

ДОКЛАД
ВЛИЯНИЕ НА ОТАЖАТЕЛЯ ПРИ
ЛЕКОВОДНИ РЕАКТОРИ

Анелия Иванова Бобочоева

Съдържание

- 1. Въведение**
- 2. Обзор на решения за отражатели в някои типове реактори.**
- 3. Физическо значение на отражателя при ВВЕР**
- 4. Ефективна добавка и ефективна дебелина на отражател.**
- 5. Експериментални зависимости за ВВЕР**
- 6. Изчисления**
- 7. Използвана литература.**

1. Въведение

Основният компонент на ядрения енергиен реактор е активната зона, в която протича верижната реакция на делене. В нея се разполагат ядреното гориво, оформено във вид на топлоотделящи елементи (ТОЕ), които от своя страна са комплектовани в сборки – касети, често подредени във вертикални канали, образуващи правилни решетки. В състава на активната зона са включени още конструкционни материали, обвивки на ТОЕ, съставни части на касети, забавител и топлоносител. Топлината, генерирана от горивото се отвежда чрез топлоносител, като структурната клетка, която образуват горивната касета и топлоносителя се нарича работен канал.

Отражателят в реактора

При реактори на топлинни неутрони в състава на зоната се включва и забавител, предназначен да забавя неутроните от деленето и да формира нужния енергиен спектър. За намаляване загубата на неутрони, активната зона се огражда с отражатели, които обикновено се изработва от същите материали, като забавителите. Освен за намаляване утечките на неутрони в известна степен ограничителя изравнява ЕО в обема на зоната и намалява критичните размери на реактора. За реактори на бързи неутрони, където забавител липсва, вместо отражател се създава „зона за възпроизводство“, състояща се от природен или обеднен на дялящи се изотопи уран. В този случай напускащите активната зона неутрони произвеждат ново гориво. Тази компоновка се поставя в корпус, предотвратяващ разпространението на радиоактивни вещества в околната среда и да издържа на налягането на топлоносителя.

Взаимодействайки с веществата, енергията на лъченията се превръща в топлина, особено е това превръщане в материали с тежки ядра. Бързите неутрони, гама-квантит и фрагментите на делене влияят върху свойствата на веществата по веригата състав-структура-свойства. В материалите с кристална решетка тези въздействия водят до избиване на атом, изместване на съществуващ и причиняват деформации. Изискванията към свойствата на материалите, използвани в ядрената сфера са високи и от там произлиза ограничен набор от конструкционни материали. За да се защити корпуса от неравномерни топлинни натоварвания, предизвикани от такива взаимодействия на лъченията, между корпуса и активната зона се разполага топлинна защита. Това е типично за реакторите с топлоносител вода, докато тези с твърд забавител корпусите са „облекчени“ от високо налягане и за тях не се предвижда топлинна защита. За намаляване потоците на бързи и топлинни неутрони, както и гама излъчването се обезпечават и биологична защита.

Отразяващата способност на материала зависи от дифузионни характеристики: транспортна дължина, дължината на дифузията и възрастта, които от своя страна се определят от напречните сечения на разсейването и на поглъщане. Следователно, като материал на отражател се използват материали с висока стойност на коефициента на вътрешно отражение (албедо), който представлява съотношението на ток на неутроните от отражателя към активната зона на тока на неутроните изтичащи от зоната към отражателя.

Освен към наличието на отажател, изисквания има и към неговия материал – да бъде добър забавител на неутрони (достатъчно голяма забавяща способност, ниски сечения на поглъщане на топлинни неутрони). Елементи с ниска атомна маса напълно отговарят на тези изисквания. Материал отражателя должен и как можно

малко поглъщат топливни неутрони и имат висок коефициент на забавяне. Голямо значение има стойността и други свойства на отражателя – както е известно, с най-добрата отразяваща способност разполага берилий, който под въздействието на бързи неутрони се разпада (в предел) на литий-6, хелий-3 и тритий, които имат големи сечения на поглъщане на топливни неутрони. От значение е и цената, както и други свойства – берилийът е с най-добра отразяваща способност, но под въздействието на бързи неутрони се разпада на литий, хелий и тритий, които притежават сечения на поглъщане на топливни неутрони, възниква «отравяне» берилия, което намалява неговите отразяващи свойства. възниква "отравяне" от берилий.

За реакторите на топливни неутрони като материал се използват средно с най-висока албедо и ниска цена. Албедо - коефициент на вътрешно отражение $\beta = \Phi_{\text{отраж}} / \Phi_{\text{вх}}$. С най-високо албедо е тежката вода, $\beta = 0.98$. На второ място е въглерод - $\beta = 0.94$, на трето – обикновена вода $\beta = 0.8$. !!!Дебелина на отражателя.

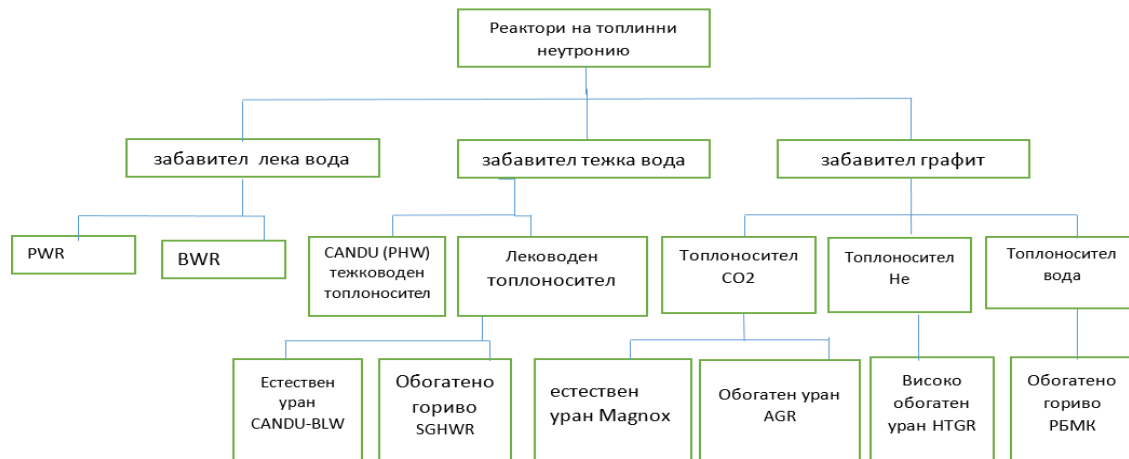
$\delta = f(\Delta)$, $\Delta = 1.5M$, M е дължината на миграцията

$\Delta c = 90 \text{ cm} \rightarrow \delta = 50 \text{ cm}$

$2 \text{ H } 2 \text{ O} = 10 \text{ cm} \rightarrow \delta = 7 \text{ cm}$

За реакторите на бързи неутрони използването на вода и графит е недопустимо, като отражател се използва суровина U 238 или Th 232 .

2. Обзор на решения за отражатели в някои типове реактори:



Фиг. 1 Типове реактори на топливни неутрони, в зависимост от забавителя.

- Топлинни неутрони.Леководни реактори.

PWR, ВВЕР ,BWR

В първите етапи на развитие на ЯЕ, ядрените реактори са ориентирани в използването на природен уран, което е и предпоставка за търсене на забавител от материал, притежаващ комбинацията от добри забавящи свойства, малки сечения на поглъщане и добра цена.

За тип ВВЕР, ограничителя изпълнява функцията и на топлинна защита на корпуса от йонизиращите лъчения. Метална пръстеновидна конструкция, през която преминават канали, следваща профила на външната страна на активната зона. Неръждаемата стомана 08X18H10T, използвана като основен материал има доста добри забавящи свойства, но и голямо макроскопично сечение на поглъщане, поради което коефициента на забавяне е по-нисък от този на водата. Част от топлоносителя, протича през каналите с цел охлаждане на стоманата и допълва ефективната защита на корпус. Както горните, така и долните крайни отражатели във ВВЕР имат конструкция от стомана с вода, като единствената разлика е, че те нямат ясно разграничено редуване на хоризонтални слоеве вода и стомана.

Същественото различие между леководните реактори с вода под високо налягане и кипящите е създаване на условия за работа, при опростена едно(дву)котурна схема, където кипенето на топлоносителя е желан процес. Активната зона е оградена от кожух неръждаема стомана, който заедно с вътрешната част на корпуса образува пръстеновиден отвор. Характеризират се с по-ниски стойности на обемното енергоотделяне, по-ниски работни параметри, по-голяма неравномерност на топлоотделянето по аксиално направление. Днес, разликите между ВВЕР и PWR, не са толкова изявиени както в първоначалните проекти, като например в известна степен в PWR се допуска кипене.

- Тежководни реактори. HWR:Канални- Candu.

Особеността на Candu реакторите е разполагането на каналите в стоманен цилиндър, позволяващо презреждане на гориво в процеса на експлоатация. В каландерните тръби се разполагат тръбите на горивните канали, които съдържат касетите с гориво и забавителя. Каналите преминават през челни отаждатели и биологична защита. Тежката вода в ролята на забавител има най-добри свойства, а топлофизичните не се различават от тези на обикновената. Енергийният спектър на забавящите се неутрони е мек, т.е. дялът неутрони с енергия над топлинната е малък.

Тежководни реактори от корпусен тип. Отражател – слой тежка вода между активната зона и каландера, изпълняваща функциите и на забавител. Температурата му се поддържа в граници, с цел намаляване неефективното използване на неутрони.

- Реактори със забавител графит.

Създаването и развитието им позволява използването на природен уран за гориво. Дължината на дифузия на неутроните в чист графит налага увеличаване на размерите на реактор, спрямо идентичен със забавител вода. Изтичането на неутрони трябва да бъде сведено до минимум, за да се осигури баланс. $d \approx 3.2 + 0.1(L_{az2} + t_{az})$ (9.2.8) Водно-сталънуя компоновку имеют и верхний и нижний

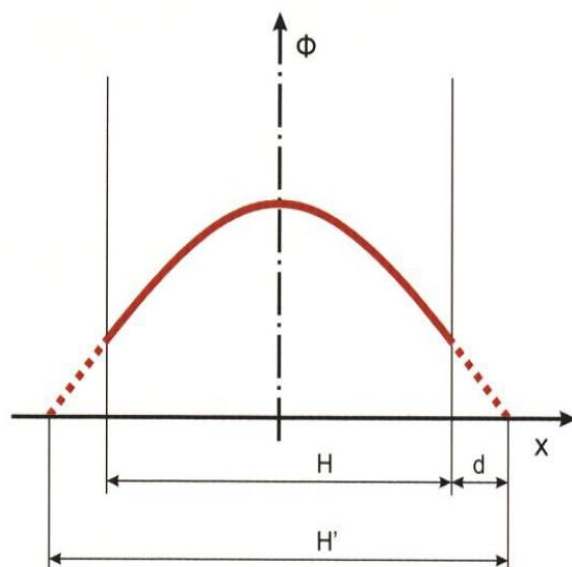
торцевые отражатели в ВВЭР, с той лишь разницей, что в них нет явно выраженного чередования горизонтальных слоев воды и стали. В реакторе РБМК-1000 и боковой, и торцевые отражатели в силу необходимости также имеют не чисто графитовую структуру: через нижний отражатель проходят подводные теплоносители к технологическим каналам трубы, в верхнем отражателе проходят отводящие трубы, а графит бокового отражателя пронизывают от низа до верха вертикальные трубы охлаждения самого отражателя. Графитът се използва с широк спектър от теплоносители – лека вода, някои газове и течни метали. Активната зона на РБМК е обградена с графитови отражатели, както от страни, така и отгоре и долу. В първите поколения газо-охлаждаеми реактори корпусът се изработва от нисковъглеродна стомана, като е облекчен – поема само налягането на теплоносителя, докато активната зона от графитови блокове лежи на опори. $d \approx 3.2 + 0.1(L_{аз2} + t_{аз})$ (9.2.8) Водно-стална компоновка имат и верхния и нижния торцевые отражатели в ВВЭР, с той лишь разницей, что в них нет явно выраженного чередования горизонтальных слоев воды и стали. В реакторе РБМК-1000 и боковой, и торцевые отражатели в силу необходимости также имеют не чисто графитовую структуру: через нижний отражатель проходят подводные теплоносители к технологическим каналам трубы, в верхнем отражателе проходят отводящие трубы, а графит бокового отражателя пронизывают от низа до верха вертикальные трубы охлаждения самого отражателя. В реактора РБМК-1000, както страничните, така и крайните отражатели, също нямат чисто графитна структура.

3. Физическо значение на отражателя при ВВЕР

Зона без отражатели, граничи със среда, в която няма източници на неутрони. През повърхнините и изтичат неутрони, които не могат да се върнат обратно, като това изтичане намалява плътността на неутроните във външните слоеве, което е и причината за неравномерността в разпределението на неутронния поток. Неравномерното разпределение на неутронния поток и съответстващото му разпределение на ЕО водят и до неефективно използване на горивото. Изразява се в това, че в централната част, където потока е близък до максималния, изгарянето на горивото е по-интензивно, спрямо в периферията, където потокът е по-малък. Изтичането на неутрони увеличава неефективното им използване и е причина за стремежа към тяхното връщане в активната зона, постигайки и по-равномерно разпределение на потока. Отражателят не може да спре напълно неутроните, изтичащи от активната зона, а само го намалява.

За критична зона, намираща се в безкрайна среда, загубата от изтичане на забавящи се неутрони, спрямо тези с топлинна енергия е значителна. Следствие е от факта, че материалите в активната зона имат сравнително по-големи сечения на поглъщане на топлинни спрямо неутрони в процес на забавяне, както и по-високата скорост (енергия) на надтоплините. В същата зона, оградена от отражател, изтичащите надтоплинни неутрони, попадащи в средата на отражателя (забавител) се забавят много по-интензивно, в сравнение с това в зоната. Това означава, че в отражателя тече процес на забавяне на изтичащите от реактора бързи неутрони. Поради слабото поглъщане в ограничителя се натрупват топлинни неутрони и се увеличава се плътността на неутронния поток в рамките на отражателя, като максималната му стойност се определя от баланса на скоростите на генериране, поглъщане и изтичане на топлинни неутрони в този участък. Потокът (Φ) на топлинните неутрони е по-голям от Φ на границата на зоната и

отражателя и процесът на дифузия на топлинни неутрони (в съответствие със закона на Фик) ще върви в две посоки: към границата на активната зона и в обратна посока – във вътрешните слоеве на отражателя. И тъй като граничната стойност на плътността на потока на топлинните неутрони става по-висока, в сравнение с тази без отражател, намалява градиента на плътността на потока. Стойността на ефективния коефициент на размножение (k_{eff}) се увеличава и ако активната зона в безкрайна среда е критична, то след като е поставена в отражател с определена дебелина тя става надкритична. За да стане отново критична, без да се променя състава и трябва да се измени неговия размер с такава стойност, докато не се върне отново в критично състояние. С нарастване разстоянието от периферията на зоната към центъра влиянието на отражателя върху поотока намалява и пространственото и енергийно разпределение на неутроните се доближава до форма, зависеща само от параметрите на зоната. Такова разпределение се нарича асимптотично.



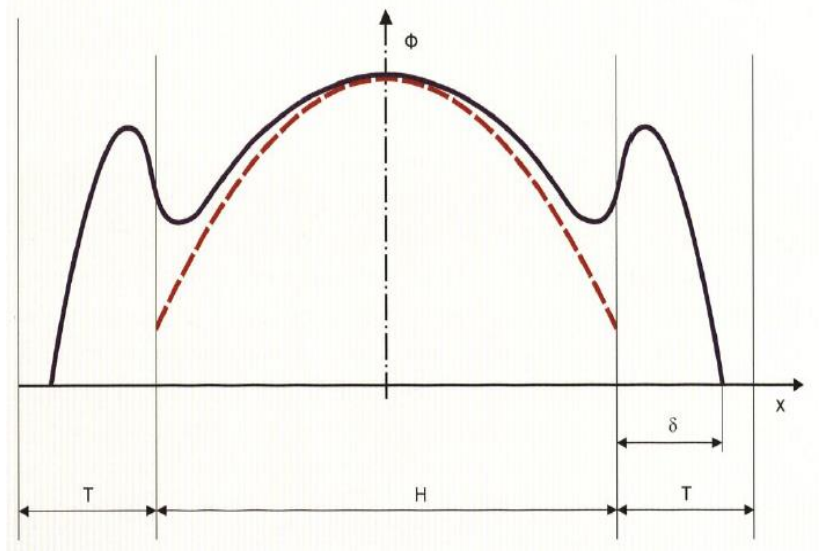
Фиг.2 Безкраен плосък реактор

Три възможни ситуации в разпределението на плътността на потока на топлинни неутрони на границата на АЗ с отражателя.

- $\text{grad } \Phi > 0$ - $\text{grad } \Phi < 0$ $\text{grad } \Phi = 0$

Ако посоката на дифузия на топлинни неутрони в пресечната точка на границата на зоната е противоположна, (посока от отражателя към зоната), то в зоната има „втичане“ на топлинни неутрони.

Ако градиентът на плътността на потока на топлинните неутрони на границата на зоната с отражателя има отрицателен знак, векторът на плътността на тока на топлинните неутрони се насочва от АЗ към отражателя, което означава, че има изтичане на топлинни неутрони. „Нулево изтичане“, при което количествата топлинни неутрони, пресичащи границата на АЗ в двете посоки са равни.



Фиг.3 Изменение на Φ в реактор с отражател

Величината на локалния максимален на плътността на потока на топлинни неутрони в отражателя във водно-охлажданите и урано-графитните реактори е значително по-малка от максималната стойност на плътността на потока на топлинни неутрони в обема на активната зона на реактора. Въпреки това е известен реактор с тежка вода (D_2O), в който максимумите в отражателя са по-високи от максималните Φ в АЗ, а градиентът на плътност на топлинния поток върху зоната с отражател има положителна стойност.

4. Ефективна добавка и ефективна дебелина на отражател.

За да се запази реактора критичен, при запазване на K е необходимо да се намали размера на активната му зона. Намалването на критичните размери при наличието на отражател се отчита с ефективна добавка. Важно е да се определи как тя зависи от дебелината на отражателя, с увеличаване на дебелината, добавката първоначално бързо нараства с голяма скорост, която в последствие намалява. Изтичането на неутрони от отражателя намалява много по-бързо с увеличаването на неговата дебелина. За реактор с/без отражател може да се напише вълновото уравнение, за което по критичните размери и дифузионни характеристики на средата могат да бъдат определени гранични условия, след което тези уравнения могат да бъдат намерени. Разликата в критичните на първата и втората активни зони ще даде стойността на ефективната добавка при специфична дебелина на отражателя.

Ефективната дебелина на даден материал е тази, при която отражателят е почти идентичен по своите свойства с отражател от същия материал с безкрайни размери. В дифузионното възрастово приближение се приема, че ефективната дебелина на отражателя е една и половина дължини на неутронна миграция в ядрото.

Изчисленията и за двете формули дават приблизително същите резултати. Като се има предвид, че за ВВЕР, дифузионната дължина във вода е $L_0 \gg 5.5$ cm, може да се получи ефективната дебелина на отражателя в реални ВВЕР приблизително 10-11 cm. Същите изчисления за реактор с графитен рефлектор дават стойността на ефективната дебелина на рефлектора приблизително 0.94 m (в реактора RBMK-1000, действителната дебелина на рефлектора е 1 m).

Експериментална зависимост за ВВЕР..!!! При използване на еднорупово приближение критичните размери се различават от реалните, поради различието в ядрените свойства на конструкционните материални в зависимост от енергията на неутроните. Отразяващата способност на материала зависи от дифузионни характеристики: транспортна дължина, дължината на дифузията и възрастта, които от своя страна се определят от напречните сечения на разсейване и на поглъщане. Следователно, като материал на отражател се използват материали с висока стойност на коефициента на вътрешно отражение (алbedo), който представлява съотношението на ток на неутроните от отражателя към активната зона на тока на неутроните изтичащи от зоната към отражателя.

Още по-стеснява обхвата на материалите, подходящи за използване като рефлектор, фактът, че е необходимо бързите неутрони, "уловени" в отражателя да се върнат в АЗ вече топлини т.е. материалът трябва да поглъща топлинните неутрони възможно. Елементи с ниска атомна маса напълно отговарят на тези изисквания. От значение е и цената, както и други свойства – берилийът е с най-добра отразяваща способност, но под действието на бързи неутрони се разпада на литий, хелий и тритий, които притежават сечения на поглъщане на топлинни неутрони, настъпва "отравяне" от берилий.

5. Изчисления

6. Използвана литература.

Ядрена техника В. Велев, К. Филипов

Ядрени реактори и парогенератори Г. Глухов Мико Лаков

Основи на неутронната физика и физика на ядрените реактори В. Христов
Т. Апостолов

ЯДЕРНАЯ ИНДУСТРИЯ И. Н. Бекман

Конструкции твелов, каналов и активных зон в энергетических реакторов
Г. Колпаков, О. Селиванникова