

Пасивни системи за безопасност при ВВЕР-1000/В-466Б и АР1000

(доклад)

1. Увод

Пасивните системи се разглеждат като важен елемент при проектирането на съвременните ядрени реактори за изпълнение на критичните функции за безопасност. Съществуват различни типове пасивни системи в зависимост от специфичната конфигурация на реактора, подходящи за изпълнение на функции по безопасността свързани с първи контур или херметичната обвивка на реактора. Съгласно IAEA (International Atomic Energy Agency - Агенция за ядрено регулиране) пасивните системи за безопасност, проектирани за отвеждане на топлината от остатъчното топлоотделяне в активната зона на реактора след авария, се разделят в седем групи. В други три групи са разделени пасивните системи за безопасност свързани с отстраняване на топлината и намаляване на налягането в хермозоната, съответстващи на авария LOCA (loss-of-coolant accident - авария свързана със загуба на топлоносител). Сравнително нова група е пасивната система за безопасност във връзка с басейна за отработеното гориво.

Използването на пасивни системи за безопасност като акумулатори, кондензатори и изпарителните топлообменници както и гравитационно задвижвани инжекционни системи за безопасност позволяват да се спестят разходи, свързани с монтаж, поддръжка и експлоатация на активните системи за безопасност, които изискват няколко помпи с независими и резервирани електрически захранващи устройства. В резултат на това системите за пасивна безопасност се очаква да намерят широко приложение в IV-то поколение реактори. Друга причина за използването на системи за пасивна безопасност е потенциала за повишаване на безопасността чрез увеличаване на системната надеждност.

Съгласно IAEA-TECDOC-626, дефиницията за пасивна система е дадена като:

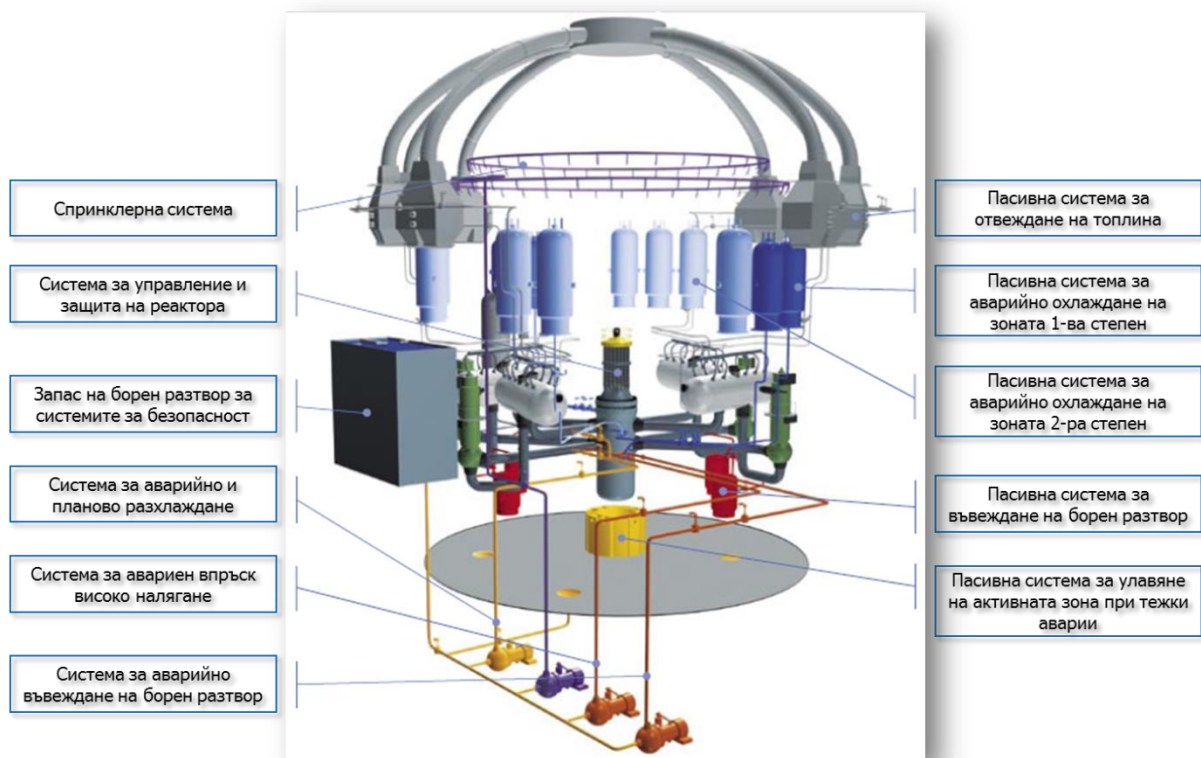
„Пасивна система е всяка система, която се състои изцяло от пасивни компоненти и структури или система, която използва активни съставки в много ограничен обем, за да стартира последващо пасивна операция.”

Според същия стандарт пасивните системи се разделят на 4 категории по пасивност:

Таблица 1. Категории по пасивност на системите

	Категория А	Категория В	Категория С	Категория D
Интелигентен входен сигнал	Не	Не	Не	Да
Външен захранващ източник или импулс	Не	Не	Не	Не
Движещи се механични части	Не	Не	Да	Ограничено
Движещ се работен флуид	Не	Да	Да	Ограничено

2. Пасивни системи за безопасност при ВВЕР-1000/В-466



Фигура 1. Защитни системи за безопасност

2.1. Пасивни защитни системи за безопасност

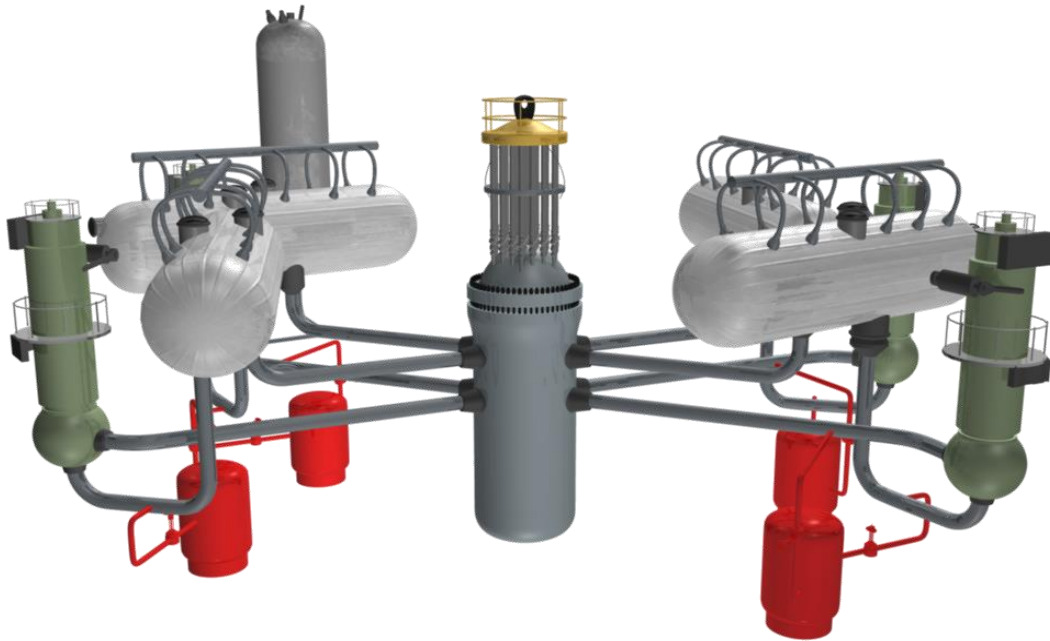
Система за аварийно охлаждане на АЗ - пасивна част

Системата за аварийно охлаждане - пасивна част, е предназначена за бързо инжектиране на разтвор на борна киселина в реактора за охлаждане на активната зона и нейното наводняване, при аварии със загуба на топлоносител, когато налягането в първи контур падне под 5,9 МПа и се състои от четири хидроакумулатора (НА-1) и тръбопроводи с клапани.

Система за бързо въвеждане на бор

Системата за бързо впръскване на борен разтвор е специална система за управление на надпроектни аварии без аварийно спиране на реактора и предназначени за привеждане на активната зона на реактора в подкритично състояние чрез инжектиране на концентриран разтвор на борна киселина в първи контур, при условията на отказ на системата за управление на реактора. Системата за бързо впръскване на борен разтвор се състои от четири канала, независими един от друг, всеки включващ

резервоар с разтвор на борна киселина, свързващ водопровод който се присъединяват към резервоара с главния тръбопровод на охлаждащата течност, водопровод Dnom 25 и вентили. Каналът на система за бързо въвеждане на борен разтвор е монтиран като байпас на първи контур и доставя концентриран разтвор на борна киселина в него, поради разликата в налягането от страната на засмукване.

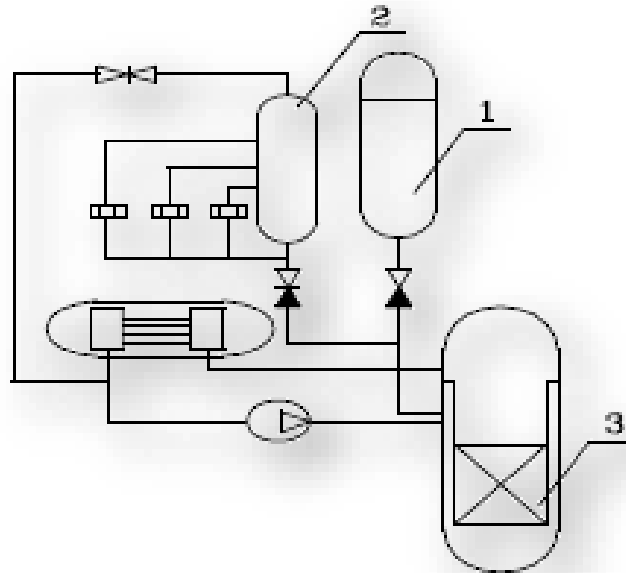


Фигура 2. Система за бързо въвеждане на бор

Пасивна система за заливане на активната зона(хидроакумулатори 2-ра степен)

Системата е предназначена за пасивно подаване на борен разтвор с концентрация от 16 г / кг в активната зона на реактора с цел отвеждане на остатъчното топлоотделяне и поддържане на активната зона в подкритично състояние в случай на теч в първи контур, придружен с прекъсване на електрозахранването, включително дизеловите генератори, по време на максималния възможен период от време (не по-малко от 24 часа). Системата се състои от осем хидроакумулатора (НА-2), обединени в четири групи. Структурата на всяка група на системата включва два двустепенни хидроакумулатора (обем 120 m³, всеки), тръбопроводи и вентили.

Хидроакумулатора е подложен на атмосферно налягане при нормални експлоатационни условия, съдържат разтвор на борна киселина с концентрация от 16 до 20 г / кг. Общият запас на вода в резервоари се приема да бъде 960 m³, счита се че осигурява необходимото количество за заливане на АЗ.



Фигура 3. Хидроакумулатори 2-ра степен

Хидроакумулатори 2-ра степен са свързани чрез преливна линия към тръбите на хидроакумулатори 1-ва степен, които пък са свързани с реактора. Борния разтвор се излива в реактора под налягане от хидроакумулаторите.

Пасивна система за отвеждане на топлината (PHRS)

Системата е предназначена за отвеждане на остатъчната топлина от активната зона на реактора по време на аварии със загуба на всички източници на електрическа енергия, както когато първи контур е запечатан, и при поява на течове в първи или втори контур. В случай на пробив в първи контур системата работи заедно с ECCS (втора степен хидроакумулатор) след като първо налягането пада до стойност, съответстваща на работа на хидроакумулаторите.

Системата се състои от четири независими вериги на естествена циркулация, по една на всеки циркуляционен кръг. Всеки кръг включва два топлообменни модула, тръбопроводи за парния кондензат, система с клапи, въздуховоди, система за подаване на въздух и отвеждане, шибъри и регулиращи устройства.

Тръбите взимат пара от парната линия на всеки ПГ и отива чак до колектора, който разпределя парата по отделни тръби към два топлообменни модула. Кондензата от всеки топлообменник се връща в парогенератор през тръбите.

Парата в топлообменниците на системата се охлажда от атмосферния въздух. Охлаждащият въздух се взема от атмосфера извън контеймента. Въздуха минава през защитни мрежи поради естествена тяга и попада в пръстеновиден коридор разположени около контеймента. След това въздуха минава през топлообменния модул чрез индивидуални въздуховоди. Охлаждащия въздух отнема топлина от парата в топлообменниците и отива по специално изготвени профили на въздуховоди, които се обединяват в общ колектор - дефлектор.

Въздушни шибъри са предвидени нагоре и надолу по веригата на всеки топлообменник в посоката на въздушния поток. Между топлообменника и горните въздушни шибъри е осигурено устройството за регулиране, което е предназначено за регулиране на въздушния дебит в режим на работа на системата и въздушните шибъри, монтирани на входа на топлообменния модул и изхода, предназначени за работа на топлообменника в случай на тяхното отваряне. В режим на работа въздушните клапани се отварят напълно, в режим на готовност на въздушните клапани са в затворено положение, за да се намалят топлинните загуби. По време на работа на блока PHRS е постоянно свързан към парогенераторите.

2.2. Пасивни локализиращи системи за безопасност

Локализиращи системи за безопасност (LSS) са системите, предназначени за предотвратяване или ограничаване на разпространението на радиоактивни вещества, освободен по време на аварии, както и на радиацията извън границите, установени в проекта, както и предотвратяване на тяхното освобождаване в околната среда.

Система от защитни заграждения

Системата от защитни заграждения се състои от първични (вътрешен) и вторични (външни) заграждения. Първичната (вътрешен) обвивка е изработен от предварително напрегнат бетон и предназначени за задържане на радиоактивните вещества в рамките на херметичния обем, установени в дизайна с цел ограничаване на тяхното разпространение в околната среда при проектни аварии. Външната обвивка е предназначена за защита на системи и компоненти на сградата на реактора срещу специфични природни и причинени от човека, външни въздействия. Двете обвивки осигуряват биологично екраниране срещу йонизиращи лъчения.

Спринклерна система

Спринклерна система е предназначена за изпълнение на функцията на тяхната параметри (налягане и температура) в контеймента.

Система за задържане на стопилката и охлаждане

Системата е предназначена за задържане на течни и твърди фрагменти от повредената АЗ, части от корпуса на реактора, вътрешността при тежка авария с топене на АЗ и корпуса на реактора. Системата за улавяне и охлаждане на разтопената активна зона има като основен компонент устройство за локализация на стопилката. Тя е предназначена за удържане и охлаждане на течните и твърдите фрагменти на разрушената активната зона, частите на корпуса на реактора и вътрешно-корпусните устройства при тежка авария с разтопяване на активната зона. В проекта честотата за такова събитие се оценява със стойност по-ниска от 10^{-7} 1/реакторна година. Въпреки това, на основата на концепцията за дълбоко ешелонирана защита и вземайки предвид, че защитната херметична конструкция е крайна бариера за удържане в установените от проекта допустими граници на изхвърляне на радиоактивните вещества и с цел ограничаване на тяхното разпространение в околната среда, в проекта се постулира тежка авария с разтопяване на активната зона и излизането ѝ извън границите на корпуса на реактора.

Система за аварийно управление на водород и аварийно отстраняване на водород в контеймента

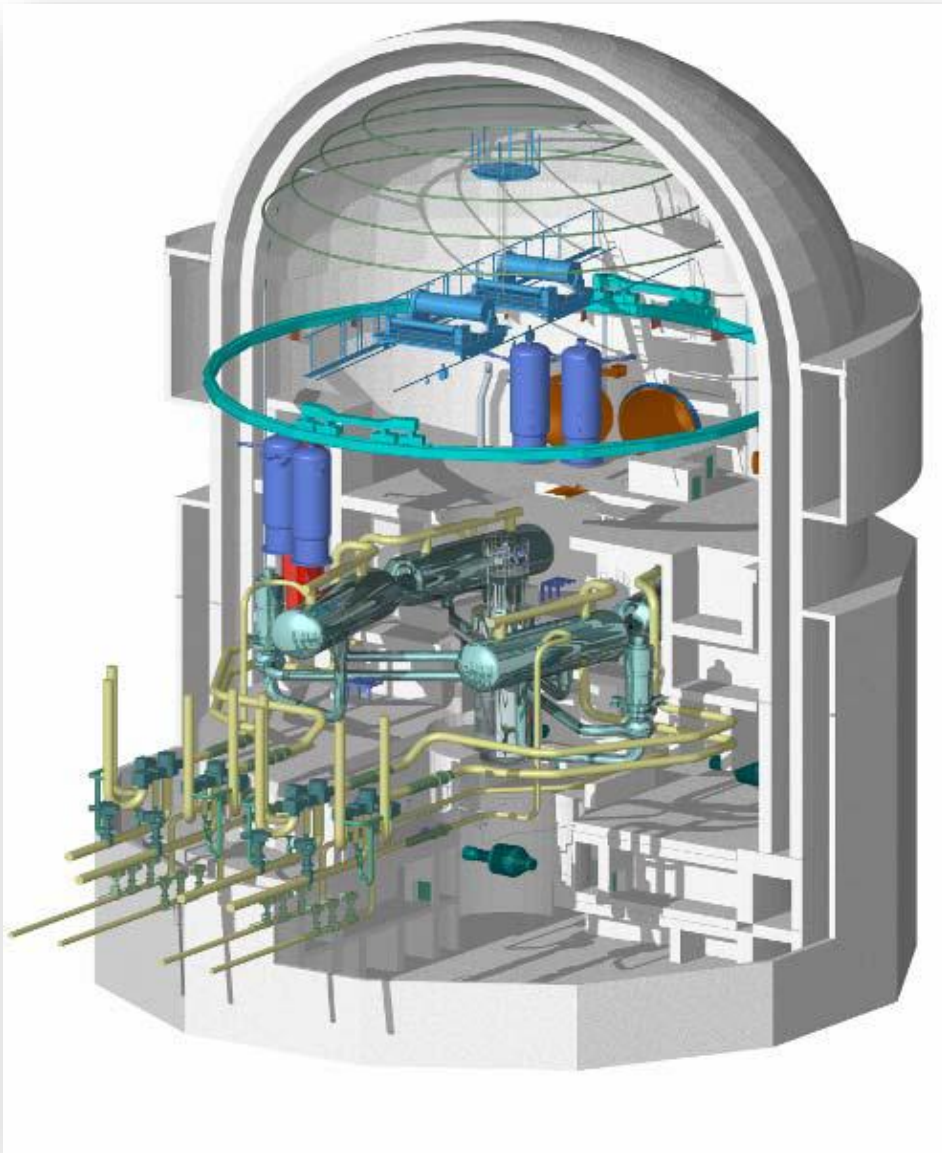
Системите изпълняват функциите на профилактика срещу образуването на пожаро-експлозивни смеси в района на локализиране на аварии.

Пръстеновидна пасивна филтрираща система

Пръстеновидната пасивна филтрираща система е предназначена за организирано пречистване на течове от центалата чрез вътрешна защитна обвивка в пръстен, преди изпусакнето им в атмосферата при надпроектни аварии, причинени от загуба на всички източници на електрическа енергия (обезточване), а също и при тежки аварии с топене на активната зона.

Контейнмент

Системата е предназначена за изолация на тръби, съдържащи различни носители на радиация. Чрез създаване на граница на херметичния обем, за да се предотврати продукти на делене да се освобождават в резултат на загуба на топлоносител от първи контур.

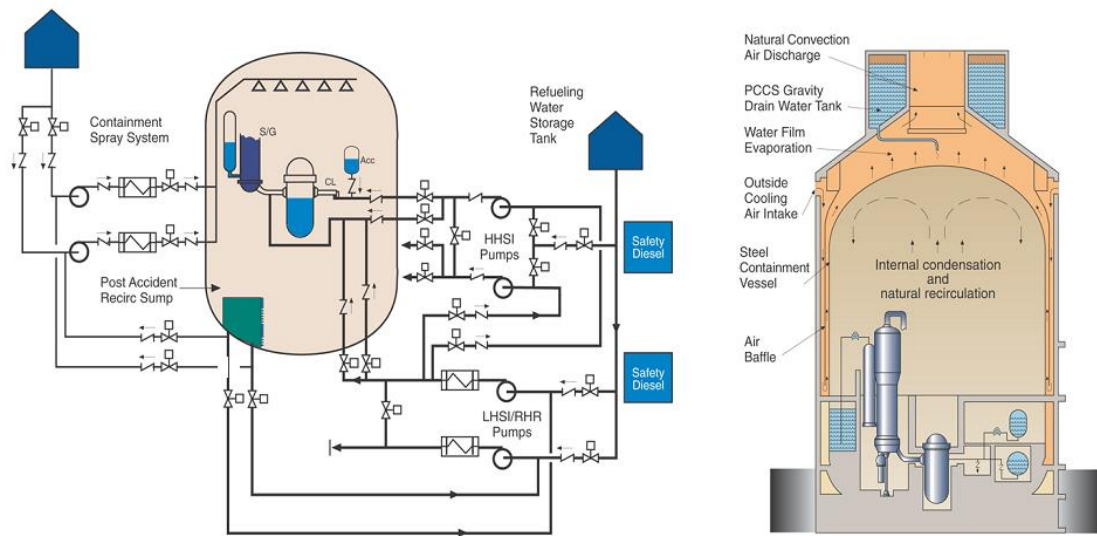


Фигура 4. Контейнмент на ВВЕР-1000/В-466

3. Пасивни системи за безопасност при AP1000

Системите за подпомагане, които не са свързани с безопасността и пасивните системи за безопасност са интегрирани в дизайна на блока. Лицензионните критерии за безопасност са изпълнени с много опростен вариант. Пасивните системи за безопасност, са оразмерени да осигурят повишени граници на безопасност, особено за събитията с най-голяма вероятност за случване.

Пасивните системи значително опростяват системите за безопасност



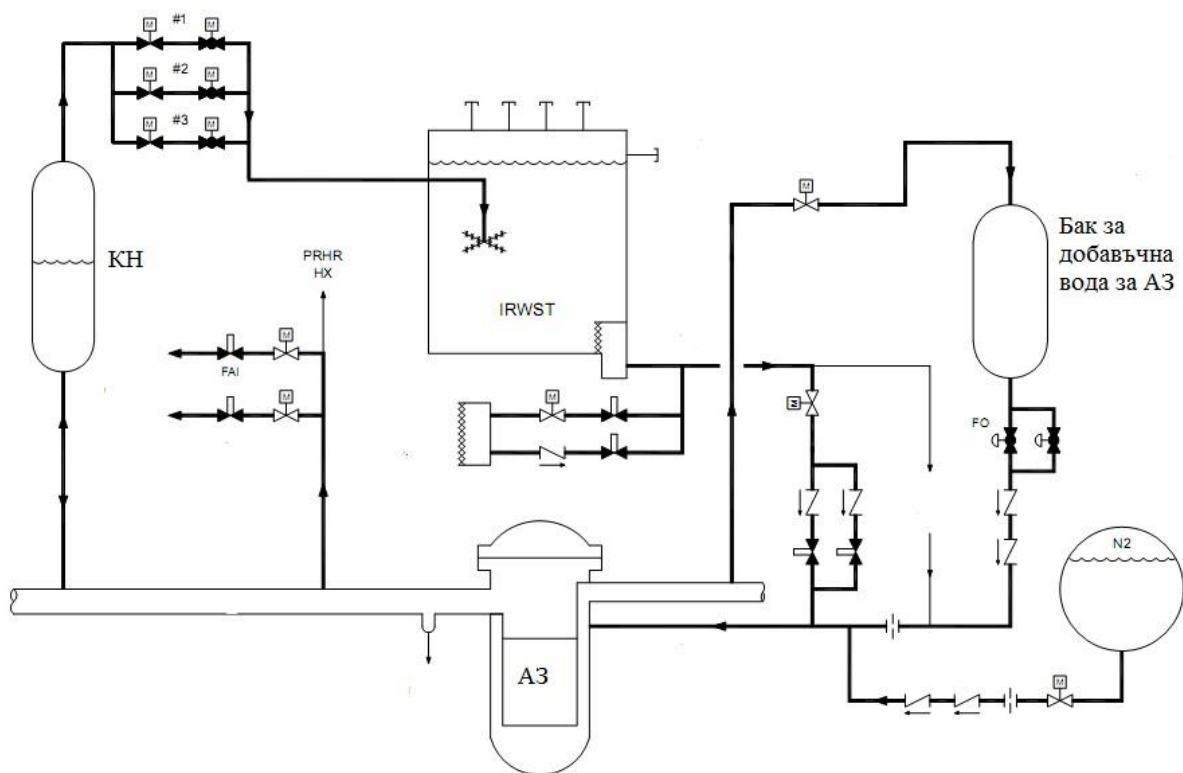
Фигура 5. Съпоставка между PWR и AP1000

3.1. Система за аварийно охлаждане на активната зона

Системата за пасивно охлаждане на зоната (passive core cooling system (PXS)), показана на долната фигура, защитава блока при течове от първи контур и разкъсвания с различни размери и местоположение. PXS осигурява отвеждане на остатъчното топлоотделяне от активната зона, безопасен впръск на борирана вода и снижаване на налягането. Анализите на безопасността (използвайки кодове, одобрени от NRC) демонстрира ефективността на PXS в защита на активната зона след различни събития с разкъсване по първи контур. Дори за сериозни разкъсвания от порядък на 20,0 см, линиите за впръск в реактора, няма да позволят да се стигне до оголване на активната зона. След двустранно разкъсване на главен циркуляционен тръбопровод на топлоносителя на реактора, PXS охлажда реактора с достатъчно голям запас до границата на температура на кипене.

налягането използвайки четири етапа на автоматичната система за снижаване на налягането (automatic depressurization system(ADS)), за да позволи относително бавно и контролирано намаляване на налягането в първи контур.

За да се поддържа еднакъв запас за аварийни режими, изискващи инжектиране на флуид, няколко линии в PXS са направени по-големи за AP1000. В допълнение на СМТ е осигурен адекватен резерв, без да се изисква промяна на съседните тръбопроводи и структура.



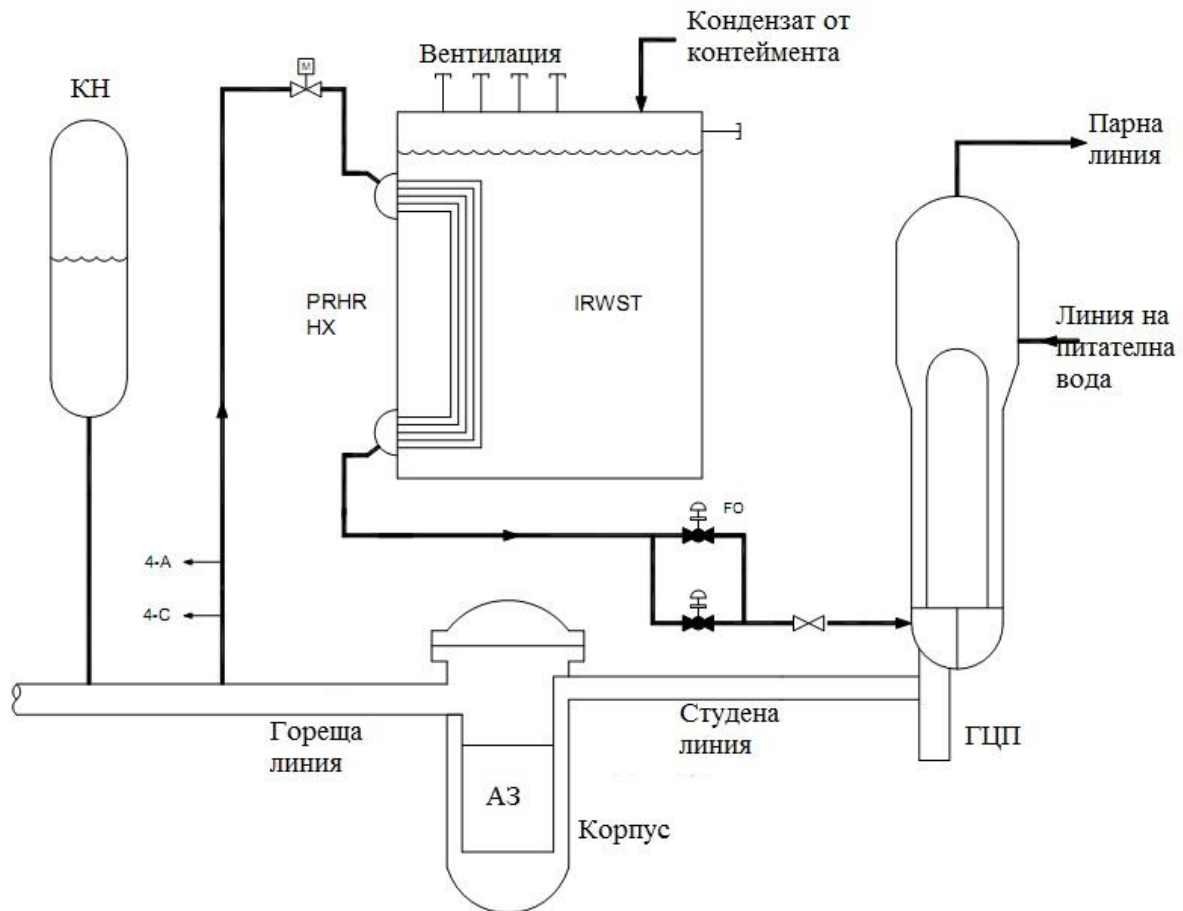
Фигура 7. Система за пасивно заливане

3.3. Пасивно отвеждане на остатъчното топлоотделяне

PXS включва един топлообменник за пасивно отвеждане на остатъчното топлоотделяне (passive residual heat removal heat exchanger(PRHR HX)). PRHR HX е свързан чрез смукателните и изпускателните линии на единият кръг на първи контур. PRHR HX предпазва блока срещу колебания, когато се нарушава нормалното подхранване на парогенераторите с питателна вода и парните инсталации. Той отговаря на критериите за безопасност при загуба на питателна вода, разкъсвания на подхранващата линия и на парната линия.

При AP1000, хоризонтална тръбна част на топлообменника PRHR НХ е направена малко по-дълга и няколко тръби се прибавят към съществуващият тръбен сноп на топлообменника при AP600. PRHR тръбопроводите са направени по-големи. Тези промени осигуряват 100 процента капацитет на системата, без да засяга околните тръбопроводи и дизайновото оформление.

IRWST осигурява поглъtitел на топлина за PRHR НХ. Водата за IRWST поглъща топлината от радиоактивното разпадане за повече от един час, преди водата да започне да кипи. След като кипенето започне, парата преминава към херметичния обем. Парата се кондензира по стоманената облицовка на контейнента и след това се събира и дренира под силата на гравитацията обратно в IRWST. PRHR НХ и системата за пасивно охлаждане на контейнента предоставя дълговременна възможност за отвеждане на остатъчното топлоотделяне и не се изискват никакви действия от страна на оператора. За AP1000 нормалното ниво на водата в IRWST е повдигнато, за да се осигури голямо количество вода без да се променя структурата.



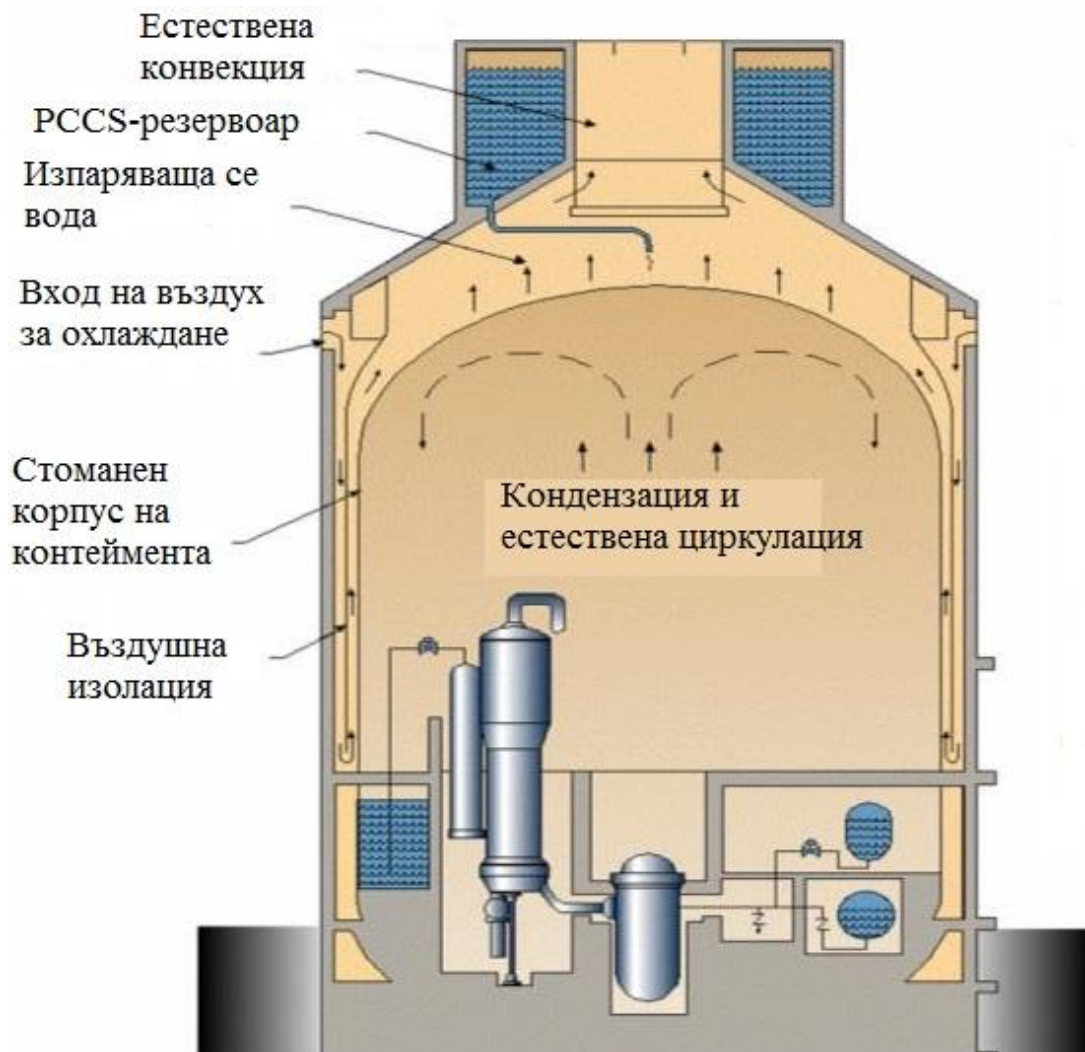
Фигура 8. Система за пасивно отвеждане на остатъчното топлоотделяне

3.4. Система за пасивно охлаждане на контейнмента

Пасивна система за охлаждане на контейнмента (passive containment cooling system (PCS)), предвижда краен погълтител на топлина, свързан с безопасността на централата. PCS охлажда херметичният обем след авария, така че проектното налягане да не бъде надхвърлено и налягането бързо да се намали. Стоманеният корпус на контейнмента осигурява топлообменна повърхност, която отнема топлината от вътрешността на обема и я пренася в атмосферата. Топлината се отстранява от херметичният обем чрез непрекъснатата естествена циркулация на въздуха. По време на авария, въздушното охлаждане е придружено с изпаряване на водата. Водата се излива под действието на собствената си тежест от резервоар, разположен в отгоре върху контейнмента.

Контейнмента на AP1000 има същия диаметър като този на AP600. Височината е увеличена, за да предостави допълнително свободно обем. Този допълнителен свободен обем, заедно с промяна на материала, осигурява повишена резервираност за аврии с повишено налягане.

Анализът показва, че по време на тежки аварии контейментът на AP1000 е вероятно да остане непокътнат и да не бъде разрушен. Като резултат, блоковете имат значително намалена честота на освобождаване на големи количества радиоактивност, след повреда на активната зона, по време на произшествие. Способността на PCS за охлаждане е подсигурана с три съкратени (и различни) начина за източване на водата с вентили. В допълнение, дори и при авария с изтичане на вода, само въздушното охлаждане е способно да поддържа в херметичният обем, нялягане пониско от прогнозираната критична стойност . Други допринасящи фактори включват подобрена изолация на контейнмента и намаляване на вероятността за потенциалното изпускане на пара извън обема, дори и при разкъсвания на тръби в парогенератора.



Фигура 9. Контеймент на AP1000

4. Заключение

Като основна разлика между ВВЕР-1000/В-466 и АР1000, първо трябва да се посочи, че те са реактори от различни поколения. Съответно, първият е от трето, а вторият е от разширено трето. Това се определя от фактът, че всички системи за безопасност на АР1000 са пасивни, докато при ВВЕР-1000/В-466 освен посочените в доклада пасивни системи, имаме все още и доста активни системи за безопасност.

Като цяло и при двата проекта пасивните системи осигуряват основните функции по безопасност. Помислено е за охлаждането на зоната във всякакви експлоатационни и аварийни режими. Като за целта имаме големи водни обеми (резервоари) разположени в херметичният обем, разликата е, че при АР1000 боят им е по-голям.

Друга много важна задача е да се запази цялостта на съоръженията, като приоритет са тези по първи контур. Това основно се постига, като не се допуска основните параметри – налягане и температура, да надхвърлят своите проектни граници.

От огромно значение е да не се достигне до изпускане на радиоактивност, което е основната задача на локализиращите системи за безопасност. Целта е да се предпази населението от опасните радиологични лъчения. Тук същото двата проекта се различават в конфигурацията на контейнментите си и по това, че АР1000 няма уловител за стопилката от активна зона.

Като заключение, може да се констатира, че пасивните системи за безопасност и при двата проекта, ще успеят да осигурят безопасната експлоатация на блоковете.