



## ДОКЛАД

### „СИСТЕМИ ОСИГУРЯВАЩИ БЕЗОПАСНА РАБОТА НА АЕЦ”

При експлоатацията на атомни електроцентрали (АЕЦ) съществува вероятност, макар и много малка, да възникне авария с възможни радиационни последствия за населението.

#### *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.

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.

#### *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.

### ***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.

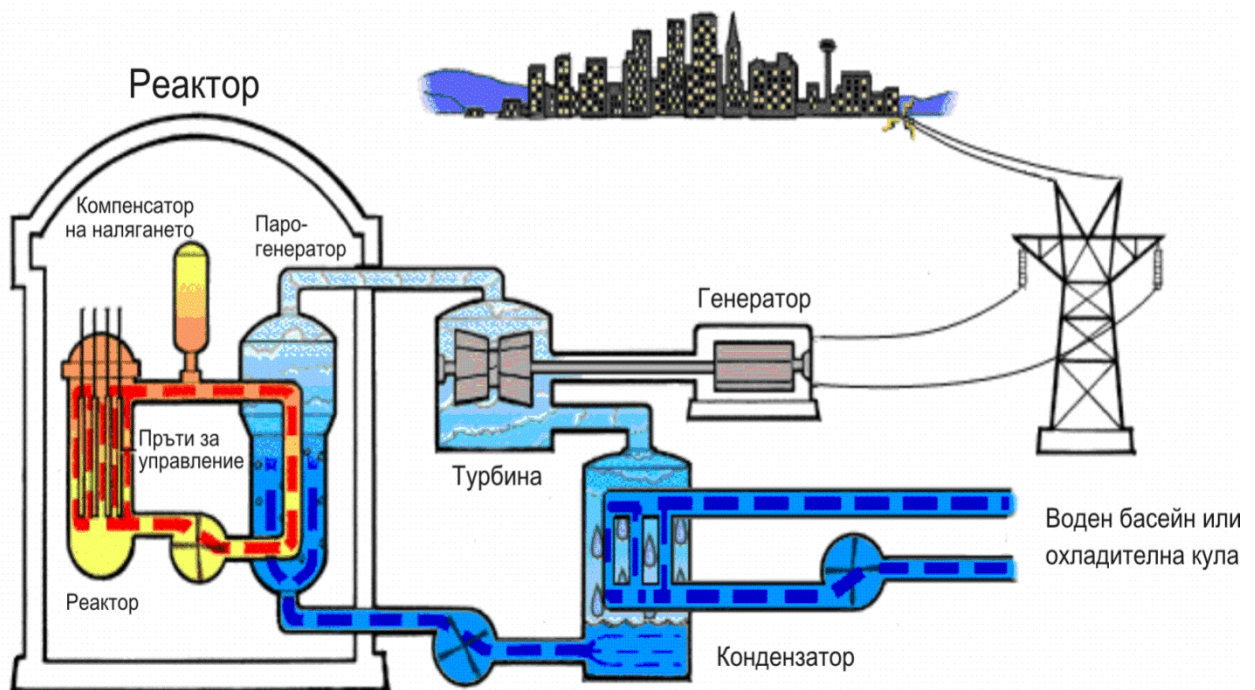
Енергията от деленето на тежките ядра нагрява урановите пръти, наречени топлоотделящи елементи, както и забавителя. За тяхното охлаждане се изгражда топлоотвеждаща система. Обикновено в нея се използват вода, течни метали и органични течности, които циркулират около топлоотделящите елементи и отвеждат 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. забавяващи 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.

### *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 циркуляция 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.

#### **Управление на реакцията и охлаждане**

Самото управление на реакцията на делене – или мощността се осъществява със т. нар. СУЗ – Система за управление и защита. За реакторите ВВЕР 1000 тя се състои от 61 поглъщащи пръта, разпределени в 10 групи. Всички пръти са еднотипни и се използват едновременно за управление и защита. Тези пръти са изградени от елементи като бор, кадмий, хафний, поглъщащи потока от неутрони, възпирайки ускоряването на верижната реакция.

По време на работа на реактора при смяна на мощността се получават т. нар. ксенонови колебания, т.е., продукт от разпада на урана след  $\beta$ - разпад дава ксенон, който много добре поглъща неутрони. Всички групи поглъщащи пръти се използват за защита на реактора. За по-ефективно управление, реакторът разполага с аварийна защита (АЗ) и няколко степени предупредителни защиты (ПЗ). Аварийната защита се използва само в

краен случай, когато системите за управление и защита не съумеят да овладеят произтичащо неуправляемо увеличение на мощността. Това е изключително рядко събитие.

Интензивността на ядрената реакция се контролира от забавителни пръти, които се вмъкват в реактора от горната му страна. Те са изработени от поглъщащи неутроните материали и забавят верижната реакция според това до каква степен са вмъкнати в реактора. В случай на нужда той може да бъде спрял с пълното вкарване на забавителните пръти в корпуса му

### **Ядрена 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 циркулационния 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 циркулационен 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.

➤ **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.

➤ **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.

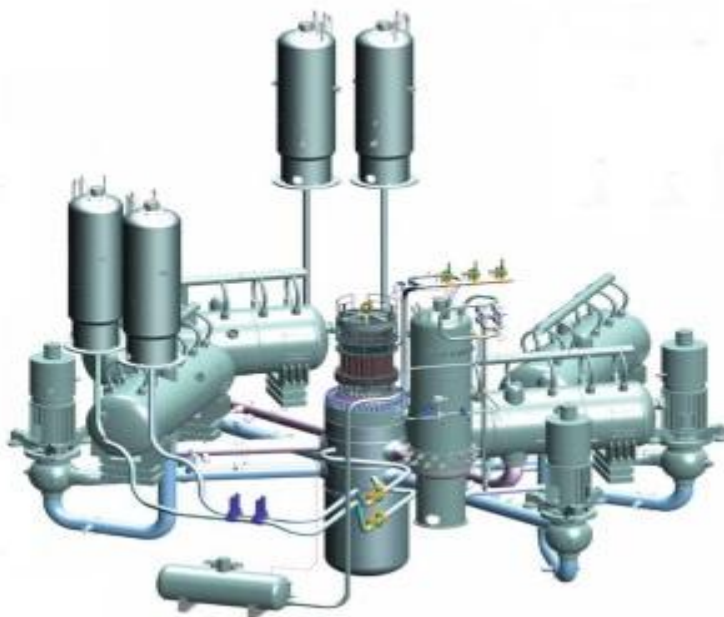
### ***ЛОКАЛИЗИРАЩИ СИСТЕМИ***

- **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.

Безопасността на АЕЦ е основен приоритет 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.





### **Защитни и локализиращи системи на безопасност при ВВЕР-1200**

ВВЕР-1200 е от серия реактори от 3+ поколение. Характерно за него е, че херметичната му обвивка (контеймънт) е двойно запечатана.



Мощността на ВВЕР-1200 е повишена с 20% капацитет при приблизително същия размер на оборудване, както при ВВЕР-1000. Има експлоатационен срок от 60 години, може работи 18 месеца без зареждане както и други специфични показатели подобри.

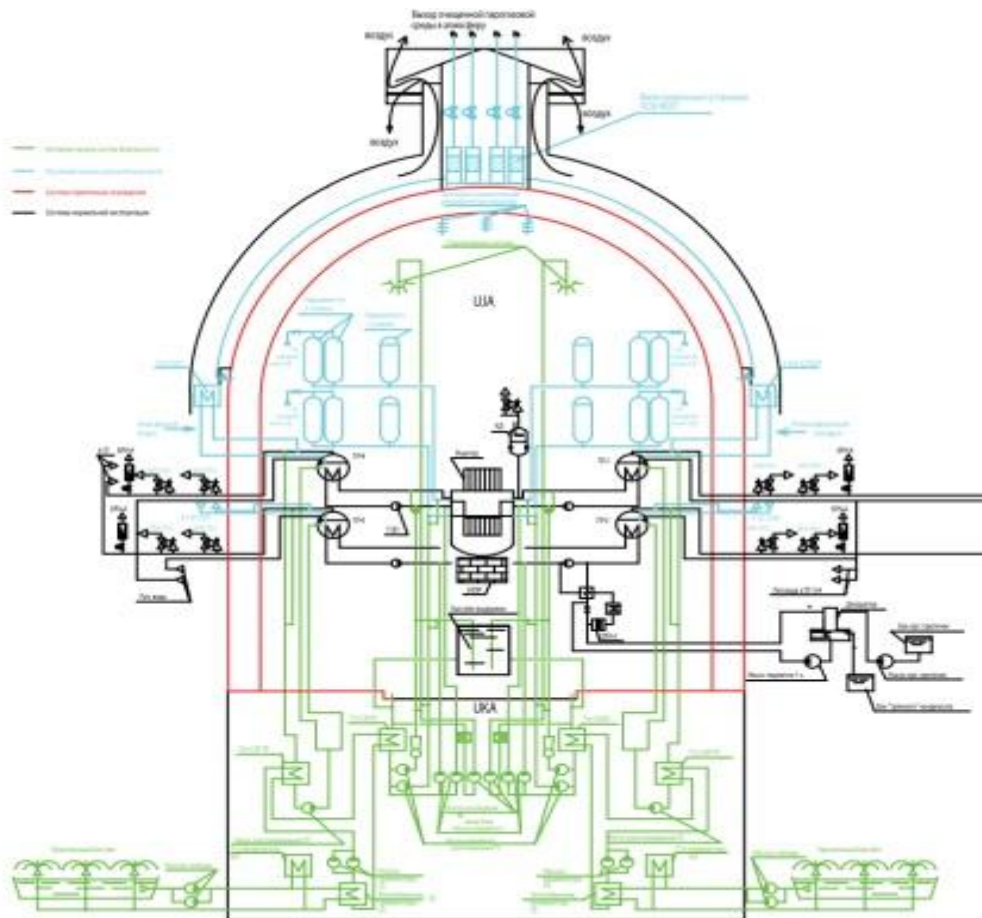
#### Основные технические характеристики РУ В-392 в сравнении с РУ В-320 и В-392М

Параметр	Значение			
	В-320	В-392	В-392У	В-392М
Установленная номинальная мощность энергоблока, МВт	1000	1000	1000	1200
Номинальная тепловая мощность реактора, МВт	3000	3000	3000	3200
Давление теплоносителя первого контура, МПа	15,7	15,7	15,7	16,2
Давление пара в парогенераторах, МПа	6,27	6,27	6,27	7,0
Температура теплоносителя на входе в реактор при работе на номинальной мощности, °С	290	291	291	298,6
Температура теплоносителя на выходе из реактора в циркуляционные петли при работе на номинальной мощности, °С	320	321	321	329,7

#### Основни характеристики на ВВЕР-1200

Характеристика	ВВЕР-210	ВВЕР-365	ВВЕР-440	ВВЕР-1000	ВВЕР-1200
Топлинна мощност на реактора, MW	760	1325	1375	3000	3200
КПД, %	27,6	27,6	32,0	33,0	>35,0
Налягане на парата пред турбините, kg/cm <sup>2</sup>	29,0	29,0	44,0	60,0	70,0
Налягане в първия контур, kg/cm <sup>2</sup>	100	105	125	160,0	165,1
Температура на водата, °С					
на входа на реактора	250	250	269	289	298,6
на изхода на реактора	269	275	300	319	329,7
Диаметър на активната зона, m	2,88	2,88	2,88	3,12	—
Височина на активната зона, m	2,50	2,50	2,50	3,50	—
Диаметър на <u>топлоотделящите елементи</u> , mm	10,2	9,1	9,1	9,1	—
Брой на топлоотделящите елементи в касетата	90	126	126	312	—
Зареждане с уран, t	38	40	42	66	—
Средно <u>обогатяване на урана</u> , %	2,0	3,0	3,5	3,3 – 4,4	4,71 – 4,85
Средно изгаряне на гориво, MW·ден/kg	13,0	27,0	28,6	40	>50





**Пасивни и активни системи за безопасност- ВВЕР-1200** имат двойна херметична обвивка и напълно пасивни системи, работещи независимо от наличието на сила и действия на операторите. Те имат т. нар. капан стопилка SPOT – система и пасивна система водород рекомбинация катализатори, която трябва да предотврати натрупването на водород в съвременните АЕЦ. Последната система представлява единична празна поставка с катализатора в долната част, което води до изгаряне на водорода и в този случай цялото количество водород, съдържащ се в атмосферата на херметичната обвивка изгаря. Друга интересна иновация е SPOT - система за отвеждане на топлината, която е пасивна система. SPOT системата е топлообменник потопен в първи контур на ВВЕР-1200 и освобождава топлина в атмосферата.

**Изгвил:** Ростислав Тодоров–10 клас ПГЯЕ- Козлодуй

**Специалност:** Топлотехника

**Ръководител:** инж.Валентина Станева