

ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ - СОФИЯ

ДОКЛАД

**ТЕЖКИ АВАРИИ В АТОМНИТЕ
ЕЛЕКТРОЦЕНТРАЛИ**

Изготвил:

Мариела Младенова

София, 2013г.

1. Въведение

Ядреният реактор е съоръжение, в което се осъществява самоподдържаща се управляема верижна реакция на делене на тежки ядра.

Въпреки че човечеството използва едва от скоро ядрените сили, ядрени реакции е имало от само себе си постоянно. Петнадесет природни реактора са открити до сега. Трите фосилни реактора в Окло работели преди 2 милиарда години и произвеждали средна мощност 100kW. Като природен реактор се считат дори и звездите. Те произвеждат светлинно и топлинно излъчване чрез термоядрен синтез.

Благодарение на италианския физик Енрико Ферми през 1942г. в Чикаго е създаден първият ядрен реактор и с него възможността човечеството да получава голяма и чиста електрическа мощност.

С времето ядрената енергия се е развивала и днес се експлоатират 189 атомни централи с 437 реактора в 29 страни. С най-голямо производство на ядрена енергия са САЩ, Франция, Япония и Русия. Като тези страни са и най-големите производители на съоръжения за АЕЦ.

Страна	Брой АЕЦ	Брой блокове	Мощност MW	% от произвежданата ел. енергия в страната	Население (млн. души)
САЩ	65	103	100 549	19	312
Франция	20	58	63 130	78	65
Япония	17	50	44 215	30	128
Русия	10	33	23 643	16	142
Великобритания	9	16	9 243	19	63
Германия	7	9	12 816	48	82
Индия	6	20	4 391	3	1 240
Испания	6	8	7 560	20	46
Канада	6	19	13 500	16	34
Южна Корея	4	23	20 739	39	50
Украйна	4	15	13 107	48	46
Китай	4	17	12 816	2	1 350
Швейцария	4	5	3 278	40	7.9
Швеция	3	10	9 395	48	9.4
Тайван	3	6	5 018	22	23
Белгия	2	7	5 927	54	11
Чехия	2	6	3 766	32	10.5
Финландия	2	4	2 780	28	5.4

Страна	Брой АЕЦ	Брой блокове	Мощност MW	% от произвежданата ел. енергия в страната	Население (млн. души)
Словакия	2	4	1 816	57	5.4
Пакистан	2	3	725	3	176
Аржентина	2	2	935	7	41
Унгария	1	4	1 889	38	10
България	1	2	1 906	44	7
Бразилия	1	2	1 884	3	196.7
ЮАР	1	2	1 860	7	50
Мексико	1	2	1 530	6	115
Румъния	1	2	1 300	9	21
Словения	1	1	688	40	2
Холандия	1	1	482	4	16.7
Армения	1	1	375	42	3.2

Въпреки големите предимства на ядрената енергия, съществува риск от ядрени аварии. Тези аварии се делят на:

Проектна авария: авария, с отчитането на която е проектирана ядрената централа в съответствие с определени проектни предели, включително степен за повреждане на горивото и освобождаване на радиоактивни вещества в околната среда;

Надпроектна авария: авария, чиито последствия са по-тежки от проектната авария, но без значително повреждане на активната зона;

Тежка авария: авария, която предизвиква значително повреждане на активната зона, съпроводено с изпускане на радиоактивни продукти.

2. Фази на развитие на тежката авария

Начало на тежката авария - за разлика от проектните аварии тежките аварии се характеризират с разрушаване на обвивките на топлоотделящите елементи, което съответства на температурен праг от 1200°C на изхода от активната зона.

Аварията протича основно в две фази: вътрешно-корпусна и извън корпусна фаза.

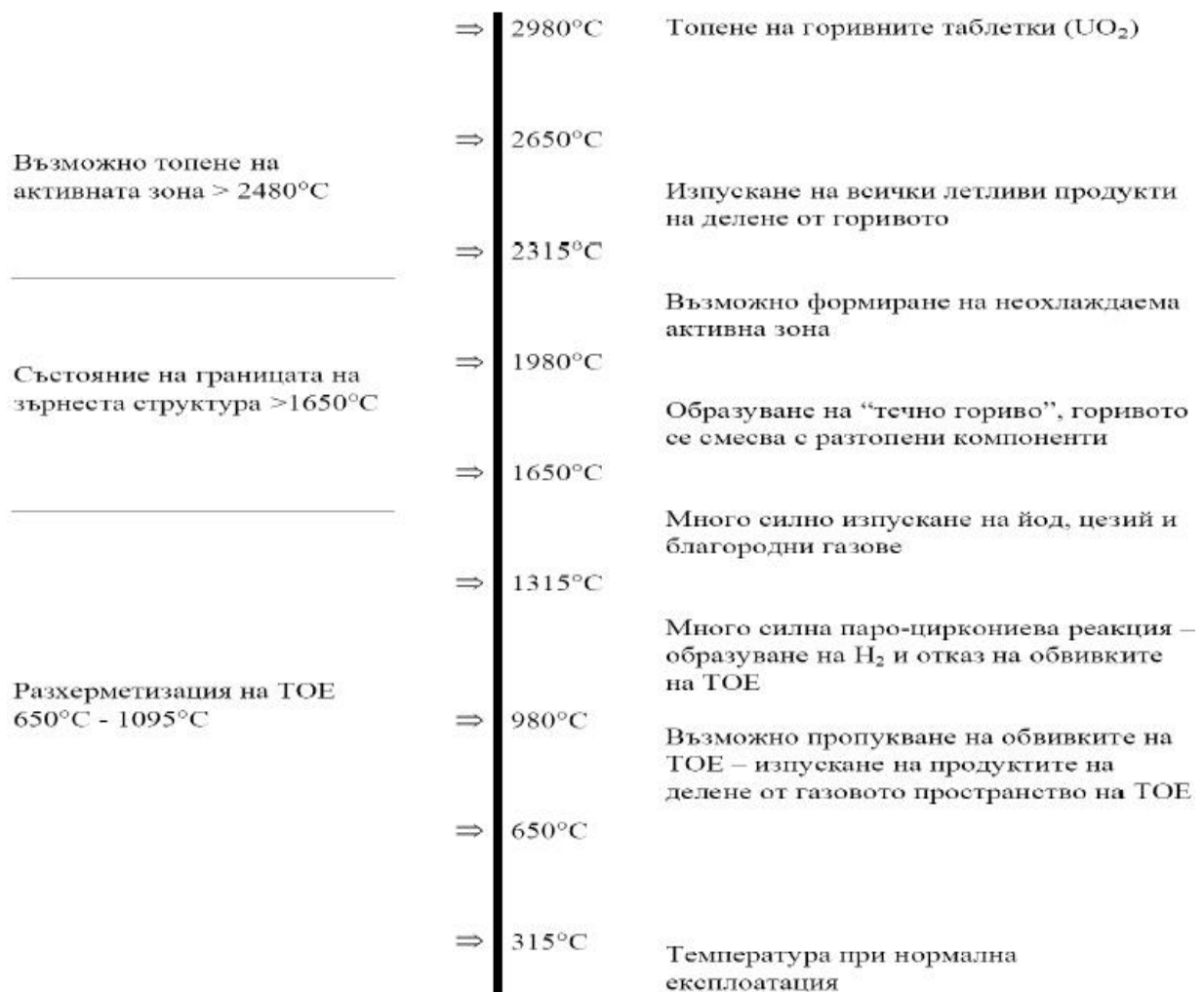
Характерни процеси за вътрешно-корпусната фаза:

- Прегряване на горивото и обвивката на топлоотделящите елементи;
- Процес на екзотермична оксидация на обвивката на топлоотделящите елементи, съпроводен с отделяне на водород;
- Повреждане и разрушаване на обвивката на топлоотделящите елементи;
- Значителна скорост на генериране на водород и възможни процеси на горене;
- Разтопяване на активната зона и релокализация на разтопената маса;

- Взаимодействие между стопилката и наличното количество вода в корпуса на реактора;
- Разгриване на корпуса на реактора в областта на контакт между стопилката и стената на корпуса.

Характерни процеси за извън-корпусната фаза:

- Взаимодействие на стопилката с бетона;
- Попадане на стопилката в помещенията на хермозоната;
- Повторно повишаване на налягането;
- Процеси на горене на водорода.



3. Фактори, от които зависи безопасността

- **Машинен фактор** – функция на надеждността на оборудването, автоматичното управление на технологичните процеси, защитните системи и системите за безопасност;
- **Човешки фактор** – функция на многообразието на дейности, извършвани за времето на експлоатация на атомната електроцентрала.

Големите аварии в атомните електроцентрали се случват в резултат не на друго, а предимно на човешка грешка и по-точно поредици от грешки в изпълнението, съчетани с особеностите в конструкцията на конкретното ядрено съоръжение.

След аварията възникнали в АЕЦ Три Майл Айлънд (САЩ), АЕЦ Чернобил (Украйна) и АЕЦ Фукушима (Япония) решаването на проблемите на безопасността е от голямо значение за развитието на ядрената енергетика. Нека накратко ги проследим.

4. АЕЦ “Три Майл Айлънд”

- Тази атомна електроцентрала е с два реактора с вода под налягане (PWR)
 - Блок 1 е с 800 MW, въведен в експлоатация през 1974г.;
 - Блок 2 е бил с 900 MW, въведен в експлоатация през 1978г.
- Особенности на този тип реактори

Реакторите с вода под налягане са най-разпространеният тип ядрени реактори използвани в атомните електроцентрали. В тях едновременно за забавител и топлоносител се използва обикновена вода под налягане. Технологичната схема на атомна електроцентрала, използваща този тип реактори е двуконтурна, т.е. водата използвана за охлаждане на реактора и работното тяло използвано за задвижване на турбината са две различни тела свързани помежду си чрез парогенератор. В сравнение с останалите реактори с топлинни неутрони този тип имат най-малко водо-ураново съотношение, представляващо обемното отношение вода – гориво. С намаляването му:

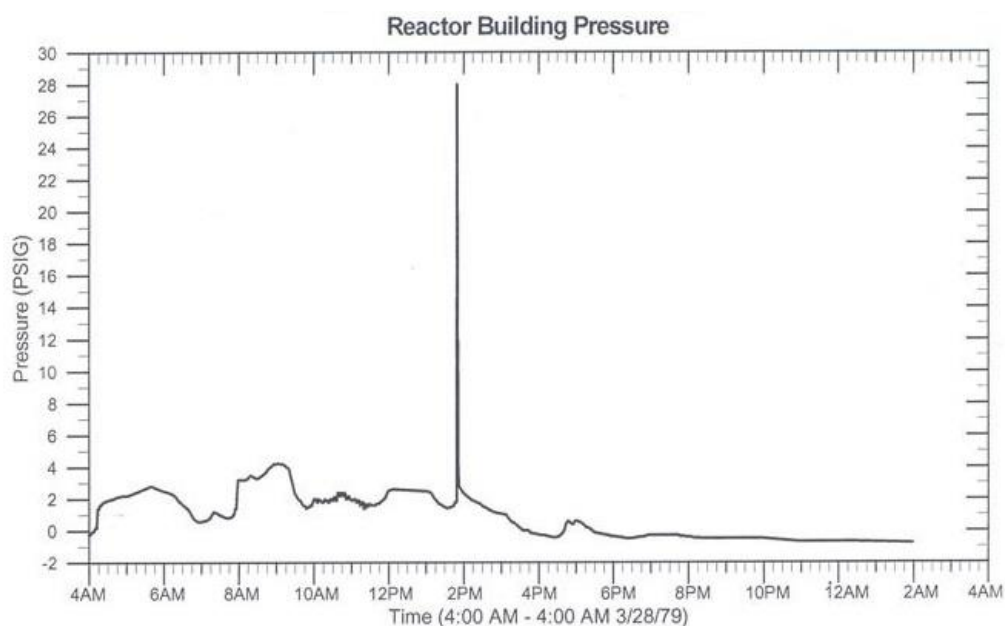
- Нараства коефициентът на размножаване на бързи неутрони. Свободният пробег на бързите неутрони е по-голям от стъпката на решетката и неутроните могат да предизвикат делене не само в топлоотделящия елемент, където са генерирани, но и в съседни топлоотделящи елементи. Това свойство се нарича още кръстосан ефект;
 - Намалява вероятността за резонансно поглъщане;
 - Коефициентът на използване на топлинни неутрони нараства;
 - Дължината на миграция на неутроните намалява, от там намалява и изтичането на неутрони от активната зона. От друга страна се увеличава броят на регулиращите органи на системата за управление и защита.
- Аварията

В ранните часове на 28 март 1979г., двете подхранващи помпи на втори контур на Блок 2 спират. От висящи табелки не е било възможно да се види, че клапаните на системата за аварийна подхранваща вода са били затворени. Операторите не са знаели, че предпазният клапан на компенсатора на налягане е пропускарал. Това е довело до изходното събитие – загуба на основна подхранваща вода. Съгласно симптомно-ориентираните аварийни инструкции, при загуба на топлоносител във втори контур за оптимално и устойчиво състояние е разхладеният реактор. Целта на операторите е била спиране на реактора. Трябва да се отбележи, че всички действия

се свързват с управление на функциите за безопасност за да се осигури ядрената безопасност и да се запази целостта на активната зона:

- Функция за безопасност 1 – Контрол на реактивността;
- Функция за безопасност 2 – Поддържане на количеството топлоносител;
- Функция за безопасност 3 – Контрол на налягането на първи контур;
- Функция за безопасност 41 – Отвеждане на топлината от активната зона чрез принудителна циркулация.

Постигнат е контрол на реактивността чрез заглушаване на реактора. От това, че операторите не са знаели за възникналия теч не се поддържа количеството топлоносител и няма контрол на налягането. След редица пасивни и активни грешки се стига до изравняване на наляганията на барботажния резервоар и контеймента, заради спукване.



Последвало е нарастване на температурата и налягането в контеймента и операторите задействат системата за охлаждане на зданието и вентилаторите, което е недопустимо при теч от първи контур, защото по този начин се изхвърлят радиоактивните вещества в околната среда. Не се поддържа количеството топлоносител и температурата на обвивката на горивото нараства, при което започва паро-циркониева реакция. Цялостта на контеймента е запазена (функция за безопасност 5), но има изхвърляне на радиоактивност (функция за безопасност 9).

- Доказано е, че реакторът реагира съгласно проектите изисквания, но недостатъци и пропуски в обучението, тренировката и в интерфейса за управление не позволяват на операторите да се справят с аварията.

5. АЕЦ “Чернобил”

- Тази атомна електроцентрала е с четири реактора с висока мощност (1000 MW) канален тип със забавител графит (РБМК). Пуснати съответно през 1977, 1978, 1981 и 1983 г.
- Особености на този тип реактори

В тези реактори за забавител се използва графит, а за топлоносител – обикновена вода. Схемата на атомна електроцентрала с графито-воден реактор е едноконтурна с два циркуляционни кръга. Активната зона е изградена от графитни блокове, в които са оформени вертикални цилиндрични отвори за горивните канали. За презареждане на ядреното гориво не е нужно спиране на реактора, което осигурява по-добри неутронно-физични характеристики на активната зона и позволява по-равномерно разпределение на неутронния поток. Като основно предимство на този тип реактори се счита липсата на скъпоструващите парогенератори и корпус на реактора. Но за сметка на това липсата на цялостна защитна обвивка, ниската скорост на въвеждане на регулиращите органи до крайно долно положение и не достатъчно ефективна аварийна защита са съществени недостатъци.

- Аварията

На 26 април 1986г., на Блок 4 се извършва експеримент с турбогенератор №8, с който се цели да се провери възможността за използване на механичната енергия на въртене на ротора на турбината за захранване на системите за безопасност при условия на пълно обезточване на ядрена електроцентрала. Този експеримент е продиктуван донякъде от един инцидент станал няколко години по-рано, когато израелска ракета удря иракска атомна централа, която има същия тип графито-воден реактор. Планирано е спирането на реактора за ремонт и презареждане, а с това и извършване на експеримента. Както при всяка една дейност от важно значение е безопасността – контрола на функциите за безопасност:

- Контрол на реактивността (функция за безопасност 1);
- Охлаждане на активната зона (функция за безопасност 2);
- Контрол на топлоотвеждането (функция за безопасност 3);
- Целостта на контура (функция за безопасност 4).

Започва понижаването на мощността, а с това и опитът. Блокира се системата за аварийно охлаждане на реактора, за да се предотврати задействането ѝ по лъжлив сигнал, получен в резултат на експеримента. Реакторът приближава дъното на “йодна яма” и предстои разотравяне, забавено от ново понижаване на мощността, която от своя страна става прекалено ниска за експеримента. Изваждат се недопустимо голям брой регулиращи пръти от активната зона. Разходът на подхранваща вода е намален под нормалното ниво, а оперативният запас от реактивност достига стойност изискваща спиране на реактора, но той не

е спрян. Следва неконтролно нарастване на мощността и на генерирането на пара в активната зона. Оказва се, че регулиращите пръти не могат да се въведат след средата на активната зона. Следващите секунди са фатални. Разрушават се горивните таблетки и горивните канали. Последват две експлозии.

- Ограничените познания за физиката на реакторите, ниската култура на безопасност, лошата организация на експеримента, смяна на екипи по време на експеримент е човешкият фактор допринесъл за тази авария. Също така оказват влияние проектните недостатъци като: положителният плътностен коефициент на реактивност - не дава възможност на реактора да се саморегулира в аварийна ситуация както и каналната конструкция, при която вероятността за допълнителни повреди е по-голяма.
- От голямо значение за броя на жертвите е дълго пазената в тайна случваща се авария. Ненавременното евакуиране е довело до увеличаване на броя на загиналите.
- Построеният за рекордно кратко време, малко след аварията саркофаг е проектиран да издържи максимум 30 години. През април 2012г. е стартиран строежа на нов защитен обем, който се очаква да издържи поне 100 години.

6. АЕЦ “Фукушима”

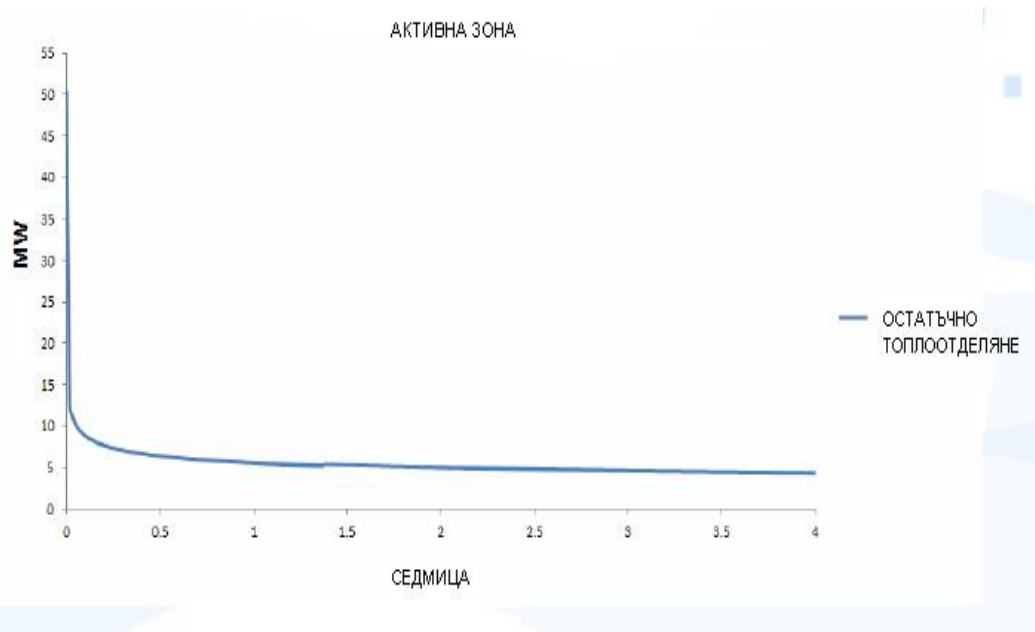
- Тази атомна електроцентрала е с шест реактора с кипяща вода (BWR)
 - Блок 1 е с мощност 439 MW, въведен в експлоатация през 1971г. (работещ преди земетресението);
 - Блок 2 е с мощност 760 MW, въведен в експлоатация през 1974г. (работещ преди земетресението);
 - Блок 3 е с мощност 760 MW, въведен в експлоатация през 1976г. (работещ преди земетресението);
 - Блок 4 и Блок 5 са с мощност 760 MW, въведени в експлоатация през 1978г. (в ремонт преди земетресението);
 - Блок 6 е с мощност 1069 MW, въведен в експлоатация през 1979г. (в ремонт преди земетресението).
- Особенности на този тип реактори

В кипящите реактори от корпусен тип за топлоносител и забавител се използва обикновена вода. Схемата използвана в атомните електроцентрали с този тип реактори е едноконтурна. В активната зона се генерира парата, която постъпва направо в парната турбина и по този начин се опростява технологичната схема. Мощността на реактора се регулира в широк диапазон само чрез циркулация на топлоносителя. Регулиращите органи на всички конструкции се въвеждат в активната зона през долната част на корпуса. Причината за това е наличието на сепариращи устройства в горната част на корпуса. Аварийната защита се задейства пасивно чрез хидравлична система. Недостатъкът на реакторите с кипяща вода е натрупването на накип по

топлоотделящите елементи и необходимостта от много строг водохимичен режим, заради едноконтурната схема.

- Аварията

На 11 март 2011г. земетресение с магнитут от 8.9 по Рихтер удря Япония. Централата е проектирана за магнитут от 8.2 по Рихтер. Реакторите издържат на земетресението, но има пълна загуба на външно електрическо захранване. Сработва аварийната защита и верижната реакция е прекратена.

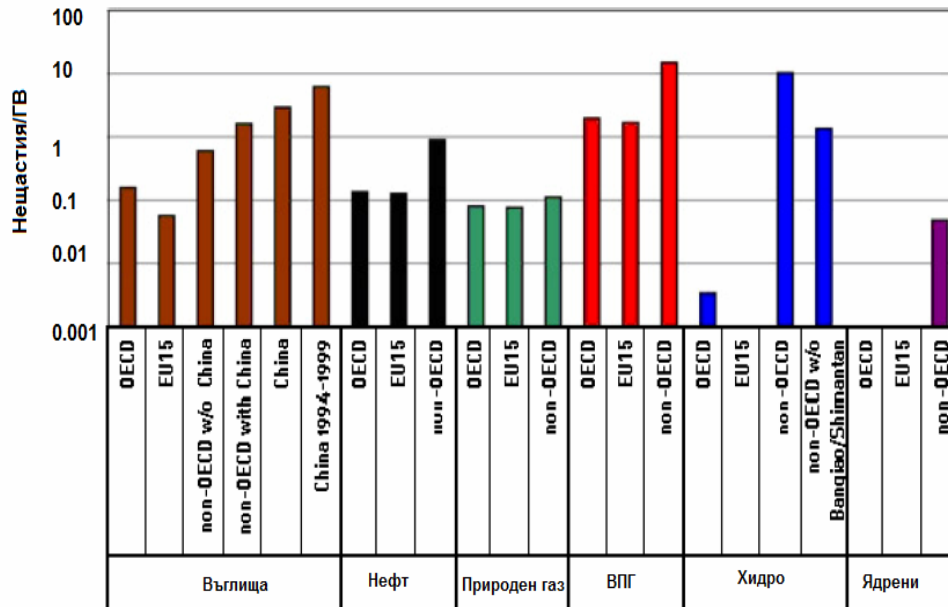


Стартират се дизел генераторите, но цунами удря централата и дизел-генераторните станции са напълно разрушени. Проектните стени на централата срещу цунами са 6.5м, а реалните вълни са над 7м. Възниква пълно обезточване по обща причина. Акумулаторните батерии се изтощават. Започва загуба на функциите за безопасност. Ак3 се оголва. Започва паро-циркониева реакция. В блок 2 налягането в контейнмента е понижено от 8 на 4 бара. Възникват експлозии в зданията на 1, 3 и 4 блок.

- Има изпускане на радиоактивни вещества в околната среда. Персонала е преоблъчен, а населението евакуирано.
- В момента условията са еквивалентни на студено спиране. Температурата на дъното на съда е $<100^{\circ}\text{C}$. Изхвърлянето на радиоактивни материали е под контрол.

7. Безопасността в съвременните атомни електроцентрали

- Направеният сравнителен анализ на риска от института Пол Шерер, Вилиген, Швейцария, показва минималния брой на преките нещастни случаи при производството на ядрена енергия в сравнение с останалите източници.



А след станалите тежки аварии са предприети мерки за увеличаване на безопасността в ядрените електроцентрали.

Съвременните проекти за атомни електроцентрали се отличават с взаимно резервиращи се активни и пасивни системи за безопасност:

- Активни системи:
 - Система за аварийно и планово разхлаждане;
 - Система за аварийно впръскване на високо налягане;
 - Система за аварийно въвеждане на бор;
 - Система за аварийна захранваща вода;
 - Система за аварийно извеждане на газ;
 - Система за защита на първи и втори контур от повишено налягане;
 - Сплинкерна система;
 - Система изолиране на защитната обвивка;
 - Техническо водоснабдяване;
 - Вентилация;
 - Надеждно електрозахранване.
- Пасивни системи:
 - Система за бързо въвеждане на бор;
 - Резервоари за системата за активно охлаждане на активната зона;
 - Система за пасивно отвеждане на топлина от херметичната обвивка;
 - Система за пасивно отвеждане на топлина от парогенераторите;
 - Система за пасивно доизгаряне на водород;
 - Система за улавяне и охлаждане на разтопената активна зона.

Предвидено е използването на редица решения за изтичането на радиоактивни вещества в околната среда, чрез локализиращи системи за безопасност:

- Двойна защитна обвивка с междинен конектор;
- Пасивна сиситема за филтрация на протичания;
- Система за доизгаряне на водорода на основата на пасивни рекомбинатори, разположени на местата където чрез детайлни изчисления е установено наличие на големи концентрации на водород;
- Сплинклерна система за намаляване на налягането в контейнмънта при аварии;
- Устройство за локализация на разтопена маса от активната зона (кориума) – то изпълнява следните функции:
 - Задържа течните и твърдите фрагменти от разрушената АкЗ, както и частите на корпуса на реактора;
 - Отдава топлина на охлаждащата вода;
 - Осигурява подаване на охлаждаща вода към кориума и извеждане на парата;
 - Удържа дъното на корпуса при откъсването му;
 - Минимизира изтичането на радиоактивни вещества и водород в пространството на херметичната обвивка.

През първите 24 часа след аварията в условията на пълна липса на електрозахранване охлаждането на кориума се осигурява от запаса от вода в резервоар на херметичната обвивка. За по-дълго удържане на кориума е предвидено водният запас да бъде попълван от външни източници.

За намаляване на човешката грешка операторният персонал минава обучение на пълно-машабен тренажор. В най-общ вид симулаторите представляват комбинация от математически модел на даденото оборудване, неговите работни състояния и процеси. В условия на тежка авария оперативният персонал разполага с Ръководство за Управление на Тежка Авария. То представлява набор от процедури, съдържащи инструкции за действия в условия на тежка авария. Целта на това ръководство е да доведе централата до безопасно състояние, което се реализира чрез две главни функции:

- Отвеждане на топлината;
- Управление на налягането.

След аварията във Фукушима се въвеждат „стрес-тестовете“, представляващи целенасочена преоценка на запасите по безопасност и устойчивостта на атомната електроцентрала при:

- Природни бедствия;
 - Очаквано утежняване на ситуацията при земетресения, наводнения и други природни бедствия;
 - Последващо разрушаване или липса на системи, компоненти и структури, водещи до стопяване на активната зона на реактора;
 - Определяне на запасите по безопасност и праговите ефекти;
 - Установяване на предимства и слабости, както и възможни подобрения.

- Загуба на функции по безопасност;
 - Допускания за загуба на нарастващ брой електрически системи;
 - Допускания за загуба на краен поглътител;
 - Комбинация и от двете;
 - Оценка на времето преди повреда на активната зона на реактора;
 - Установяване на предимства и слабости, както и възможни подобрения.
- Управление на тежки аварии.
 - Оценка на организацията за управление на аварии при екстремални условия;
 - Осигуряване целостта на херметичния обем;
 - Охлаждане на активната зона на реактора и на басейна за отлежаване на отработеното гориво;
 - Създаване на условия, позволяващи на оператора да управлява аварията;
 - Установяване на предимства и слабости, както и възможни подобрения.

8. Заключение

- В заключение може да се каже, че доказаната технология и усъвършенстваните средства за аварийна защита в съвременните ядрени реактори правят практически невъзможна авария от типа на тази в Чернобил. Ето защо, ако ядрената технология трябва да допринесе за задоволяването на бъдещите енергийни потребности и да облекчи сериозните ефекти, които оказват останалите енергийни източници върху околната среда, тя трябва да получи общественото одобрение. За тази цел е необходима разумна и безпристрастна информационна програма по всички аспекти. В противен случай развитието на този тип производство на енергия ще бъде възпрепятствано и дори спряно, а всъщност нито един източник няма да може да удовлетвори нуждите на бъдещите поколения, така както ядрената енергетика.

ЛИТЕРАТУРА

1. Велев В., К. Филипов, Ядрена техника, ИФО Дизайн, София, 2011г.
2. Глухов Г., М. Лаков, Ядрени реактори и парогенераторни инсталации, Сиела, София, 1999.
3. Аварийни инструкции на 3 и 4 блок на АЕЦ “Козлодуй”- състояние и развитие, Варна, 2006.
4. Европейско Физическо Дружество (ЕФД), Технически доклад – “Енергия за бъдещето – ядрената алтернатива”, 2007.
5. Рогачев А., “Европейски стрес-тестове: цели, обхват и организация на процеса”