

**ПРОФЕСИОНАЛНА ГИМНАЗИЯ ПО ЯДРЕНА ЕНЕРГЕТИКА  
„ИГОР КУРЧАТОВ” ГР. КОЗЛОДУЙ**

# **ДОКЛАД**

**НА ТЕМА:  
„БЕЗОПАСНА ЕКСПЛОАТАЦИЯ НА  
РЕАКТОРИ ВВЕР”**

## ***Увод***

При експлоатацията на атомни електроцентрали (АЕЦ) съществува вероятност, макар и много малка, да възникне авария с възможни радиационни последици за населението. Потенциалната опасност от такава авария се анализира и оценява предварително при проектирането на АЕЦ, като се разглеждат всички възможни аварийни ситуации и на тази база се планират и реализират необходимите мерки за предотвратяване на аварии и ограничаване на последициите от тях.

## ***Материали за системата за управление и защита на ядрените реактори***

Елементите на системата за управление и защита (СУЗ) се изработват от материали с голямо напречно сечение на захващане на топлинни неутрони. Необходимо е материалите за СУЗ да имат висока концентрация на поглъщащи атоми в единица обем и малка плътност, за да се осигури голяма ефективност на регулиращите елементи при малки размери.

От елементите, които влизат в състава на материалите за СУЗ, не е желателно получаването на нови елементи, а само на нови изотопи на същите елементи. Материалите за изгарящи поглъщители трябва да имат сечение на захващане от порядъка на сечението на поглъщане на горивото. При по-голямо сечение, поглъщителя изгаря по-бързо, а при по-малко сечение

концентрацията му в края на кампанията ще е висока и това намалява дълбочината на изгаряне. Поглъщащите материали трябва да имат добри механични свойства и да бъдат съвместими с материалите за другите елементи на активната зона на ядрения реактор.

На изискването за високо напречно сечение на захващане отговарят редица материали - бор, кадмий, хафний, сребро и др. Обикновено поглъщащите елементи не се използват в чист вид, а под формата на съединения.

- **Бор и борните съединения** - поради ниската цена, добрите ядрено-физични характеристики и достъпността борът е намерил най-широко приложение като поглъщащ материал.

Органите на СУЗ се изработват от борен карбид, борна стомана, сплави на титан и цирконий с бор и дисперсионни материали.

- **Кадмий** - температурата на топене е 321°C. Има ниска корозионна устойчивост във вода.
- **Хафний** - устойчив е във вода до 315°C. Основния недостатък е сложната технология на получаване и затруднена обработка при наличието на примеси.

При **изгарящите поглъщители** има два начина на използване – чрез добавка към горивото или към забавителя. В горивото изгарящите поглъщители остават в него и промяна в тяхната концентрация е невъзможна, а когато са добавени към забавителя това е възможно. В активната зона на реактора протичат два процеса: намаляване на общото ниво на реактивността вследствие изгарянето и освобождаване на добавъчна реактивност, компенсирана в началото на кампанията от по-висока концентрация на поглъщателя.

### ***Материали за биологична защита***

Активната зона на ядрения реактор е мощен източник на неутронно  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ - и неутронно излъчване. Поради това е необходимо да се вземат необходимите мерки за защита на обслужващия персонал чрез екраниране на зоната с материали, поглъщащи енергията на излъчване.

Водородът е най-подходящия материал за неутронна защита. От органичните съединения най-широко приложение намира полиетиленът. В стационарните инсталации най-широко приложение като материал за биологична защита е получил бетонът. Подходящи свойства за неутронна защита има боралът. Когато се налага размерите на биологичната защита да

бъдат малки, тя се изработва от желязо или олово. Ако няма строги изисквания по отношение на размерите на защитата, тя се изработва от бетон.

### ***Принцип на действие на ядрен реактор с топлинни неутрони***

Първият в света ядрен реактор е създаден през 1942 г. в Чикаго от италианския физик Енрико Ферми. Реакторът бил от урано-графитен тип и работел с топлинни неутрони. Самият реактор представлява устройство, в което се поддържа управляема верижна реакция на делене.

Основните три явления, които протичат в ядрения реактор, са:

- разцепване на тежките ядра под действието на неутрони на два или повече къса;
- отделяне при всеки акт на делене на вторични неутрони, чиито брой превишава този на заловените неутрони;
- закъснение на една, макар и малка част, от вторичните неутрони при излитането им.

Благодарение на наличието на закъсняващи неутрони става възможно управлението на верижния процес.



В централната част на реактора се намира активната зона. В нея се осъществява верижната реакция на делене. В активната зона е разположено ядреното гориво, което е херметично затворено в метални тръби. В нея е разположен също забавителят на неутрони, който служи за забавянето им и повишаване ефективността на процеса на делене. Обемът на активната зона зависи от критичните условия за поддържане на верижна реакция и се изменя от десетки литри до десетки кубични метри. Най-изгодната от теоретична гледна точка форма на активната зона е сферичната, но на практика, в

резултат на конструктивни и експлоатационни особености се е наложила цилиндрична или кубична форма на зоната.

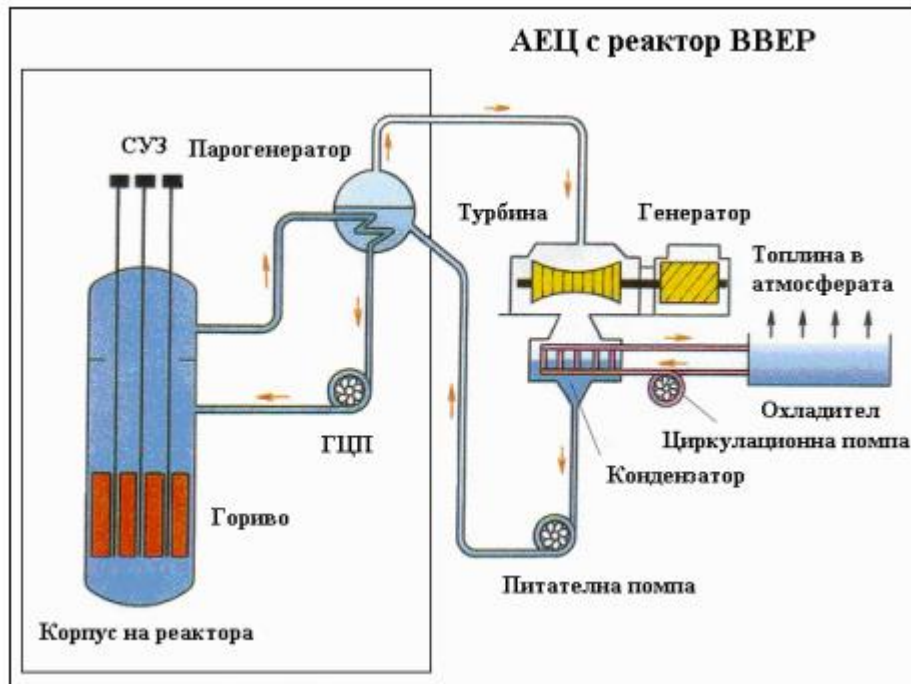
Енергията от деленето на тежките ядра нагрява урановите пръти, наречени топлоотделящи елементи, както и забавителя. За тяхното охлаждане се изгражда топлоотвеждаща система. Обикновено в нея се използват вода, течни метали и органични течности, които циркулират около топлоотделящите елементи и отвеждат топлината. За намаляване разсейването на неутрони, активната зона е обградена с отражател. Отражателят отблъсква голяма част от напускащите активната зона неутрони обратно и по този начин увеличава броя на неутроните, участващи във верижната реакция. При реакторите на топлинни неутрони отражателят трябва да бъде и добър забавител.

Реакторите представляват мощни източници на неутрони и  $\gamma$ -лъчи, които преминават през корпуса на активната зона и представляват опасност за здравето на обслужващия персонал. Ето защо се осигурява защита на ядрения реактор с комплекс от съоръжения, понижаващи интензитета на излъчванията от реактора до пределно допустимите дози. Защитата на реактора трябва да намали както неутронния поток, така и  $\gamma$ -излъчването. Тъй като в природата не съществуват елементи, които едновременно да отслабват и  $\gamma$ -лъчите, и неутронния поток, създава се комбинирана защита. Такава е защитата, например, от бетон с желязна арматура, стомана с добавка от бор-волфрамови сплави и др.

Управлението на ядрения реактор се осъществява чрез използването на т. нар. закъсняващи неутрони. Чрез тях е възможно да се регулира мигновеният процес на делене на ядрата. Управлението на верижната реакция се извършва със специални регулатори. Това са кадмиеви или борни пръти, които влизат в активната зона на реактора. Ядрата на кадмия и бора силно поглъщат топлинните неутрони. Уранът в реактора винаги е в количество, по-голямо от критичната маса. Потопените в активната зона регулиращи пръти поглъщат голяма част от неутроните, като дълбочината на потапянето определя каква част от неутроните се поглъщат. Преди пускането на реактора всички регулиращи пръти са изцяло потопени в активната зона, така че е осигурено условието  $k < 1$ . Пускането на реактора е съпроводено с извеждане на прътите от зоната до такава степен, че да се поддържа критично състояние  $k = 1$ . За прекратяване на работата регулиращите пръти отново се потапят дълбоко в активната зона. За предотвратяването на превишаване мощността на реактора над критичната, веднага се задейства аварийна защита и в активната

зона се спускат всички регулиращи и аварийни пръти. Това осигурява спиране на верижната реакция.

### ***Принципна схема на АЕЦ с реактори ВВЕР***



Технологичната схема на АЕЦ с водо-воден енергиен реактор е двуконтурна. В активната зона на реактора е разположено ядреното гориво. В пространството между горивото циркулира водата на контура на топлоносителя, която отнема получената при ядрената реакция топлинна енергия. Водата, която служи за отвеждане на топлината от горивото, се нарича топлоносител. Тъй като източникът на топлина е силно радиоактивен, то и топлоносителят се активира. Това поставя високи изисквания към чистотата на топлоносителя и определя необходимостта от затворен цикъл на движението му.

Топлоносителят, без да се превръща в пара, преминава през междинен топлообменник – парогенератор. Там той нагрява водата, протичаща през друг контур и я превръща в пара. Парата завърта вала на парна турбина. Такава топлинна схема, състояща се от два отделни контура, се нарича двуконтурна. Контурът на топлоносителя на реакторния кръг е разположен в херметичен обем, в който с помощта на изсмукващи вентилационни системи се поддържа налягане, по-ниско от атмосферното. Това решение

предотвратява възможността за неконтролируемо попадане на замърсен въздух в останалите помещения на централата и в околната среда.

Контурът на топлоносителя включва реактор и четири циркуляционни кръга(за ВВЕР- 1000). Ядреният реактор е водо-воден хетерогенен енергиен реактор, корпусен тип, на топлинни неутрони. Като забавител на неутроните и топлоносител се използва химически очистена вода. В корпуса на реактора е разположена активната зона, в която е поместено ядреното гориво. То е оформено във вид на топлоотделящи елементи. шестоъгълни касети, всяка от които се състои от херметични ТОЕ. В корпуса на реактора са разположени органите на СУЗ. Биологичната защита от лъчения на активната зона се извършва от конструкцията на бетонната шахта, в която е разположен реакторът.

Всеки циркуляционен кръг на I контур включва:

- главна циркуляционна помпа - създаваща принудителна циркулация на топлоносителя;
- парогенератор;
- компенсатор на налягане - за поддържане на постоянно налягане в контура на топлоносителя и за компенсация на температурните му изменения.

Втори контур включва следното оборудване:

- парогенератор втори контур;
- парна турбина;
- електрически генератор;
- кондензатор;
- питателни помпи и регенеративна система.

## ***Ядрената безопасност при реактори ВВЕР-1000***

Един от основните въпроси свързани с безопасната работа на АЕЦ, е осигуряване неразпространението на радиоактивните продукти, получавани в резултат на деленето на ядрата и активирането на топлоносителя в околната среда. В конструкцията на съоръженията и системите на АЕЦ за решаването на този проблем са предвидени т. нар. физически бариери пред разпространението на радиоактивните продукти.

Физическите бариери са:

- обвивката на ТОЕ;
- херметичност на циркуляционния контур;
- херметичност на помещенията в I контур.



Съществуват два подхода за решаване на въпросите за безопасността на АЕЦ.

- ✓ Статически подход – изборът на стратегия за безопасност се основава на съществуващата информация за аварийните ситуации. Този подход е с ограничена приложимост
- ✓ Максимална проектна авария (МПА)– при такава авария трябва да бъдат оразмерени всички защитни системи. За реактори ВВЕР, МПА е скъсване на главен циркуляционен тръбопровод и двустранно изтичане на топлоносител в помещенията на I контур.

Системите за ядрена безопасност при аварийна ситуация, включително и при МПА, биват два вида:

- ✚ Защитни системи за безопасност – осигуряват аварийно охлаждане на АЗ, като не допускат стопяване на ТОЕ;
- ✚ Локализиращи системи за безопасност – ограничават разпространението на радиоактивни изотопи при МПА в пределите на херметичните боксове.

И двата вида системи за безопасност се разделят на активни и пасивни. Активните системи изпълняват своите функции при наличие на външен източник на енергия, а пасивните не се нуждаят от такъв източник.

## Защитни и локализиращи системи на безопасност при ВВЕР-1000

### *ЗАЩИТНИ СИСТЕМИ*

Реакторите ВВЕР-1000 имат три независими системи за аварийно охлаждане:

➤ **Активна система високо налягане** – предназначена за въвеждане на висококонцентриран разтвор на борна киселина при авария с положителна реактивност без спадане на налягането в I контур и при аварии, свързани с разхерметизирането на контура и бързо спадане на налягането.

Системата се състои от три канала, като всеки канал включва по две независими линии. Всяка линия включва по един резервоар с атмосферно налягане и обем  $15\text{м}^3$  за разтвор на борна киселина с концентрация 40гр/кг и по една помпа. За първата линия помпата е бутална с разход  $6,3\text{м}^3/\text{час}$  и напор 15,7МРа, а за втората линия помпата е центробежна многостепенна с напор 9,8 МРа и разход  $160\text{м}^3/\text{час}$ .

➤ **Активна система ниско налягане** – предназначена е за заливане на АЗ на реактора с вода при МПА, както и за охлаждане на АЗ при спрян реактор за презареждане на горивото и ремонт.

Системата включва три канала, като във всеки канал има помпа за аварийно планово разхлаждане, топлообменник, регулиращи клапани, дроселиращи устройства, тръбопроводи и арматури.

➤ **Пасивна система с хидроаккумулятори** – предназначена е за бързо заливане на АЗ при разхерметизиране, включително и при МПА.

Системата се състои от четири независими канала, свързани директно с корпуса на реактора, като два канала подават водата на входа на АЗ и два на изхода от нея. Всеки канал включва резервоар с разтвор на борна киселина с концентрация 16гр/кг, бързо задействащи затварящи клапани, обратни клапани и свързващи тръбопроводи. Резервоарите са цилиндрични съдове с обем  $60\text{м}^3$ , в които се съдържа  $50\text{м}^3$  разтвор на борна киселина под налягане 5,9 МРа, създавано от азотна възглавница над свободното ниво. Обратните клапани самозадействат при спадане на налягането под 5,9МРа, с което системата се привежда в действие.



## ***ЛОКАЛИЗИРАЩИ СИСТЕМИ***

### **➤ Пасивни и активни локализиращи системи**

При ВВЕР-1000 първи контур се разполага в херметичен бокс. Този бокс изпълнява ролята на пасивна локализираща система за безопасност. Спринклерната система е активна локализираща система за безопасност. Предназначението и е да понижава налягането в боксовете на I контур при МПА, както и да свързва радиоактивния изотоп йод -131. При скъсване на тръбопровод поради изпарението на прегрялата вода налягането в бокса се повишава. Системата разпръсква охлаждаща вода през дюзи, при което парата кондензира и налягането в херметичния бокс се понижава. Системата се състои от три канала. Всеки канал е включен към общия бетонов резервоар за охлаждаща вода и към топлообменен апарат чрез системата за аварийно охлаждане на ниско налягане. Освен това всеки канал включва резервоар за натриев тиосулфат, ежектор на подкачваща помпа, центробежна помпа и система от дюзи за разпръскване на водата.

Безопасността на АЕЦ е основен преоритет на всяка страна имаща ядрени мощности, като се предприемат подходящи и разумни действия от персонала на централата с цел опазване на живота и здравето на хората, и околната среда.

### **Изготвили:**

Венислав Иванов

**12 б клас**

**специалност: Ядрена енергетика**