

МИНИСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ДЕЛАМ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ, ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ

ФГБОУ ВО «УРАЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ СЛУЖБЫ»

***УНК Пожаротушения и проведения аварийно-спасательных работ***

Кафедра пожарной, аварийно-спасательной техники и специальных технических средств

**РЕФЕРАТ**

**Материалы для атомной энергетики и их влияние на окружающую среду**

Выполнил:

Студент СЭв-122 К.С. Баскова

Проверил:

К.ф.-м.н., доцент кафедры В.А.Калентьев

Екатеринбург

2022

**Оглавление**

Введение 3

Глава 1. Ядерные материалы 4

1.1 Понятие ядерных материалов и основные вещества 4

1.2 Законодательство 5

Глава 2. Физические процессы в облучаемых материалах 7

Глава 3. Смещение атомов в кристаллической решетке под действием ионизирующего облучения 10

Глава 4. Материалы для хранения радиоактивных отходов 13

Глава 5. Общие требования к материалам атомной энергетики 15

5.1 Требования к материалам, используемые в активной зоне реактора 16

5.2 Требования к материалам замедлителя и отражателя нейтронов 17

5.3 Требования к поглощающим материалам 18

Заключение 21

Список используемых источников 22

# **Введение**

В настоящее время, в связи сростом производства и возрастанием потребностей человечества происходит рост потребляемой энергии. Однако путь беспощадной эксплуатации внутриземных источников энергии неэкологичен. Безусловно, перспективны поиски и разработки новых источников энергии. К ним в первую очередь относится ядерная энергетика. Использование ядерной энергии сдерживается не столько по соображениям надёжности ядерных реакторов, сколько из-за проблемы создания материалов, подходящих для использования в реакторах. Эти материалы должны удовлетворять следующим требованиям:

Стойкость к высоким температурам.

Стойкость к разрушающему воздействию ионизирующего излучения.

Различные виды излучения, воздействуя на твердые тела, вызывают специфические радиационные дефекты. В настоящее время имеются многочисленные доказательства не только образования дефектов, но и изменения их вида, формы, скорости движения в процессе облучения.

# **Глава 1. Ядерные материалы**

# **1.1 Понятие ядерных материалов и основные вещества**

Ядерные материалы – это материалы, содержащие или способные воспроизвести делящиеся (расщепляющиеся) ядерные вещества. Одним из наиболее распространенных общепринятых видов ядерных материалов является ядерное топливо: природное — изотоп урана 235U, вторичное — искусственно получаемое в реакторе — 239Pu или 233U. Ядерное топливо может быть использовано в ядерном реакторе для осуществления цепной реакции деления ядер. Ядерное топливо, как правило, содержит не только изотопы вещества, обеспечивающие поддержание цепной реакции (ядерное горючее), но и те изотопы (так называемые сырьевые вещества), взаимодействие ядер которых с нейтронами приводит к образованию вторичного ядерного горючего. Существует только один вид природного ядерного горючего — 235U. В качестве сырьевых материалов могут использоваться 238U и 232Th для образования 239Pu и 233U — новых горючих, отсутствующих в природе. В общую номенклатуру ядерных материалов атомной энергетики и ядерной техники входят:

обедненный уран — уран, в котором процентное содержание изотопа урана-235 ниже, чем в природном уране;

облученный ядерный материал — ядерный материал, имеющий вследствие облучения нейтронами в ядерном реакторе или в другой ядерной установке мощность эквивалентной дозы излучения более 1 Зв/ч (100 бэр/ч) на расстоянии 1 метра без биологической защиты;

обогащенный уран — уран, в котором процентное содержание изотопа урана-235 выше, чем в природном уране;

отработавшее ядерное топливо-облученное ядерное топливо, дальнейшее использование которого в ядерном реакторе не предусматривается;

природный уран — уран, содержащий около 99,28% изотопа урана-238, около 0,71% изотопа урана-235 и около 0,01 % изотопа урана-234;

радиоактивные отходы — ядерные материалы, дальнейшее использование которых не предусматривается;

слабооблученный ядерный материал — ядерный материал, имеющий вследствие облучения в ядерном реакторе или в другой ядерной установке мощность эквивалентной дозы излучения менее или равную 1 Зв/ч (100 бэр/ч) на расстоянии 1 метра без биологической защиты.

# **1.2 Законодательство**

Учитывая исключительно высокую потенциальную опасность ядерных материалов, их безопасное получение, переработка, хранение, использование, утилизация и захоронение определены целой системой законодательных и НПА:

Федеральным законом от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды»

Федеральным законом от 30.03.1999 № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения»

Федеральным законом от 09.01.1996 № 3-ФЗ «О радиационной безопасности населения»

Федеральным законом от 21.11.1995 № 170-ФЗ «Об использовании атомной энергии»

от 30.12.2001 № 197-ФЗ Трудовым кодексом

от 25.10.2001 № 136-ФЗ Земельным кодексом

от 05.08.2000 № 117-ФЗ Налоговым кодексом

от 28.05.2003 № 61-ФЗ Таможенным кодексом

от 13.06.1996 № 63-ФЗ Уголовным кодексом

Необходимость создания системы государственного учета и контроля ядерных материалов. обусловлена их потенциальной ядерной и радиационной опасностью, а также существенным влиянием, оказываемым на государственную и международную безопасность, экономическое и политическое положение страны. Ядерные материалы подлежат государственному учету и контролю на федеральном и ведомственном уровнях в системе государственного учета и контроля Радиоактивные вещества и радиоактивные отходы — на федеральном, региональном и ведомственном уровнях в системе государственного учета и контроля радиоактивных веществ и радиоактивных отходов для определения наличного количества этих материалов и веществ в местах их нахождения, предотвращения потерь, несанкционированного использования и хищений, предоставления органам государственной власти, органам управления использованием атомной энергии и органам государственного регулирования безопасности информации о наличии и перемещении Ядерные материалы, радиоактивных веществ и радиоактивных отходов, а также об их экспорте и импорте. Порядок организации системы государственного учета и контроля Ядерные материалы и системы государственного учета и контроля радиоактивных веществ и радиоактивных отходов, а также органы, осуществляющие государственный учет и контроль ядерных материалов и государственный учет и контроль радиоактивных веществ и радиоактивных отходов, определяются Правительством РФ.

# **Глава 2. Физические процессы в облучаемых материалах**

Изучая результаты радиационного повреждения в металлах, следует различать первичные и вторичные эффекты, в результате которых в облучённых материалах образуются дефекты, наблюдаемые экспериментально.

Первичным эффектом повреждения кристаллической решётки металлов радиацией следует считать передачу одному из атомов решётки достаточно большой кинетической энергии и одновременную передачу дополнительной энергии системе свободных и связанных электронов.

Возбуждённый атом (атом, получивший дополнительную кинетическую энергию) движется сквозь решётку, расталкивая атомы и, оставляет за собой след – область повреждения, которая состоит из смещённых атомов, окружённых облаком возбуждённых электронов. Таким образом, одним из результатов первичного эффекта взаимодействия ионизирующего излучения с веществом является образование вакантных мест в решётке и междоузельных атомов.

Ко вторичным эффектам облучения, приводящим к наблюдаемым на практике радиационным дефектам определённой конфигурации, следует отнести движение и образование ассоциаций точечных дефектов. Этот процесс зависит от реальной структуры кристаллов (наличия нарушений кристаллической решётки, системы дислокаций, примесей и т. п.) и энергии, переданной системе свободных и связанных электронов.

С этой точки зрения, нет никакой разницы в воздействии на вещество, например, быстрых нейтронов и - излучения. Оба вида излучения воздействуют на весь объём материала, так как проникающая способность нейтронов и - квантов достаточно высока.

В случае нейтронных потоков смещение атомов вызывают сами нейтроны, в случае - излучения – вторичные электроны. Разница в том, что электроны, образованные - квантами, вызывают единичные смещения, а нейтроны – каскады вторичных и более высокого порядка смещений. Расчеты показывают, что нейтрон вызывает на два-три порядка больше точечных дефектов, чем электрон или - квант, рождающий быстрый электрон. Одновременно с генерацией точечных дефектов нейтроны и - кванты передают определённую часть своей энергии электронам кристаллической решётки. Свободная энергия металлической системы повышается, и при этом понижается энергия активации процессов, связанных с перемещением атомов и дефектов. В результате увеличения подвижности атомов и дефектов, а также в зависимости от физических и атомных параметров вещества и некоторых внешних факторов, может образоваться многообразие наблюдаемых методами электронной микроскопии радиационных дефектов: ассоциации вакансий и междоузельных атомов; дискообразные скопления точечных дефектов, захлопывающихся в определённых условиях в петли дислокаций, и многие другие дефекты.

Увеличению подвижности точечных дефектов и атомов может способствовать и перераспределение относительной плотности свободных и локализованных электронов в микрообластях кристалла, возникающие как в результате образования радиационных дефектов, так и вследствие возникновения динамической дополнительной подвижности элементов системы. Как свидетельствуют опыты, значительно увеличивается подвижность атомов в зонах радиационных повреждений, создаваемых быстрыми заряженными частицами, осколками деления, либо ионизированными смещёнными атомами.

Динамика образования определённого сложного радиационного дефекта зависит от параметров подвижности атомов и дефектов в металлическом твёрдом теле в процессе облучения. Немаловажное значение в увеличении подвижности дефектов, вероятно, играет и наведённое излучением электронное возбуждение, так как в области низких температур термодинамика предсказывает чрезвычайно низкие диффузионные характеристики атомов и дефектов, в то время как при облучении даже в области низких температур иногда наблюдаются ассоциации дефектов, которые могут образоваться только в результате диффузионного перемещения атомов либо дефектов.

При достаточно высокой температуре, дефекты претерпевают ряд превращений: взаимно уничтожаются; часть дефектов может выходить на поверхность металла или границы зёрен. Если дефекты адсорбируются дислокацией, то это приводит к закреплению последних. Если поглощённых дефектов много, они перемещаются вдоль линии дислокации и, собираясь вместе, образуют зубцы, тормозящие движение дислокаций. В результате поглощения дефектов дислокация закрепляется, упрочняется материал.

Точечные дефекты могут не только адсорбироваться дислокациями, но и объединяться, образуя дивакансии, тройные вакансии и комплексы вакансий. На дальних расстояниях вакансии не взаимодействуют, но при встрече они могут объединяться в прочный комплекс (его образование происходит с понижением энергии всей системы). Образованные поливакансии испытывают рост. Отдельные вакансии, непосредственно сливаясь в плоскости слоя или образуя сначала сферические полости, которые в дальнейшем сплющиваются, переходят в своеобразные кольцевые дислокации. Кольцевая дислокация может поворачиваться, подвижность её ограничена и носит диффузионный характер (дислокация может расти и уменьшаться в результате механизма переползания). Существенно важно, что кольцевая дислокация препятствует движению дислокаций обычного типа – краевых и винтовых. Появление кольцевых дислокаций упрочняет металл. Такие кольцевые дислокации действительно наблюдаются с помощью электронного микроскопа.

# **Глава 3. Смещение атомов в кристаллической решетке под действием ионизирующего облучения**

Рассмотрим теперь некоторые вопросы теории смещения атомов в результате воздействия радиации на кристаллическую решётку твёрдых тел.

При упругом столкновении бомбардирующей частицы с атомом, последний в некоторых случаях приобретает энергию , превышающую некоторую энергию, которая называется ***пороговой энергией смещения*** . В таком случае возбуждённый атом покидает своё место в решётке. При этом он может пройти одно или несколько межатомных расстояний, пока не остановится в междоузлии. В момент перемещения такой атом теряет связь с решёткой, но оказывает возбуждающее влияние на электронные связи атомов окружения. Образуется пара типа Френкеля: вакансия – междоузельный атом.  для обычных металлов находится в пределах 20 – 40 эВ. Если ~, то образуется одна пара Френкеля; при >> создаётся два, три или целый каскад дефектов такого же типа.

Если кристаллическая решётка облучается потоком тяжёлых частиц, то энергия, получаемая атомом вещества, достигает больших значений, и вблизи конца пути первично выбитого атома среднее расстояние между соударениями в плотноупакованных кристаллических решётках должно быть приблизительно равно среднему межатомному расстоянию. В этом случае атом на пути первично выбитого атома смещается со своего места и образуется область сильного искажения, интерпретируемая как пик смещения.

При облучении материалов нейтронами спектра реактора либо тяжёлыми частицами с большой энергией кристаллическая решётка испытывает огромное число элементарных повреждений.

Несмотря на отсутствие корректной теории, учитывающей коллективные процессы и совокупность взаимодействий в решётке, усреднённое число смещённых атомов можно оценить довольно точно с помощью очень простой модели, основанной на представлении о парных столкновениях.

Одной из характеристик столкновения является энергия, передаваемая бомбардируемому атому. В зависимости от геометрических параметров столкновения (взаимного направления движения частицы и колебания атома) она может меняться от нуля, при столкновениях под очень малым углом, до максимальной величины , при лобовом столкновении. Из законов сохранения энергии и импульса при упругом столкновении  определяется соотношением

,

где Е и m – энергия и масса взаимодействующей быстрой частицы; М – масса атома вещества.

Для электронов с высокой энергией (Е >> 1 МэВ) следует учитывать релятивистские эффекты. В этом случае предыдущее выражение превращается в

.

В случае столкновения с тяжёлой частицей высокой энергии можно ожидать возникновение каскада смещений. Среднее число атомных смещений рассчитывается в простейшем случае по формуле

,

где  - плотность потока ионизирующего излучения; t – время облучения; - число атомов в единице объема; *σd1* – сечение столкновений, вызывающих смещения;- среднее число смещений на один первично смещенный атом.



 - средняя энергия, передаваемая атому быстрой частицей. Величина *Еd* зависит от направления смещения относительно кристаллографических осей кристалла, что связано с анизотропией сил связи, а также от природы сил связи атомов в решетке.

Среднее число вторичных смещений

 ,

где

f(nk) – функция относительного числа электронов, участвующих в ковалентной связи, на один атом, f(nc) – функция относительной концентрации свободных электронов на один атом.

Скорость возникновения радиационных дефектов

,

где

 - сечение смещения.

Помимо точечных дефектов и их конфигураций, в электронном газе кристаллической решетки металла возникают локальные возбуждения (наводимые как самими дефектами, так и излучением), которые гипотетически могут оказать влияние на термодинамические контакты системы, либо ее нескольких участков. Это, в свою очередь, может привести к увеличению наблюдаемой подвижности вновь образованных радиационных точечных дефектов и существовавших до облучения дефектов кристаллического строения. Этим, отчасти, можно объяснить образование ассоциаций точечных дефектов в виде петель дислокации и кластеров под воздействием облучения даже в области низких температур.

Весь спектр дефектов, наблюдаемых в металлических твердых телах после облучения с помощью методов электронной и ионной микроскопии, образуется из первичных радиационных дефектов – пар Френнеля – в результате их взаимодействия между собой и с существующими в материале дефектами кристаллического строения, а также под воздействием локальных возбуждений в электронной подсистеме кристаллической решетки, инициируемых после радиации.

Рассмотренные эффекты, возникающие при смещении атомов в каскаде столкновений обычно называют ***нарушения смещения***. Совершенно иной тип нарушений связан с примесными атомами, введенными или в результате превращений ядер мишени, или вследствие того, что бомбардирующий ион тормозится в образце. Такие дефекты называются примесными нарушениями.

Впервые практические проблемы примесного нарушения возникли при изучении материалов для ядерных реакторов. Было обнаружено, например, что металлический уран, облученный при температуре, несколько большей 500 оС, существенно увеличивает свой объем. Металлографическое исследование выявило в этом случае наличие в металле мелких пор, заполненных инертными газами. Инертные газы в большом количестве образуются в реакторе при делении урана.

Все эти нарушения очень сильно влияют на свойства материалов.

# **Глава 4. Материалы для хранения радиоактивных отходов**

Немалые трудности возникают также и с захоронением радиоактивных отходов. Общепринятый подход к разработке материалов для этих целей состоит из трех стадий:

1. Отходы вводятся в относительно нерастворимое химически стойкое вещество.
2. Это вещество заключают в герметичный контейнер.
3. Контейнеры захоранивают в сухой и стабильной геологической структуре.

Для первой стадии применялись и применяются боросиликатное стекло и боросиликатная керамика. Главное требование, предъявляемое к такой керамике – сильная поглощающая способность по отношению к ядерным частицам – нейтронам и  - квантам. Из всех веществ наибольшей поглощающей способностью нейтронов обладают легкие элементы H, Li, B, но при поглощении нейтронов происходят ядерные реакции, результатом которых является вторичное излучение. По этой причине защитный материал должен содержать, наоборот, тяжелые элементы, главным образом свинец, поскольку поглощение - квантов подчиняется экспоненциальному закону

*N=N0e-2dα*,

где

N и N0 – плотность - квантов до и после поглощения соответственно;

d – плотность ослабляющего вещества;

α - коэффициент поглощения.

Применение чистого свинца оказывается нецелесообразным из-за его значительной текучести под влиянием даже собственного веса защитной кладки, состоящей из свинцовых кирпичей. Более эффективными  - защитными материалами являются PbO и более сложные оксиды типа 2PbO, PbSO4. Они обладают высокими плотностями, достаточно высокими рабочими температурами и технологичны в процессах изготовления порошка, при прессовании и спекании. До прессования эти оксиды смешивают с борсодержащими веществами, например с В2О3, с карбидом бора В4С или с боратидами МеВО3 и боридами типа МеВ или МеВ2 какого-либо металла Ме, дающего, в свою очередь, низкий уровень вторичного - излучения. После спекания подобные смеси образуют плотную керамику малой пористости.

Но керамика из боро - и свинцово-содержащих веществ имеет много недостатков. Основной из них – пониженная химическая стойкость. Следует отметить еще более низкую стойкость остальных известных и широко применяемых материалов, например бетонов различного состава. По этой причине, в большинстве случаев, и бетоны, и борсодержащая керамика используются скорее на второй стадии в виде герметичных контейнеров. Для первой стадии общепризнанно, что лишь борсодержащее стекло хорошо удерживает радиоактивные отходы.

Для второй стадии кроме рассмотренных выше керамических материалов

испытываются и специальные сплавы, образующиеся в системах Рb-B, Pb-Li и сплавы на основе титана. Сам защитный материал изготовляется в виде керамики, спеченной из порошков таких сплавов. Возможность их практического применения можно выяснить только после глубокого изучения их устойчивости к коррозии в условиях облучения - квантами и при повышенных температурах. Например, радиоактивный цезий и стронций способны сохранять без разрушения оболочку из таких сплавов, при температуре почти 200 оС, около 100 лет. Кроме того, нужно добиться высокой механической прочности предлагаемых сплавов, во избежание повреждения контейнеров с радиоактивными отходами при перевозке к местам захоронения.

# **Глава 5. Общие требования к материалам атомной энергетики**

К основным физическим свойствам, обусловливающим возможность использования того или иного материала в ядерной технике, относятся сечение захвата нейтронов, а также теплофизические характеристики (коэффициент термического расширения, теплопроводность, теплоемкость, температуропроводность, температура плавления, плотность давления паров и наличие фазовых превращений). Особые требования предъявляются к радиационной стойкости материалов.

Сечение захвата нейтронов является очень важной характеристикой. В случае реактора на тепловых нейтронах конструкционные материалы должны иметь малое сечение захвата тепловых нейтронов, поскольку в противном случае может нарушиться баланс нейтронов в активной зоне. В системах управления и защиты реактора применяют материалы с большим сечением захвата нейтронов.

Теплофизические характеристики во многом определяют выбор материала для использования в реакторостроении, где необходимо добиваться низких значений теплоемкости, коэффициента термического расширения, плотности и высоких значений температуры плавления, теплопроводности. Так, низкий коэффициент теплопроводности приводит к появлению больших перепадов температуры в объеме материала, что, в свою очередь, может создать термические напряжения, угрожающие целостности детали.

В процессе работы материалы, применяемые в активной зоне реактора, подвергаются интенсивному облучению высокими флюенсами нейтронов, что существенно изменяет их эксплуатационные характеристики. Отсюда следует, что реакторные материалы должны обладать высокой радиационной стойкостью.

Механическиесвойства предопределяют поведение элементов конструкции ядериых энергетических установок - прочность, работоспособность, долговечность и надежность в условиях высоких температур и напряжений. В случае длительной эксплуатации при достаточно высоких температурах (выше 473 К - для сплавов циркония, 473-573 К - для сплавов алюминия, 723 К - для коррозионностойкой стали) и вследствие ползучести материал будет деформироваться при напряжениях, меньших предела текучести. При режимах эксплуатации материала, связанных с цикличностью механических нагрузок, работоспособность будет зависеть от циклической прочности, которая определяется пределом выносливости материала.

Высокая коррозионная стойкость реакторных материалов - необходимое требование, поскольку в процессе эксплуатации они соприкасаются с теплоносителем (водой, газами, жидкими металлами, солями металлов) и ядерным топливом, которые являются коррозионно-активными. Коррозионные процессы могут привести к разрушению материала, например, выделяющийся в процессе коррозии водород вызывает водородное охрупчивание и растрескивание детали. Интенсивное облучение, имеющее место в реакторе, приводит к возрастанию скорости коррозии и связанных с ней эффектов.

Важная характеристика реакторных материалов - совместимость. Материалы считаются совместимыми в конкретных условиях, если химическое взаимодействие между ними либо отсутствует, либо настолько мало, что не изменяет их состав, структуру и свойства. Подобрать совместимые материалы часто бывает трудно, например материал оболочки твэла. В водо-водяном энергетическом реакторе (ВВЭР) оболочка твэла снаружи контактирует с водой и паром, а изнутри - с ядерным топливом и продуктами его деления. Ядерное топливо, в свою очередь, должно иметь высокую радиационную стойкость, теплопроводность и температуру плавления, обеспечивать высокое тепловыделение и выгорание; в нем должны отсутствовать фазовые переходы в области рабочих температур.

В некоторых случаях реакторные материалы должны соответствовать требованиям газоплотности. Это связано с тем, что проникновение газообразных осколков деления через оболочки твэлов или стенки трубопроводов ухудшает радиационную обстановку и усложняет обслуживание оборудования АЭС.

# **5.1 Требования к материалам, используемые в активной зоне реактора**

Наиболее жесткие требования предъявляются к материалам, используемым в активной зоне реактора. Требования к материалам оболочек твэлов:

* механическая прочность, способность противостоять термическим напряжениям и сохранять форму и размеры оболочки;
* коррозионная стойкость, сопротивление эрозии в потоке теплоносителя;
* совместимость с ядерным топливом, химический состав которого изменяется по мере выгорания;
* минимальное значение сечения захвата нейтронов;
* высокие теплотехнические характеристики;
* высокая радиационная стойкость;
* хорошие технологические характеристики.

Корпус реактора должен обладать высокой надежностью для обеспечения его безопасной работы в течение заданного срока. В связи с этим основное требование - прочность при достаточном уровне пластичности. Для уменьшения величины термических напряжений материал корпуса должен характеризоваться хорошей теплопроводностью, низким коэффициентом теплового расширения, стойкостью к коррозии всех видов. Серьезной проблемой является радиационное охрупчивание, поэтому материалу корпуса реактора необходимо иметь высокую радиационную стойкость, хорошие технологические свойства.

# **5.2 Требования к материалам замедлителя и отражателя нейтронов**

Для замедлителей и отражателей часто используются одни и те же материалы, и к их ядерным и теплофизическим свойствам предъявляют одинаковые требования, хотя эти устройства решают совсем не одинаковые физические задачи. В частности, задачей замедлителя является замедление быстрых нейтронов до скоростей тепловых нейтронов, тогда как отражатели предназначены для уменьшения утечки нейтронов активной зоны.

При большом сечении рассеяния нейтронов материалами замедлителя и отражателя [Э20, Н20, водородсодержащими материалами, углеродом (графитом), Ве, ВеО] столкновения нейтронов с ядрами происходят часто и под большими углами, а средняя длина свободного пробега нейтронов в процессе замедления мала, что сводит к минимуму потери нейтронов.

Помимо специфических ядерных свойств материалы замедлителей и отражателей должны дополнительно отвечать следующим требованиям :

* высокая механическая прочность;
* термическая и радиационная стабильность;
* коррозионная стойкость;
* технологичность при изготовлении и утилизации;
* хорошая теплопроводность, необходимая для рассеяния выделяющейся в них тепловой энергии.

В водо-водяных реакторах с водой под давлением (ВВЭР, РП1) или кипящих (В?К, ВК) замедлителем является водный теплоноситель Н20, а в реакторах CANDU применяют тяжелую воду 020.

Использование графита в качестве замедлителя нейтронов в водографитовых или газографитовых реакторах позволяет применить топливо более низкого обогащения, чем в водо-водяных реакторах. Если в качестве замедлителя используется тяжелая вода (реакторы CANDU), то в качестве топлива — необогащенный природный уран. Это представляет интерес для стран, не владеющих технологией обогащения урана, но желающих развивать свою атомную энергетику. Газографитовые реакторы Ма§пох также работали на природном уране.

Реакторный графит отличается от обычного конструкционного графита отсутствием вредных для реактора примесей, прежде всего бора и редкоземельных элементов. При температурах около 300 °С в графите накапливается энергия Вигнера, которая при достижении порогового значения высвобождается взрывным путем. Именно взрывное высвобождение энергии Вигнера привело к первой в истории мировой атомной энергетики большой аварии, случившейся в 1957 г. на АЭС «Виндскейл» в Великобритании.

Многие гидриды металлов по атомной плотности превосходят жидкий водород и воду. Они являются эффективными материалами замедлителя, отражателя и защиты высокотемпературных ядерных реакторов с малым объемом активной зоны.

Металлический бериллий применяют в качестве замедлителя и отражателя во многих реакторах. Оксид бериллия стабилен в водороде и сухом воздухе до 2000 °С. Как бериллий, так и его оксид характеризуются распуханием при повышенных температурах вследствие увеличения количества дефектов и скопления пузырьков гелия, образующегося при взаимодействии бериллия с быстрыми нейтронами.

# **5.3 Требования к поглощающим материалам**

Для управления реактором, обеспечения аварийной защиты и придания аз необходимых нейтронно-физических свойств в аз размещаются поглощающие материалы. Для оперативного изменения реактивности в подавляющем большинстве случаев используются твердые подвижные поглотители в виде поглощающих стержней (ПС). ПС входят в состав механической системы управления и защиты реактора. ПС предназначены для регулирования мощности реактора и перевода его с одного уровня мощности на другой, для быстрого прекращения цепной реакции деления и осуществления аварийной защиты.

Для компенсации избыточной реактивности после загрузки свежего топлива, часто используют медленно выгорающие поглотители (МВП). Конструктивно МВП могут выполняться либо в виде специальных стержней с выгорающим поглотителем (СВП), либо добавляться в топливную композицию. Принцип действия МВП состоит в том, что ядро материала МВП, захватив нейтрон, превращается в ядро, не поглощающее нейтрон. Таким образом, количество выгорающего поглотителя в аз убывает (выгорает). Выгорая, МВП высвобождает часть реактивности, которая уменьшается вследствие выгорания топлива. В настоящее время выгорающие поглотители часто помещают непосредственно в топливные таблетки, при их изготовлении.

В соответствии с изложенными требованиями в качестве МВП используются бор, гадолиний и эрбий.

В связи с тем, что основным способом управления реактором является поглощение нейтронов, рассмотрим основные материалы, используемые в качестве поглотителей.

Бор используется в поглощающем материале БС-15-3, а также в качестве присадок в борированных сталях. Широкое применение в практике управления энергетическими реакторами нашла борная кислота.

Достоинства бора и боросодержащих материалов:

* хорошие ядерные характеристики;
* доступность и низкая стоимость;
* продукты реакции (‘Не, Li) не радиоактивны.

Недостатком является накопление газообразных продуктов деления, что ведет к повышению давления внутри ТВЭЛ, это приводит, в свою очередь, к распуханию топливной композиции, деформации и растрескиванию оболочки ТВЭЛ.

Среди требований, предъявляемых к поглощающим материалам системы управления и защиты, можно выделить следующие:

* большое сечение захвата нейтронов;
* высокая радиационная стойкость;
* хорошая коррозионная стойкость;
* хорошие жаропрочность и жаростойкость;
* высокие прочностные характеристики.

У теплоносителя должны быть малое сечение захвата нейтронов, высокие теплофизические характеристики, хорошая совместимость с материалом твэлов и конструкцией, приемлемая химическая активность.

К материалам, работающим вне активной зоны реактора, также предъявляются определенные требования - хорошие прочностные характеристики, способность противостоять хрупкому разрушению, высокая стойкость к коррозии, эрозии и малоцикловой усталости.

# **Заключение**

Ядерная энергия – мощная сила, которая, несомненно, является важным источником энергии во многих странах. Учитывая постоянно растущие потребности в энергии, крайне важно исследовать атомную энергетику и рассматривать её как надёжный источник энергии.

К настоящему времени атомная энергетика заняла прочное место в общих энергетических балансах развитых стран мира. В 1982 г. в строю действующих находилось примерно 300 реакторов общей мощностью около 200 ГВт. АЭС получили широкое распространение в разных странах мира. Действующие станции имеют к настоящему времени около 20 стран.

Для безопасного применения атомной энергетики нужно уметь грамотно применять различные материалы, что на данный момент отлично выполняется. Ядерная энергетика не стоит на месте, постоянно проходя различные разработки и испытания.

# **Список используемых источников**

1. В.И. Фистуль. Новые материалы: состояние, проблемы, перспективы. М. “МИСИС”. 1995 г.
2. А.М. Шалаев, А.А. Адаменко. Радиационно – стимулированное изменение электронной структуры. М. Атомиздат. 1977 г.
3. М. Томпсон. Дефекты и радиационные повреждения в металлах. М. Мир. 1971 г.