

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
ЗАЩИТЫ НАСЕЛЕНИЯ И
ТЕРРИТОРИЙ ПРИ АВАРИЯХ
НА РАДИАЦИОННО - И
ХИМИЧЕСКИ ОПАСНЫХ
ОБЪЕКТАХ**

Безопасность в ЧС

Безопасность в ЧС рассматривают как состояние защищенности человека (населения), объектов народного хозяйства и окружающей природной среды от опасностей в ЧС. Как и при рассмотрении опасности возникает необходимость оценивания безопасности. Защищенность определенным образом влияет на качество жизни человека. Для человека обобщенным показателем качества жизни может служить ее продолжительность. Тогда количественным показателем уровня безопасности может быть средняя ожидаемая продолжительность жизни.

Оценивание защищенности природной среды оказывается еще более сложным процессом, так как экосистемы в широких пределах изменяют свои параметры в ответ на внешние воздействия, не утрачивая способности к устойчивому существованию. В некоторых странах защищенность природной среды определяется близостью экологических нагрузок к пропускной способности экологического пространства.

Защищенность человека и окружающей среды

среды

В настоящее время защищенность человека и окружающей среды от опасностей оценивается не по показателям качества жизни, а по предельным величинам, характеризующим надежность и эффективность технических систем безопасности. Нормируются и контролируются уровни негативных воздействий, например, концентрации и выбросы в окружающую среду токсических и радиоактивных веществ. Поэтому процесс повышения безопасности носит чисто инженерный характер и основывается на узком подходе к учету экологических последствий развития рассматриваемого сектора экономики. В соответствии с этим безопасность принято классифицировать:

- по видам (промышленная безопасность, радиационная, химическая, пожарная, биологическая, сейсмическая, экологическая);
- по объектам (безопасность населения, объекта экономики, окружающей природной среды);
- по основным источникам (опасные природные явления, аварии и техногенные катастрофы).

Несмотря на недостатки такого технократического подхода к оценке защищенности человека, он в настоящее время является единственно приемлемым, позволяющим контролировать и снижать опасность возникновения чрезвычайных ситуаций.

Классификация ЧС по поражающим воздействиям

Для практических нужд (планирование мероприятий защиты, обучение населения) наиболее важной является классификация ЧС по поражающим воздействиям. Она раскрывает сущность процессов и явлений при ЧС, специфику мер защиты и ликвидации последствий.

Классификация ЧС по масштабам распространения чрезвычайных событий и тяжести последствий является важной для структур управления, министерств, ведомств при планировании выделения средств на ликвидацию последствий чрезвычайных ситуаций. Эта классификация введена постановлением Правительства Российской Федерации “О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера” от 13 сентября 1996 г. № 1094.

Ликвидация чрезвычайных ситуаций производится силами и средствами: локальной – объекта, местной – органов местного самоуправления, территориальной, региональной, федеральной – субъекта РФ, трансграничной – правительства РФ. При недостаточности собственных сил и средств для ликвидации локальной, местной, территориальной, региональной и федеральной ЧС соответствующие комиссии по ЧС могут обращаться за помощью к вышестоящим комиссиям по ЧС.

К ликвидации ЧС могут привлекаться ВС РФ, войска ГО РФ, другие войска и воинские формирования.

Классификация чрезвычайных ситуаций

Вид ЧС	Показатели, характеризующие ЧС			
	Численность пострадавших	Количество нарушения условий жизнедеятельности	Размер материального ущерба на день возникновения ЧС, тыс. мрот*	Размер зоны ЧС
	Л и б о			
Локальная	Не более 10	Не более 100	Не более 1	Объект производственного назначения
Местная	10...50	100...300	1...5	Населенный пункт
Территориальная	50...500	300...500	5...500	Субъект РФ
Региональная	50...500	500...1000	500...5000	2 субъекта РФ
Федеральная	Свыше 500	Свыше 1000	Свыше 5000	Более 2 субъектов РФ
Трансграничная	Чрезвычайная ситуация, поражающие факторы которой выходят за пределы РФ, либо чрезвычайная ситуация, которая произошла за рубежом, но затрагивает территорию РФ			

Прогнозирование обстановки

Прогнозирование обстановки при чрезвычайных ситуациях проводится для заблаговременного принятия мер по предупреждению чрезвычайных ситуаций, смягчению их последствий, определению сил и средств, необходимых для ликвидации последствий аварий, катастроф и стихийных бедствий.

Прогнозирование обстановки – это определение характеристик ожидаемой обстановки расчетным путем с использованием принятых математических моделей.

Прогнозирование обстановки включает выявление обстановки и ее оценку. Иногда под прогнозированием обстановки понимают только получение данных о зонах ЧС – т. е. выявление обстановки, в этом случае говорят о прогнозировании и оценке обстановки.

Под выявлением обстановки понимается:

- сбор и обработка исходных данных о чрезвычайных ситуациях;
- определение размеров зон чрезвычайных ситуаций;
- отображение полученных результатов на картах, схемах (планах), ввод в электронные средства обработки информации.

Оценка обстановки

Оценка обстановки проводится с целью определения влияния поражающих факторов ЧС на жизнедеятельность населения, работу объектов экономики и обоснования мер защиты. Оценка обстановки включает:

- определение степени разрушения зданий и сооружений, объектов инфраструктуры, потерь среди персонала и населения, а также влияния обстановки на действия сил по ликвидации последствий ЧС;
- анализ полученных результатов и выбор наиболее целесообразных вариантов действий, которые обеспечивают минимальные потери (исключают потери).

Как правило, выявление и оценка обстановки осуществляется в три этапа:

- заблаговременное прогнозирование;
- предварительное (оперативное) прогнозирование;
- выявление и оценка фактической обстановки.

Заблаговременное прогнозирование

Заблаговременное прогнозирование осуществляется до возникновения ЧС. Оно основывается на использовании возможных моделей возникновения аварийных ситуаций и преобладающих среднегодовых метеоусловий.

Данные для прогнозирования получаются от соответствующих министерств, ведомств и органов гидрометеорологической службы.

Результаты заблаговременного прогноза используются при планировании мероприятий защиты населения и территорий и ликвидации последствий ЧС: составляются планы действий в различных аварийных ситуациях, определяются необходимые людские и материальные ресурсы, производится обучение персонала, нештатных формирований, накапливаются материальные средства для защиты и ликвидации последствий ЧС. Результаты заблаговременного прогноза периодически или в соответствии с изменяющимися условиями уточняются.

Предварительное прогнозирование

Предварительное прогнозирование осуществляется сразу же после чрезвычайных событий техногенного или природного характера. Данными для прогноза являются фактические сведения об источнике опасности (например, какие емкости с каким АХОВ разгерметизированы, характер их разрушения и т. п.) и реальные метеоусловия. Они поступают от вышестоящих, нижестоящих и взаимодействующих органов управления по делам гражданской обороны и чрезвычайным ситуациям, с объектов экономики, от подчиненных сил разведки, наблюдения и контроля. Чем более конкретными будут эти сведения, тем более точными будут результаты прогноза. Результаты предварительного прогноза используются в целях:

- уточнения задач подразделениям разведки;
- проведения неотложных мероприятий защиты персонала объектов и населения;
- принятия предварительного решения по защите населения и территорий комиссиями по ЧС;
- подготовки сил и средств, привлекаемых для оказания помощи пострадавшим и ликвидации последствий ЧС.

Выявление и оценка фактической обстановки

Выявление и оценка фактической обстановки (по данным разведки) проводится с целью уточнения результатов предварительного прогноза и принятия окончательного решения по защите в ЧС и ликвидации ЧС. Исходными данными для оценки обстановки на этом этапе являются сведения о фактических масштабах чрезвычайного события (разрушенные здания, концентрации АХОВ, уровни радиации и т. д.). Оценка обстановки заканчивается принятием решения по защите персонала (населения) и ликвидации ЧС. Мероприятия защиты и ликвидации ЧС выполняются в соответствии с решением и при необходимости корректируются по обстановке.

Математические модели, используемые при прогнозе

При заблаговременном и предварительном прогнозировании обстановки в ЧС используются математические модели, описывающие одно из возможных поражающих воздействий:

- барическое воздействие (взрывы – образование ударной волны);
- термическое воздействие (пожары – тепловое излучение);
- токсическое воздействие (аварии на химически опасных объектах);
- радиационное воздействие (аварии на радиационно опасных объектах);
- механическое воздействие (осколки, обрушение зданий, сели, оползни);

Эти модели могут быть двух видов: детерминированные и вероятностные. В детерминированных моделях по заданным исходным данным чрезвычайной ситуации рассчитываются параметры негативного воздействия и соответствующие ему степени поражения людей и различных объектов. В действительности же при определенных параметрах негативного воздействия на однотипные объекты последствия воздействия различны из-за наличия индивидуальных особенностей объектов. Вероятностные модели рассматривают поражающий эффект как случайную величину и параметры ее распределения определяют при статистической обработке данных ранее случившихся аварий и катастроф или экспериментов.

Радиационная и ядерная безопасность

Рассмотрение вопросов радиационной безопасности традиционно связывается с понятием ионизирующего излучения – излучения, взаимодействие которого со средой приводит к образованию электрических зарядов различных знаков. Источники этих излучений широко используются в технике, химии, медицине, сельском хозяйстве и других областях.

Источниками ионизирующих излучений являются радионуклиды – атомы, ядра которых нестабильны (со временем распадаются) и ускорители заряженных частиц, к которым относятся, например, всем известные рентгеновские установки.

Существует 2 вида ионизирующих излучений:

корпускулярное, состоящее из частиц с массой покоя, отличной от нуля (альфа- и бета-излучение);

электромагнитное с очень малой длиной волны (гамма-излучение и рентгеновское).

Несколько в стороне от этих видов ионизирующих излучений стоит корпускулярное нейтронное, которое из-за нейтральности частицы не является непосредственно ионизирующим.

Виды излучений

Альфа-излучение представляет собой поток ядер гелия, обладающих большой энергией. Эти ядра имеют массу 4 и заряд +2. Они образуются при радиоактивном распаде ядер или при ядерных реакциях. В настоящее время известно более 120 искусственных и естественных альфа-радиоактивных ядер.

Энергия альфа-частиц не превышает нескольких МэВ. Длина пробега альфа-частиц в воздухе обычно менее 10 см. За счет своей большой массы при взаимодействии с веществом альфа-частицы быстро теряют свою энергию. Это объясняет их низкую проникающую способность и высокую удельную ионизацию: при движении в воздушной среде альфа-частица на 1 см своего пути образует несколько десятков тысяч пар заряженных частиц – ионов.

Бета-излучение представляет собой поток электронов или позитронов, возникающих при радиоактивном распаде. В настоящее время известно около 900 бета-радиоактивных изотопов.

Энергия бета-частиц не превышает нескольких МэВ, длина пробега в воздухе составляет приблизительно 1800 см., а в мягких тканях человеческого тела ~ 2,5 см. Проникающая способность бета-частиц выше, чем альфа-частиц.

Виды излучений

Нейтронное излучение представляет собой поток ядерных частиц, не имеющих электрического заряда. В зависимости от энергии различают медленные нейтроны (с энергией менее 1 кэВ), нейтроны промежуточных энергий (от 1 до 500 кэВ) и быстрые нейтроны (от 500 кэВ до 20 МэВ). При неупругом взаимодействии нейтронов с ядрами атомов среды возникает вторичное излучение, состоящее из заряженных частиц и гамма-квантов. Проникающая способность нейтронов зависит от их энергии, но она существенно выше, чем у альфа- или бета-частиц. Нейтронное излучение обладает высокой проникающей способностью и представляет для человека наибольшую опасность из всех видов корпускулярного излучения. Мощность нейтронного потока измеряется плотностью потока нейтронов.

Гамма-излучение представляет собой электромагнитное излучение с высокой энергией. Оно испускается при ядерных превращениях или взаимодействии частиц. Высокая энергия (0,01 – 3 МэВ) обуславливает большую проникающую способность гамма-излучения. Это излучение обладает меньшей ионизирующей способностью, чем альфа- и бета-излучение.

Рентгеновское излучение

Рентгеновское излучение может быть получено в специальных рентгеновских трубках, в ускорителях частиц, источниках высокого напряжения, в среде, окружающей источник бета-излучения, и др.

Рентгеновское излучение представляет собой один из видов электромагнитного излучения. Энергия его обычно не превышает 1 МэВ. Разделение гамма и рентгеновского излучений по энергиям условно и обычно определяется источником происхождения – ускорительная аппаратура или ядерный распад.

Устройства, в процессе работы которых возникает рентгеновское излучение, носят название генерирующих. Рентгеновское излучение, как и гамма-излучение, обладает малой ионизирующей способностью и большой глубиной проникновения

Ядерная и радиационная безопасности

Поскольку источниками опасностей являются и радионуклиды (радиоактивные атомы) и различные технические средства, принято разделять понятия ядерная и радиационная безопасность. Когда говорится о радиационной безопасности, то речь идет только о защите от излучений любой природы, а ядерная безопасность включает в себя все опасности, связанные с распадом радионуклидов. Ниже приведены наиболее часто встречающиеся определения этих понятий.

Ядерная безопасность

1) система организационно-технических мероприятий на ядерно-опасных объектах в целях максимального снижения и исключения возможностей по возникновению опасных и вредных воздействий на людей и окружающую среду;

2) свойство объектов, содержащих источники ядерной опасности, не допускать их проявления с требуемой вероятностью в течение заданного времени.

Радиационная безопасность

комплекс научно обоснованных мероприятий по обеспечению защиты человека, популяции в целом и объектов окружающей среды от вредного воздействия ионизирующих излучений;

2) система мероприятий, направленных на устранение или ограничение воздействия источников ионизирующего излучения на людей и окружающую среду.

Радиационно опасный объект

Радиационно опасный объект – объект, на котором имеются генерирующие источники излучения, хранят, перерабатывают, используют или транспортируют радиоактивные вещества, при аварии на котором или его разрушении может произойти облучение ионизирующим излучением или радиоактивное загрязнение людей, сельскохозяйственных животных и растений, объектов народного хозяйства, а также окружающей природной среды.

К радиационно опасным объектам относятся:

- предприятия ядерного топливного цикла – атомные станции электрические, теплоснабжения, предприятия подготовки, переработки и утилизации отработанного ядерного топлива (ОЯТ);
- объекты с ядерными энергетическими установками – корабли и космические аппараты;
- исследовательские ядерные реакторы;
- места хранения ядерных боеприпасов;
- объекты хранения делящихся материалов;
- установки технологические, медицинские, в которых имеются источники ионизирующих излучений (ИИ);
- территории и водоемы, загрязненные (по разным причинам) радионуклидами.

Источники ионизирующих излучений.

Генерирующие источники представляют в случае аварии меньшую опасность, чем радионуклидные, поскольку отключение электропитания при аварии автоматически прекращает и генерацию излучения. Тем не менее, нужно иметь в виду, что в ряде случаев (ускорители с большой энергией или ускорители, предназначенные для наработки радионуклидов) прекращение работы генерирующих источников не означает полного отсутствия излучений, поскольку в оборудовании могут остаться наработанные радионуклиды.

В настоящее время наибольшую опасность представляют аварии на многочисленных эксплуатирующихся по всему миру АЭС с реакторами на медленных нейтронах. Работа этих реакторов основана на существовании цепных реакций деления, основанных на захвате нейтрона ядром атома с последующим распадом ядра с испусканием одного или нескольких нейтронов.

Критическая масса

При захвате нейтрона ядром урана-235 нейтрон поглощается. Образовавшееся новое ядро становится возбужденным и расщепляется, происходит деление ядра на два осколка, при этом практически мгновенно (в течение примерно 10 -14 секунд) испускаются 2—3 новых нейтрона. Эти осколки так же нестабильны и являются сильно радиоактивными, т. к. обладают избытком нейтронов. Далее, в продолжение нескольких десятков секунд, эти осколки испускают свои избыточные нейтроны, которые называются запаздывающими. Некоторые нейтроны в ядрах этих осколков переходят в протоны, что приводит к образованию новых изотопов. Нейтроны, которые испускаются в процессе деления ядра, в свою очередь, вызывают расщепление других ядер с выделением дополнительных вторичных нейтронов. Именно получение вторичных нейтронов и позволяет развиваться цепной реакции деления, подобно тому, как выделяемое при горении тепло поддерживает дальнейшее развитие этого горения.

Минимальная масса делящегося вещества, необходимая для начала самоподдерживающейся цепной реакции деления, носит название критической массы. Коэффициент размножения нейтронов в таком количестве вещества больше единицы или равен единице. Размеры, соответствующие критической массе, также называют критическими.

Урановые реакторы

Величина критической массы зависит от свойств вещества (таких, как сечения деления и радиационного захвата), от плотности, количества примесей, формы изделия, а также от окружения. Например, наличие отражателей нейтронов может сильно уменьшить критическую массу.

В ядерной энергетике параметр критической массы является определяющим при конструировании и расчётах самых разнообразных устройств, использующих в своей конструкции различные изотопы или смеси изотопов элементов, способных в определенных условиях к ядерному делению с выделением колоссального количества энергии.. В случае проектирования и строительства атомного реактора, параметры критической массы также ограничивают как минимальные, так и максимальные размеры будущего реактора.

Наиболее распространёнными являются реакторы, использующие уран в качестве топлива. Природный уран состоит из трёх изотопов: U-238 (99,282 %), U-235 (0,712 %) и U-234 (0,006 %). Он не всегда напрямую пригоден как ядерное топливо, особенно если конструкционные материалы и замедлитель интенсивно поглощают нейтроны. Поэтому в обычных энергетических реакторах атомных электростанций в качестве топлива используется обогащённый уран - тот же природный, но с повышенным до нескольких процентов содержанием U-235.

В энергетических реакторах на тепловых нейтронах используют уран с обогащением менее 6 %, а в реакторах на быстрых и промежуточных нейтронах обогащение урана превышает 20 %. Обогащённый уран получают на специальных обогатительных заводах.

Источник энергии на АЭС – реакция деления ядер U-235 под действием медленных нейтронов, ее энергетический выход около 200 МэВ:

Радиоактивный распад

Образующиеся в результате бета-распада ядра находятся в возбужденном состоянии, переход их в основное состояние сопровождается испусканием гамма-излучения (называемого осколочным) с энергией до нескольких мегаэлектронвольт. Схема распада определяет энергию сопутствующего осколочного гамма-излучения.

Радиоактивный распад описывается законом:

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} = N_0 2^{-t/T_{1/2}}, \quad (2.1.1)$$

где N_0 – начальное количество ядер (при $t = 0$); λ – постоянная распада, с^{-1} ; $T_{1/2}$ – период полураспада – время, за которое распадается половина начального количества ядер, с , $T_{1/2} = \ln 2 / \lambda = 0,693 / \lambda$.

Период полураспада различных ядер – продуктов деления урана составляет от единиц секунд до сотен тысяч лет, например, криптон ^{94}Kr – $T_{1/2} = 1,4 \text{ с}$; йод ^{131}I – $T_{1/2} = 8,1 \text{ суток}$; цезий ^{135}Cs – $T_{1/2} = 3 \cdot 10^6 \text{ лет}$.

Схема распада и период полураспада являются характеристиками данного радиоактивного ядра.

Взаимодействие ИИ с веществом

Заряженные частицы, проходя через вещество, вызывают возбуждение и ионизацию атомов и молекул за счет дальнедействующих кулоновских взаимодействий с электронной оболочкой и ядрами атомов. Передача энергии движущейся заряженной частицей электронам и ядрам атомов среды происходит при упругих и неупругих взаимодействиях малыми порциями, постепенно. При таких “столкновениях” отклонение движения заряженной частицы от первоначального направления незначительно.

Потери энергии заряженных частиц на ионизацию и возбуждение атомов среды называют **ионизационными**. Результатом прохождения заряженной частицы через вещество является появление **свободных зарядов** вдоль трека частицы.

Другой вид потерь энергии заряженными частицами при прохождении через вещество – это **радиационные** потери, обусловленные излучением тормозных фотонов. Частицы, отклоняясь в электрическом поле ядра, испытывают ускорение и излучают. Сравнение ионизационных и радиационных потерь энергии для заряженных частиц радиоактивного распада показывает, что последними можно пренебречь.

- **Качественный вывод о проникающей способности** электронов и альфа-частиц:
- – пробег электронов в воздухе составляет метры; в воде, биоткани – около одного сантиметра; в металлах – около миллиметра;
- – пробег альфа-частиц в воздухе составляет сантиметры; в твердых материалах сотые доли миллиметра (10^{-5} м).

Поглощение гамма-излучения

Гамма-излучение взаимодействует с электронной оболочкой или ядром атома. При одном взаимодействии с ядром или электроном оболочки атома гамма-квант может потерять всю или значительную часть своей энергии, направление движения кванта резко меняется – вплоть до рассеяния «назад». Плотность потока гамма-квантов в среде уменьшается по закону Бугера:

$$J(x) = J_0 e^{-\mu x}$$

μ

где μ – линейный коэффициент ослабления гамма-излучения, зависящий от энергии излучения и материала. Это выражение описывает плотность потока гамма-излучения за слоем материала толщиной x в геометрии узкого пучка, т. е. когда регистрируются только прошедшие без взаимодействия кванты и не регистрируются рассеянные. Рассеянное излучение учитывается фактором накопления.

Слой половинного ослабления

При расчете защиты от гамма-излучения удобно пользоваться наглядной характеристикой ослабляющей способности материала – толщиной слоя (или просто «слоем») половинного ослабления .

Слой половинного ослабления уменьшает плотность потока (мощность дозы) в два раза:

Слой защитного материала толщиной x ослабляет гамма-излучение в k раз: $k = \frac{J_0}{J} = e^{\mu x} = 2^{\frac{x}{d_{1/2}}}$

Защита от гамма-излучения

Прохождение гамма излучения через вещество вызывает его ионизацию, т.е. образование электрических зарядов. Если этот фактор достигает значительной величины, он вызывает нарушения в жизнедеятельности биологических структур, а также приводит к сбоям в работе электронных устройств. Таким образом, в местах, где присутствуют источники гамма излучения большой интенсивности, как правило, требуется организация биологической защиты, а если это необходимо, то и защиты электронного оборудования.

Принцип построения защитных барьеров от гамма излучения заключается в выборе подходящего вещества для таких барьеров и определения их толщины для ослабления потока излучения в необходимое число раз.

Следует отметить, что барьеры одинаковой массы независимо от рода вещества обладают одинаковой эффективностью ослабления потока квантов с энергией от одного до нескольких МэВ.

Защита персонала от гамма-излучения

Традиционно организация защиты от гамма-излучения персонала на радиационно-опасных объектах включает следующие мероприятия.

Защиту временем, то есть ограничением времени работы.

Защиту расстоянием (от объекта до источника излучения).

Метод защиты барьером (материалом).

Для эффективной защиты от гамма-излучения используются материалы с большим атомным номером и высокой плотностью. Этим критериям удовлетворяют:

свинец;

бетон;

свинцовое стекло;

сталь.

Из этих материалов наилучшей интенсивностью поглощения гамма-лучей обладает свинец. Применение свинца в качестве защиты против воздействия гамма-излучения ограничивается его низкой температурой плавления.

Поэтому в горячих зонах используют дорогие металлы:

вольфрам;

тантал.

Для изготовления защитной одежды сотрудников, работающих в зоне действия источников излучения или радиоактивного загрязнения используются специальные материалы. Его основу составляет резина, пластик или каучук со специальным наполнителем из свинца и его соединений.

Защита от нейтронов

Вода используется не только как замедлитель нейтронов, но и как защитный материал от нейтронного излучения вследствие высокой плотности атомов водорода. При поглощении тепловых нейтронов ядрами водорода, возникает захватное гамма-излучение с энергией $E = 2,23$ МэВ. Захватное гамма-излучение можно снизить, если применить борированную воду. Тепловые нейтроны поглощаются бором, а захватное излучение имеет энергию $E = 0,5$ МэВ.

Конструктивно водяную защиту выполняют в виде заполненных водой секционных баков из стали или других материалов.

Полиэтилен ($\rho = 0,93$ г/см³, $n_H = 7,92 \cdot 10^{22}$ ядер/см³) - термопластичный полимер ($C_n H_{2n}$), является лучшим замедлителем, чем вода.

Сталь и нейтроны

Под действием тепловых нейтронов железо, являющееся основной составной частью стали, активируется с образованием радионуклида ^{55}Fe ($T_{1/2} = 45,1$ сут.), излучающего фотоны ($E_{\gamma 1} = 1,1$ МэВ; $E_{\gamma 2} = 1,29$ МэВ). При захвате нейтронов атомами железа возникает захватное гамма-излучение ($E_{\gamma} = 7,7$ МэВ). Следует обращать внимание на содержание в стали марганца, тантала и кобальта, так как наведенная гамма-активность определяется в основном содержанием этих элементов. Сталь, подвергающаяся облучению нейтронами высокой плотности, должна содержать не более 0,2% марганца, а тантал и кобальт могут находиться лишь в виде следов. Захватное гамма-излучение и остаточную активность можно в значительной степени уменьшить, если добавить в сталь борное соединение и получить борную сталь. Бор интенсивно поглощает тепловые нейтроны, при этом образуются легко поглощаемое гамма-излучение ($E = 0,5$ МэВ) и бета-частицы. Борная сталь по механическим свойствам хуже конструкционной стали, очень хрупка и трудно поддается механической обработке.