения сталь более эффективна, чем свинец.**
- **К недостаткам железа следует отнести его способность активироваться под действием тепловых нейтронов с образованием радионуклида ^{59}Fe , излучающего γ -кванты с энергиями 1,1 и 1,29 МэВ.**

Железо, сталь различных сортов

- Для снижения захватного излучения в сталь вводят добавки бора (борные стали).
- Для снижения наведенной γ -активности при проектировании защиты используют сталь с наименьшим содержанием в ней марганца, тантала, кобальта и других примесей, способных легко активироваться под действием тепловых нейтронов.
- Из стали изготавливают боксы, укрытия, шкафы, контейнеры и другое оборудование для защиты от γ -излучения.

Кадмий

- Хорошо поглощает нейтроны с энергией меньше 0,5 эВ, но при этом возникает захватное γ -излучение с энергией γ -квантов до 7,5 МэВ.
- Это делает его малоприменимым для полновесной защиты от тепловых нейтронов несмотря на то, что листовой кадмий толщиной 1 мм снижает плотность потока тепловых нейтронов примерно в 10^9 раз.
- Кадмий не обладает достаточно хорошими механическими свойствами. Температура плавления $t_{пл}=321\text{ }^{\circ}\text{C}$, что также ограничивает его применение.
- Чаще применяется сплав кадмия со свинцом, обладающий лучшими механическими свойствами и неплохими защитными свойствами от нейтронного и γ -излучения.

Органические соединения

- Полиэтилен, пластмасса, фторопласты. Они содержат в своем составе большое количество водорода и поэтому хорошо замедляют быстрые нейтроны.
- Органические материалы хорошо обрабатываются механически. Защитные устройства из них можно отливать любой формы.
- В качестве защитных органические материалы можно использовать в условиях сравнительно невысоких температур, так как при высоких температурах они размягчаются и изменяют свои размеры.
- Для полиэтилена температура размягчения около 115 °С. Для уменьшения захватного γ -излучения в органические материалы добавляют различные соединения бора
- (карбид бора, борную кислоту и т. п.).

Защита от нейтронов

- При выборе защиты от нейтронов необходимо учитывать, что процесс поглощения эффективен для тепловых, медленных и резонансных нейтронов, поэтому **быстрые нейтроны должны быть предварительно замедлены**.
- **Средняя потеря энергии при упругом рассеянии максимальна на легких ядрах (например, водороде) и минимальна на тяжелых.** Вероятность потери энергии при неупругом рассеянии возрастает на тяжелых ядрах и с увеличением энергии нейтрона.
- Тепловые нейтроны диффундируют через защиту до тех пор, пока не будут захвачены или не выйдут за ее пределы, поэтому **важно обеспечить быстрое поглощение тепловых и медленных нейтронов выбором наиболее эффективных поглотителей.** После захвата тепловых нейтронов почти всегда возникает вторичное гамма излучение, которое необходимо ослабить.

Защита от нейтронов

Таким образом, защитные свойства материалов от нейтронов определяются их замедляющей и поглощающей способностью, степенью активации.

Защита должна иметь в своем составе:

- **водород или другое легкое вещество** для замедления быстрых и промежуточных нейтронов при упругом рассеянии. К таким материалам относятся **графит, а также водородсодержащие вещества (легкая и тяжелая вода, пластмассы, полиэтилен, парафин).**
- **тяжелые элементы** с большой атомной массой для замедления быстрых нейтронов в процессе неупругого рассеяния и ослабления от захватного гамма излучения
- **элементы с высоким эффективным сечением поглощения тепловых нейтронов (соединения с бором - борная сталь, бораль, борный графит, карбид бора, а также кадмий, бетон)**

Биологическая защита ядерного реактора

Биологическая защита

Потоки нейтронов и γ -излучения на выходе из активной зоны превосходят предельно допустимые в миллионы и миллиарды раз. Для снижения доз нейтронного и γ -излучений до предельно допустимого значения реакторы окружаются биологической защитой.

- Биологическая защита (БЗ) – комплекс конструкций и материалов, окружающих ядерный реактор и его узлы, предназначенный для ослабления ионизирующего излучения до биологически безопасного уровня при нормальной эксплуатации, нарушениях нормальной эксплуатации, включая проектные аварии.
- На АЭС в качестве материала для биологической защиты обычно используется бетон, металлические конструкции и вода.

Сплошная и раздельная БЗ

- В зависимости от назначения и типа реактора защита может быть сплошной и раздельной (при проектировании новых АЭС раздельной защите отдают предпочтение)
- При сплошной защите реактор и его система охлаждения (первый контур, парогенератор, циркуляционный насос и др.) окружены со всех сторон.
- При раздельной защите реактор и система охлаждения имеют самостоятельную защиту, т. е. они находятся в разных помещениях. Это позволяет обслуживать их во время остановки реактора.

Первичная БЗ

Раздельную защиту подразделяют на **первичную** (защита активной зоны реактора) и **вторичную** (защита системы охлаждения реактора).

Первичная защита предназначена ослабить плотность потока нейтронов из активной зоны реактора, чтобы:

- не допустить активации теплоносителя второго контура и значительной наведенной активности в конструкциях и оборудовании.
- свести к минимуму γ -излучение, возникающее при захвате нейтронов вторичной защитой.
- снизить остаточную активность активной зоны остановленного реактора, чтобы был обеспечен доступ к оборудованию, расположенному между первичной и вторичной защитами.

Вторичная БЗ

Вторичная защита предназначена для:

- **снижения плотности потока γ - и нейтронного излучения до предельно допустимого значения**
- **предотвращения прострела излучения через ослабленные места первичной защиты (например, на выходе трубопроводов из реактора)**
- **для создания барьера, чтобы загрязненный воздух из реакторного зала не попадал в помещения, где находятся люди.**

При проектировании защиты реактора следует всегда учитывать теневую защиту — самоэкранирующие свойства компонентов (парогенератора, пульта управления, коридоров и др.), которые расположены вблизи реактора. Следовательно, некоторые участки обслуживаемых помещений защищаются естественными экранами и находятся как бы в тени защиты.

Внутрикорпусная и внекорпусная БЗ

- Конструкция биологической защиты зависит от типа реактора.
- Биологической защитой для реакторов типа ВВЭР является, прежде всего, **сам металлический корпус толщиной 15 — 20 см , закрытый сверху крышкой.**
- Защиту реактора можно разделить на внутрикорпусную и внекорпусную:
 - **Внутрикорпусная** выполняет функции как обычной биологической защиты, так и радиационной защиты самого корпуса, т.е. защиты, снижающей тепловой поток и плотность потока излучений на корпус до допустимых значений. Представляет собой ЖВЗ (железо-водную защиту толщиной 35 — 50 см), т.е. чередующиеся слои стали и воды. Вниз от активной зоны радиационная защита — вода или ЖВЗ, вверх — крышка над слоем воды в активной зоне
 - **Внекорпусная** защита дополнительно ослабляет плотность потока нейтронов и γ -излучения до значений, определяемых допустимой мощностью дозы за защитой.

Внекорпусная БЗ

- Внекорпусная БЗ выполняется из бетона или из воды и бетона.
- Например, в радиальном направлении на АЭС с ВВЭР-440 (в более ранних вариантах) размещали стальной кольцевой бак, заполненный водой (95 см воды и около 2,5 см стали), а за ним слой бетона (300 см). На более поздних конструкциях и на АЭС с ВВЭР-1000 предусмотрена сухая боковая защита: вместо бака с водой слой серпентинитового бетона, охлаждаемый специальным технологическим контуром.
- Серпентинитовый наполнитель ($3\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ с примесями Al_2O_3 , FeO , Fe_2O_3) усиливает поглощательную способность бетона
- Вверх от активной зоны в защите применяют различные конструкции и материалы, например защитный бетонный или металлический колпак.
- Вниз от активной зоны — защита из бетона.

Биологическая защита реактора

- При выборе конструкционных материалов для изготовления реакторной установки конструкторы избегают материалов, в результате активации которых образуются радионуклиды с большим периодом полураспада, испускающие фотоны высоких энергий.
- На АЭС с реакторами любого типа, стены и перекрытия помещений, стены бассейнов выдержки, шахт ревизии оборудования выполняются, как правило, из железобетонных конструкции. Металлическими конструкциями биозащиты являются защитные двери, люки, плиты, закладные детали и т.п.
- Вода в качестве материала биозащиты применяется также в бассейнах выдержки и перегрузки и в шахтах ревизии оборудования. Работы на реакторах по перегрузке ядерного топлива и ревизии внутрикорпусных устройств выполняются под водой с применением манипуляторов, контейнеров, телевизионной техники, дистанционных приспособлений и инструмента.

Проектирование стационарной биологической защиты

- Проектирование стационарной биологической защиты (БЗ) от внешнего облучения персонала при работе АЭС на мощности необходимо проводить с коэффициентом запаса по годовой эффективной дозе равным 2.
- Проектирование стационарной БЗ должно выполняться с учетом назначения помещений, в зависимости от длительности облучения. При расчете биологической защиты с коэффициентом запаса, равным 2, проектная мощность эквивалентной дозы излучения $\dot{H}$ на поверхности защиты определяется по формуле:

$$\dot{H} = \frac{500 \cdot СПД(мЗв)}{t} \quad (\text{мкЗв/ч})$$

- где $СПД$ – среднегодовой предел дозы для персонала в мЗв – 20 мЗв в год; t – продолжительность облучения, часов в год.

Регламентируемые уровни облучения при проектировании защиты от внешнего излучения

Категория облучаемых лиц	Назначение помещений и территорий	Продолжительность облучения, ч/год	Проектная мощность эффект. дозы внешнего облучения, мкЗв/ч
Персонал	Помещения постоянного пребывания персонала	1700	6,0
	Помещения временного пребывания персонала	850	12
Население	Любые другие помещения и территории	8800	0,06