

## **СПИСЪК НА СЪОРЪЖЕНИЯТА ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА ОТРАБОТЕНО ГОРИВО, ТАХНОТО МЕСТОПОЛОЖЕНИЕ, ОСНОВНО ПРЕДНАЗНАЧЕНИЕ И СЪЩЕСТВЕНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ**

### **I. АЕЦ "Козлодуй"**

#### **I.1 Хранилище за отработено гориво**

Хранилището за отработено гориво (ХОГ) е отделна сграда, намираща се на площадката на АЕЦ "Козлодуй", в която са разположени оборудване и системи, осигуряващи подкритичност, отвеждане на остатъчното топлоотделяне на ОГ и биологична защита.

Хранилището за отработено гориво е предназначено за съхраняване на отработено гориво (ОГ) от реактори ВВЕР-440 и ВВЕР-1000 след първоначално най-малко тригодишно отлежаване в басейните при реакторите. Хранилището е "мокър" тип, т.е. ОГ се съхранява в басейни под вода. Хранилището има четири басейна за съхраняване на ОГ. Касетите с ОГ се съхраняват в транспортни кошници. Вместимостта на ХОГ по проект е 168 броя кошници.

Подкритичността се осигурява от конструкцията на кошниците (стъпката на разполагане на касетите с ОГ и материала на кошниците) и стъпката на разполагане на кошниците в басейна. Това позволява басейнът за съхраняване на ОГ да е запълнен с обезсолена вода без реагенти (борна киселина и др.), което значително улеснява експлоатацията на ХОГ.

Отвеждането на остатъчното топлоотделяне се осигурява чрез:

- топлообменници, охлаждащи с техническа вода;
- изпарение на водата от басейна;
- вентилация на надводния обем;
- топлинните загуби през строителната конструкция.

Биологичната защита се осигурява от строителната конструкция и слоя вода над ОГ в басейните за съхраняване на горивото.

ХОГ е интегрирано със следните системи на централата:

- система за физическа защита;
- аварийно планиране;
- радиационен контрол;
- противопожарна защита;
- система за сигнализиране на аварии;
- преработване и съхраняване на радиоактивни и нерадиоактивни отпадъци.

Техническият проект на съществуващия ХОГ е разработен в съответствие с действащите през 70-те години на миналия век нормативни документи в бившия СССР. Безопасността при съхраняване на отработено гориво практически се основава на прилагането на принципа "защита в дълбочина". Основните проектните решения, приложени при изграждането на ХОГ са:

- горивните касети се съхраняват под вода (химически обезсолена, с температура под 40°C), която ги защитава от повреди; поддържа процесите на деградация на материалите на обвивките на топлоотделящите елементи и конструкционните материали на касетите; параметрите на химическия състав на водата и нейната активност (пределното ниво на радиоактивно замърсяване е  $1,11 \cdot 10^5$  Bq/l) се поддържат от системата за почистване на водата;

- охлаждащата система (отвежда топлината от остатъчното топлоотделяне на отработеното гориво) е проектирана с висока степен на резервиране – водата за охлаждане се подава в басейните отгоре, източването им поради сифонен ефект е невъзможно; има възможност за бързо подаване на вода от резервоари със скорост 10 пъти по-голяма от максималните проектни протечки от басейна;

- двойната облицовка на басейните осигурява висока плътност и надежден контрол на протечките (облицовката се поддържа от порест бетонен слой, в случай на теч от облицовката водата се просмуква през порестия бетонен слой до специални събирателни точки от всички страни на даден басейн и в центъра на дъното, събира се от система организирани протечки и се подава към системата за почистване);

- масивната строителна конструкция (железобетонна рамка и железобетонни стени) на ХОГ осигурява биологичната защита (железобетонните стени и дъното на басейните са с дебелина 1,5 m);

- херметичността на горивните касети с отработено гориво по време на транспортиране и съхраняване при нормални и аварийни условия се осигурява от условията за транспортиране и съхраняване; разхерметизираните касети с отработено гориво се съхраняват в херметични пенали;

- подкритичността се осигурява от конструкцията на транспортните кошници (чрез геометрически безопасна конфигурация при зареждането на горивото) и условията за съхраняване в басейните и не зависи от някой постоянен или изгарящ поглъtitел. Оценката за подкритичност не отчита изгарянето на горивото;

- транспортирането на горивните касети от басейните за отлежаване на реакторите (след минимум 3 години отлежаване за касети от ВВЕР-440 и след минимум 5 години отлежаване за касети от ВВЕР-1000) до ХОГ става с транспортен контейнер в транспортна кошница; по време на операциите за зареждане и транспортиране на контейнера персоналят действа по специално разработени инструкции; горивните касети се съхраняват вертикално, така както те са се намирали и в реактора;

- наличие на вентилационни системи, противопожарни системи и системи за контрол и управление;

- наличие на 12 контролни сондажни кладенци около сградата на ХОГ за контрол на активността на подпочвените води.

За обосновка на безопасността на ХОГ са направени съответни анализи. Конструктивните и неутронно-физическите характеристики на касетите с отработено гориво осигуряват запазването на тяхната плътност и цялост при напълно осушени басейни и въздушно охлаждане за интервал от време, достатъчен за предприемане на възстановителни действия (100 часа при най-неблагоприятни температурни условия на околната среда).

В рамките на програма ФАР през 1999 г. е направена допълнителна оценка на безопасността на ХОГ. Като база за анализа на безопасността е приет стандартен списък от аварийни сценарии, основаващ се на документа на МААЕ - Safety Series № 118 "Safety Assessment for Spent Fuel Storage Facilities".

След анализ на сеизмичната устойчивост на строителната конструкция, включително фундаментите на оборудването, важно за безопасността на ХОГ, и определяне полетата на

допустима сигурност, е направено антисеизмично укрепване на строителната конструкция, оборудването важно за безопасността, 125 t кран и щангата с осветлението. При направената проверка на сеизмичната устойчивост на транспортните кошници в басейните на ХОГ не е установена необходимост от допълнително укрепване на транспортните кошници.

За обосноваване на възможния срок за продължително безопасно съхраняване под вода на касетите с отработено гориво през 2006г. са проведени отново “ускорени корозионни изпитания” по специално разработена методика, позволяваща моделиране на въздействието на агресивната (водна) среда при срок на съхраняване вече за 50 години. Комплексните неразрушаващи и разрушаващи изследвания на горивните пръти и на другите конструкционни елементи на една типова касета с отработено гориво от ВВЕР-440 и ВВЕР-1000 след продължително съхраняване под вода; изследванията с изкуствено насищане с водород и определянето на механичните свойства на метала на обвивките на горивните пръти; ускорените корозионни изпитания и анализа на резултатите от други изследвания, потвърждават удовлетворителното състояние на обвивките след 50-годишно съхраняване във водна среда, при условие, че се спазва определения водо-химичен режим.

Направена е и оценка на състоянието на конструкционните материали на облицовките на басейните и транспортните кошници за съхраняване. Тяхната цялост също се запазва. Потвърдена е и тяхната корозионна устойчивост в течение на 50-годишна експлоатация на ХОГ.

През 2004 год. е извършена Техническа обосновка на безопасността на ХОГ”, въз основа на която АЯР издаде лицензия за експлоатация на ХОГ до 2014 год.

През 2005 год. е приет Технологичен регламент за експлоатация на ХОГ, отразяващ изискванията на новите нормативни документи. Изпълнен е проекта “Модернизиране на системата за радиационен контрол (подмяна на приборите със съвременни с автоматично записване на показанията в база данни)”.

През 2006г. са оборудвани отсеците за приемане и презареждане на ОЯГ с презареждаща машина за ОЯГ от ВВЕР1000 и ВВЕР440. Подменена е системата за защиты и блокировки с цифрова (на базата на програмируеми логически контролери, РС или др.).

През 2007г са извършени анализи за определяне на ресурса на сградата и оборудването на ХОГ.

## **I.2 БОК-1,2,3,4**

Приреакторните хранилища служат за краткосрочно отлежаване на касетите след изваждането им от активната зона, с цел спадане на активността им, респективно на остатъчното им енергоотделяне, преди тяхното извозване към ХОГ или към Русия.

Регламентираното отлежаване в БОК е 3 години, ако ОЯГ ще се извозва към ХОГ и 5 години, ако ще се извозва към Русия.

Ядрената безопасност в БОК, се осигурява конструктивно, чрез стъпката на решетката, която обезпечава минимум 5% подкритичност при съхранение на ОЯГ, при максимален ефективен коефициент на размножение (изцяло запълнен със свежо ядрено гориво при отсъствие във водната среда на разтворим неутронен поглъtitел-НЗВОЗ и температура на водата 20°C).

Системата за разхлаждане осигурява принудителното топлоотвеждане и поддържане на температурата в БОК в границите 20÷50°C (но при никакви обстоятелства да не превишава 65°C), при изцяло запълнен БОК с ОЯГ, включително напълно извадена в него “гореща” активна зона. Осигурено е аварийно разхлаждане на топлобменниците на системата за разхлаждане на БОК чрез допълнително монтираната система ДСАПП на всеки блок, както и

допълнителна система за аварийно подпитаване, при състояния с теч от БОК, превишаващ дебита на помпите на системата за запълване, на БОК-3 и БОК-4, където съхранението на ОЯГ все още е на два реда стелажи (тази система е нова - от 2008г.).

Системата за почистване на топлоносителя осигурява отстраняването на попаднали в него продукти на делене и на корозия и обезпечават необходимата прозрачност в БОК.

Конструктивно БОК на ВВЕР-440 е с два реда стелажи: горен, който може да се демонтира и долен-който е недемонтируем, като всеки ред има по три секции, а общия капацитет на БОК-1,2,3 и 4 съответно е 701, 728, 728 и 726 касети.

В режим на експлоатация на реакторната установка на мощност, ОЯГ в БОК се съхранява само на долен стелаж, а горния стелаж се използва за временно съхранение – при необходимост от размествания и в режим на презареждане (напр. при напълно извадена активна зона в БОК).

Към настоящия момент блокове 1÷4 притежават лицензии за експлоатация в експлоатационно състояние “Е” - съхранение на ОЯГ в БОК, като в БОК-1 и БОК-2 да е на един ред стелажи, а в БОК-3 и БОК-4 – на два реда стелажи до края на 2009г. Периодично се извозва ОЯГ от БОК-1÷4, като графика на извозванията следва графика на навършване на регламентираното време на отлежаване, позволяващо ОЯГ да бъде извозено. В резултат на извозванията след 2006г. ОЯГ в БОК-1 и БОК-2 се съхранява на един ред стелажи, съгласно изискванията на лицензиите им.

Освен касети ОЯГ в БОК-1÷4 се съхраняват и други елементи на активната зона, като надставки и касети-екрани, които не съдържат ядрен материал.

### **1.3 БОК-5 и 6**

Басейните за отлежаване и презареждане на горивото (БОК) са разположени в хермозоната и служат за съхранение и отлежаване на отработило гориво (до намаляване на остатъчното топлоотделяне на допустимо ниво) и за временно съхранение на ОР СУЗ и СВП.

БОК се състои от 4 части физически разделени с преградни стени до кота 28,93, над кота 28,93 до кота 36,2 обема над басейна е общ. Три отсека са предназначени непосредствено за съхранение на отработили ТОК, а четвъртият отсек за провеждане на транспортни операции със свежо и отработило гориво. В него се поставят - транспортен контейнер за ОЯГ, чохлите със СЯГ и чохлите с хермопенали.

Във вътрешното пространство на отсеците за съхранение на ОЯГ са разположени стелажите и херметичните пенали за поставяне и отлежаване на ТОК. Стелажите са изработени от борирана стомана и осигуряват подкритичност в БОК, не по-малка от 0.05, при проектни изходни събития, включително падане върху тях на тежък предмет. Поглъщащата способност на клетките на стелажите се запазва в течение на целия срок на експлоатация. Конструкцията на стелажите осигурява:

- вертикално поставяне в нея на ТОК и на херметичните пенали;
- изключва механични повреди на повърхностите на ТОК при тяхното поставяне и изваждане от гнездата на стелажа;
- фиксиране на поставените в стелажа ТОК и херметични пенали;
- надеждно отнемане на остатъчното топлоотделяне от отработилите ТОК.
- стелажите запазват работоспособността си при сеизмично въздействие на МРЗ.

Вместимостта на всеки басейн 612 броя ТОК и осигурява отлежаване на отработилите ТОК в продължение на не по-малко от три години съгласно изискванията на ГОСТ.95.7.5-87.

Разделянето на БОК на три отсека позволява провеждане на ремонтни работи в един от тях при разполагане на отработилите касети в другите два отсека.

Зоната за зареждане на ТК (транспортен контейнер) се нарича универсално гнездо (УГ) и е отделена от зоната за съхранение ТОК, така че в случай на падане на контейнера да не се повредят ТОЕ или да не се намали защитното ниво на борен разтвор над ТОК в случай на изваждане на ТК.

Ограждащите конструкции на БОК са предназначени за удържане на охлаждащия борен разтвор (който може да съдържа радиоактивни продукти), а също и за отслабване на йонизиращото лъчение.

Ограждащите конструкции на БОК се състоят от следните елементи:

- Двойна метална херметична облицовка с дренаж за възможни течове. Луфтът между двете облицовани стени е запълнен с дренажен(порест) бетон и образува затворена обща кухина с пода и стените и позволява да се следи за възможни течове през облицовката. В пода между двете стени са врязани дренажи (по един от всеки отсек на БОК и универсалното гнездо ), които са изведени в помещение, където има възможност за периодичен визуален контрол на възможните течове
- Железобетонни ограждащи конструкции.

При разработването на ограждащите конструкции на БОК са отчетени следните основни принципи:

- Да се запазят зададените функции (плътност и якост) при различните режими на работа, включително при МРЗ;
- Осигуряване на биологична защита при нормални режими на работа и при проектни аварии;

Басейнът за отлежаване и цялата система са запълнени с разтвор на борна киселина с концентрация 16 g/kg.

Запълването на басейна се осъществява до кота 28.83 в режим на продължително съхранение на гориво. В режим на презареждане (когато се предвиждат транспортни операции с горивото) басейнът се запълва до кота 35.7. По този начин се осигурява движение на отработеното гориво под вода. С цел недопускане на препълване на басейна, във всеки отсек са поставени по два преливника, един на нивото на водата при продължително съхраняване на гориво (28.8), а друг на нивото на водата при презареждане на горивото (36.2). При необходимост за поддържане на нивото на кота 35.7 операторът затваря изолиращата арматура, съответстваща на ниво 28.8. Отсеците за съхраняване на горивото нямат технологичен дренаж в долната си част, което гарантира, че не могат да се изпразнят и да оставят ОЯГ без топлоносител.

В режимите, когато няма движение на гориво в БОК горната част на басейна е покрит с плочи. За избягване на разрушаване на плочите и падането им в БОК, те са проектирани с отчитане на земетресение със сила 9 бала по скалата MSK-6 и въздействие на ударна вълна по цялата площ на плочата с сила 148 кН (14,8 тс/с) при разкъсване на тръбопровод от главния циркуляционен контур. Плочите издържат на ударни натоварвания, възникващи при падане на предмети с маса 5 кг от височина 10м. (т.е. дребни инструменти от височината на подкрановите конструкции).

В горната част на басейна е осигурена вентилационна приточно смукателна система, която осигурява въздушна завеса и по този начин предотвратява разпространението на газови аерозолни продукти от повърхността на БОК в централна зала. По този начин се защитава обслужващия персонал в хермозоната при режими, когато се извършват презареждане и ремонти на блока.

Охлаждащата система се състои от три канала и включва три помпи за охлаждане на басейна, три топлообменника на смукателната страна на всяка от помпите, тръбопроводи и

арматура. Каналите са съединени помежду си с връзки на смукателните и напорни тръбопроводи, които позволяват осъществяването на превключване от един канал на друг в случай на отказ на някой от каналите. На напорните и смукателните тръбопроводи са поставени по три локализиращи бързодействащи арматури, от които едната се намира в херметичната обвивка. Теплообменниците на система се охлаждат от система техническа вода за отговорни потребители, като всеки канал на TG се охлажда от отделен канал.

Производителността на всеки от трите канала на системата е такава, че всеки канал може самостоятелно да осигури отвеждане на остатъчното топлоотделяне от басейна във всички режими на работа на системата.

## **II. Шахтохранилище в изследователския ядрен реактор ИРТ-2000.**

Ядрената научно експериментална база към Института за ядрени изследвания и ядрена енергетика при Българска академия на науките разполага с хранилище за съхраняване на отработено ядрено гориво във водна среда, изградено в биологическата защита на басейна на реактора, наричано шахтохранилище. Достъпът до него се осъществява от реакторната площадка.

Шахтохранилището е с формата на паралелепипед с размери на основата 1910 mm x 1010 mm. Дъното на шахтохранилището се намира на кота +2.13, а капакът с дебелина 400 mm, изработен от стомана, на кота +7.94. Биологичната защита около шахтохранилището е изградена от тежък бетон и е с дебелина: 1755 mm от западната страна; 1935 mm от източната и 1850 mm от северната. На юг от хранилището е разположен басейна на реактора, отделен с тежък бетон с дебелина 1900 mm. Стените са облицовани с алуминиеви листове, а на дъното има изградена дистанционираща решетка със стъпка 190x170 mm, също от алуминий, в която са оформени гнезда за горивните касети. Касетите се съхраняват във вертикално положение на две нива. Гнездата са 54 на брой, което позволява съхраняването на до 108 броя горивни касети.

Водата в басейна на шахтохранилището е дестилирана. Остатъчното топлоотделяне се отдава на стените на шахтохранилището посредством естествена циркулация на дестилата. Водата в шахтохранилището се филтрира с помощта на циркулационна помпа и механичен филтър, разположени на реакторната площадка.

Нивото на водата в шахтохранилището се следи автоматично. При понижаването му до определени граници сработва аварийна звукова и светлинна сигнализация. В извън работно време се подава сигнал на поста осигуряващ физическата защита на обекта, който уведомява аварийната група за предприемане на съответните действия.

Манипулациите с горивните касети се осъществяват със специални приспособления.