

# ДОКЛАД

## **Тема: Преработване и съхранение на радиоактивни отпадъци**

*Изработил: Иван Захариев Златев*

*Ученик от 12в клас на ПГМЕТ"Ген. Иван Бъчваров" гр.Севлиево*

*Ръководител: инж. Даниела Димова*

**Ядрена(Атомна) Енергия** се произвежда чрез така наречения Термоядрен синтез (също така наречен ядрен синтез). Това е вид ядрена реакция, при която две или повече атомни ядра се сливат, образувайки по-тежко ядро. Реакцията се съпровожда с освобождаване или поглъщане на енергия, в зависимост от масите на участващите ядра. Най-често под термоядрен синтез се разбира синтез с участието на леки ядра, при което се отделя енергия.

Генерирането на радиоактивни отпадъци е съпътстващ процес при производството на електроенергия от всички видове ядрени централи по света. Отпадъците представляват радиоактивни материали, за които не се предвижда понататъшно използване, т.е. бракуват се. В това число влизат и радиоактивни източници, чийто срок за безопасна експлоатация е изтекъл.

Отпадъците се делят на твърди, течни и известно количество газообразни радиоактивно замърсени вещества. Съставът им е разнообразен и е специфичен за всеки вид ядрен реактор и технология.

При експлоатацията на АЕЦ „Козлодуй“ се получават ниско- и средноактивни, твърди и течни радиоактивни отпадъци.

Твърдите ниско- и средноактивни радиоактивни отпадъци се разделят на неметални, подлежащи на намаляване на обема чрез пресоване (за кратко - пресуеми), до няколко пъти - средно 7 пъти и на метални, за които е неприложимо пресоване (или непресуеми). Тук са и активираните метални материали, които са били под директно влияние на неутронен поток в активната зона на реакторите. Обемът на последните в сравнение с останалите е изключително малък.

Годишно в АЕЦ „Козлодуй“ се генерира около 500 кубични метра твърди радиоактивни отпадъци - твърди, непреработени. След тяхната преработка, обемът им се намалява многократно.

Към течните отпадъци се отнасят течен радиоактивен концентрат, получен при преработката на радиоактивно замърсените отпадни води чрез специални водоочистващи системи. Годишно се генерира около 200 кубични метра концентрат от експлоатацията на 5 и 6 блок и органични течни радиоактивни отпадъци - отработени филтриращи материали за радиоактивни течни среди. Обемът им е до няколко кубични метра годишно. След като годността им изтече, се депонират в специалното хранилище на АЕЦ.

Радиоактивни отпадъци от ядрената енергетика в България се генерират от 1974 година, когато е въведен в експлоатация първи блок на „АЕЦ Козлодуй“. Получаваните отпадъци след съответна първична обработка се съхраняват и не напускат площадката на централата. Те се преработват от Държавно предприятие „Радиоактивни отпадъци“ и се опаковат в стоманобетонни контейнери, които се явяват краен продукт. Опаковките се съхраняват на площадката на атомната централа, а след изграждането на националното хранилище за ниско- и средноактивни отпадъци ще бъдат окончателно разположени в него. Съхранението на високоактивните отпадъци от преработката на горивото от 1-4 блок, както и начина на съхранение на горивото от 5 и 6 блок е заложен в актуализиращата се Националната стратегия за управление на радиоактивни отпадъци и отработено гориво.

След като отпадъците са събрани и предадени, те постъпват в цеха за преработване на радиоактивни отпадъци към предприятието, което е на площадката на АЕЦ. В него са изградени няколко технологични линии за различните видове отпадъци.

Пресуемите радиоактивни отпадъци се сортират във 200-литрови варели, подлагат се на предпресуване, след което варелите се суперпресоват с 1000-тонна преса. Така се постига значително намаляване на обема - от 5 до 7 пъти. Непресуемите се сортират в 200-литрови стоманени варели и заминават нататък по технологичната линия.

Металните радиоактивни отпадъци, които са повърхностно замърсени, се подлагат на дезактивиране. По този начин също се постига значително намаляване на обема на радиоактивния отпадък.

Течните радиоактивни отпадъци, които веднъж са концентрирани, се концентрират допълнително посредством изпарение, след което се смесват с цимент по определена рецепта, образувайки, т.нар. циментено-радиоактивна смес.

Така подготвените отпадъци се опаковат в специални стоманобетонни контейнери в размери около два метра на два метра, в които се разполагат предварително подготвени стоманени варели и се излива цименто-радиоактивна смес, която е получена от течните отпадъци.

Горивото не се класифицира в България като радиоактивен отпадък. Отработеното гориво от 5 и 6 блок към момента се съхранява под вода в басейните за отлежаване в АЕЦ. Част от касетите от блоковете 1-4 са извозени в Русия за преработка, друга част се прехвърля в контейнери за сухо съхранение в новоизграденото хранилище на централата. Отработеното гориво от 1-4 блок в по-голямата си част се изпраща за преработка в Руската федерация, с ангажимент за последващо приемане на високоактивните отпадъци.

Системата за плазмено изгаряне на отпадъци е иновация с основно предназначение многократното намаляване на обема им. Използваните в света подобни устройства се броят на пръсти.

В съоръжението с плазмена горелка отпадъците се нагряват до 1300 градуса по Целзий, ще се втечняват, остъкляват, а след тяхното изстиване ще се превръщат в стъклени матрици, които са трудни за разрушаване. Първоначалният обем на материалите след обработка се намалява до 80 пъти, което намалява разходите за тяхното складиране и съхранение

**Същност на плазмената технология.** Плазмата е високоенергийна технология, която е в състояние да преработи широк диапазон отпадъци. При тази технология се създава високотемпературна плазма чрез провеждане на електрически ток през газов поток. Плазмените газове могат да достигнат от 5000 до 15 000°C.

Много високата температура може да бъде използвана за разлагане на отпадъците на атомните им елементи чрез инжектирането им в плазмата или чрез използване на плазмената дъга като топлинен източник за изгаряне или пиролиза.

#### **Основни характеристики на инсталацията**

- Капацитетът на инсталацията е общо 250 t годишно или 6,25 t седмично при 40 седмици годишно – средно 65 kg твърди отпадъци на час с калоричност 18 MJ/kg или 4300 kcal/kg, или 55 kg до 60 kg твърди отпадъци на час и 5 до 10 kg течни отпадъци на час.
- Специфичната радиоактивност на отпадъците е 3,23E5 Bq/kg (номинална) и 4E6 Bq/kg (проектна).
- Топлинна мощност, отнесена към отпадъците: 1170 MJ/h или 325 kW
- Камера за първично третиране с плазмена горелка с мощност 500 kW; DC 1400 V; 400 A
- Разход на изходящи газове: номинален - 1200 Nm<sup>3</sup>/h; проектен - 2000 Nm<sup>3</sup>/h, като ефективните работни часове годишно са 4000 h.

**Приемане на радиоактивни отпадъци.** СПИ ще бъде разположена в съществуващия Спецкорпус 2 (СК – 2) на площадката на атомната централа. Непреработените, пресованите и суперпресованите РАО пристигат в контейнерите за транспорт на отпадъци. Опаковките с РАО се разтоварват от контейнера с помощта на захват, окачен на куките на кран, и се складират в зоните за временно съхранение. На следващ етап РАО се поемат и придвижват от транспортъорите. В СПИ е предвидена и опция за преработка на течни РАО, които могат да бъдат впръсквани през дюзи директно в плазмената пещ.

**Основни елементи на инсталацията са:**

**Шредер и винтов транспортъор.** Посредством транспортъори и подемно оборудване твърдите РАО се прехвърлят автоматично към блока на шредера през въздушен шлюз. Шредерът и винтовият транспортъор преработват непреработените РАО в чували, пресованите и суперпресованите 200-литрови варели в дребен и относително еднороден материал.

Шредерът е проектиран с предварително програмируема последователност за автоматично реверсиране, която премахва по-голямата част от задръстванията с материали. Зъбите на шредера раздробяват отпадъците и варелите на малки парчета, които падат във винтов транспортъор и оттам се подават непрекъснато в камерата за първично третиране.

**Камера за първично третиране (КПТ) с плазмена горелка.** В КПТ, оборудвана с плазмена горелка, действаща като източник на топлина, органичните вещества се преобразуват в летливи въглеводороди, въглероден окис, и т.н., докато неорганичните съставки се стопяват и трансформират в стъкловидна стопилка. Когато се събере достатъчно стопилка, започва цикълът на изливане на стопилката във формите.

**Камера за събиране и охлаждане на стопилката.** Стопилката се събира в камерата за събиране и охлаждане на стопилката, която трябва да се разглежда като бокс с вентилация. Горещата стопилка се излива в стоманена форма с дебелина на стената 5 mm, която е поставена в чугунена форма за охлаждане с дебелина на стената около 100 mm за поглъщане на топлината; формата за охлаждане служи като самоекраниращо се устройство поради дебелината ѝ.

След охлаждане формата със стопилка се изважда от формата за охлаждане с помощта на захващаща система с дистанционно управление и се поставя в позиционирания 200-литров варел.

Новите форми се прехвърлят с транспортъор през въздушен шлюз в бокс, където с помощта на малък кран се поставят във форма за охлаждане. Охлаждащата форма се придвижва към позицията за изливане на стопилката (върху устройство за вътрешно придвижване). Когато формата се напълни, тя се придвижва по-нататък за охлаждане, а на позицията за изливане се поставя нова форма.

След охлаждането формата за охлаждане се придвижва до позицията за изпразване, където вътрешната форма се изважда с помощта на малък кран и се прехвърля в 200-литров варел. Този 200-литров варел се позиционира до бокса, където капакът се отваря автоматично и се затваря отново, когато формата бъде поставена в 200-литровия варел.

На практика външната страна на 200-литровия варел е свободна от радиационно замърсяване и той е готов за окончателно кондициониране или преместване. След това празната форма за охлаждане се връща в позицията за пълнене и приема нова форма със стопилка. Охлаждането на формите отнема около 48 часа,

така че 6 дебели чугунени форми за охлаждане са достатъчни за осигуряване на непрекъсната работа през седмицата.

**Камера за вторично третиране (КВТ).** Неизгорели газове, въглеродороди, частици сажди и СО, навлизайки в КВТ, се смесват с допълнителен пресен въздух за завършване на окисляването до първични окисни компоненти, такива като СО<sub>2</sub>, Н<sub>2</sub>О, SO<sub>2</sub>. Допълнителният въздух се регулира от анализатор-контролер на кислород на изхода на КВТ.

Камерата за вторично третиране е оразмерена да осигурява време за престой минимум две секунди при проектната скорост на подаване на отпадъците и при минимална температура 850 °С. Горелката в КВТ работи с дизелово гориво.

**Система за почистване на изходящите газове.** След КВТ димните газове постъпват в системата за третиране на изходящите газове. Първоначално димните газове се охлаждат до 190°С в бойлер с три хода и лъчисто предаване на топлината. Горещата вода циркулира в затворен контур и отпадната топлина се предава на контура за охлаждаща вода посредством междинни топлообменници.

По-нататък димните газове постъпват в ръкавните филтри, които се състоят от 2 отделения, всяко с 50 филтърни ръкава. Частиците се улавят чрез повърхностно филтриране от мембранните ръкавни филтри, произведени от РТФЕ (тефлон). Тези ръкавни филтри могат да издържат работна температура от 250 °С. Филтриращата материя се почиства с помощта на импулсна струя от сгъстен въздух, която се задейства от сигнализатор на диференциално налягане. Събраните частици се изтръскват от повърхността на ръкавите.

Бункерът на дъното на камерата за ръкавни филтри приема частиците, като изпразването се извършва през ротационен изпускателен клапан във вибрационен транспортър. След като преминават през филтърната тъкан, газовете преминават във високотемпературните НЕРА филтри, които се състоят от два успоредни клона, като единият е резервен.

Блокът за мокро почистване на газовете се състои от охладителна кула за охлаждане на газовете до около 55 °С, противотокова очистителна кула (скрубър) с разтвор на сода каустик (NaOH) за отстраняване на HCl и SO<sub>2</sub> и влагоуловител.

Два смукателни вентилатора осигуряват изпускането на димните газове в атмосферата. Единият вентилатор е резервен. Разреждането в цялата система се регулира от двигатели с честотно управление.

След подгръването на димните газове чрез рекуперирание на топлината от междинния контур на бойлера и допълнителен електрически подгревател, концентрацията на азотни окиси (NO<sub>x</sub>) се намалява с помощта на катализатор в DENO<sub>x</sub> - системата. Преди да постъпят в комина димните газове се подлагат на контрол от системата за непрекъснат контрол на емисиите за установяване на съдържанието на химични вещества като СО, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, HCl, O<sub>2</sub>, Н<sub>2</sub>О, NH<sub>3</sub> и ТОС (общ органичен въглерод).

Резултатите се получават в реално време. Извеждат се стойности на половин час и усреднени дневни стойности, коригирани за температура 273 К, налягане 101,3 kPa, 11% кислород и сух газ, така че да могат да се правят сравнения с допустимите емисионни граници.

Освен това е предвидена и система за пробоотбор, която определя радиационните параметри на изходящите газове на всеки 24 часа.

**Прехвърляне на 200-литров варел в стоманобетонния контейнер**  
Стопилката не се кондиционира (вгражда или залива) допълнително, така че се

използва максималният наличен обем на 200-литровия варел и в резултат се получава най-добрият коефициент на намаляване на обема (КНО).

В този случай 190-литровата форма, пълна до 90% със стопилка, се поставя в 200-литровия варел (вж. събирателна камера за стопилка). Мощността на контактната доза на 200-литровите варели е по-малка от 2 mSv/h и радиационното замърсяване на повърхността им е по-ниско от 0,4 Bq/cm<sup>2</sup> за алфа и по-малко от 4 Bq/cm<sup>2</sup> за бета частици.

С помощта на захват, окачен на куките на съществуващите кранове, 200-литровите варели се поставят във временно хранилище. Веднъж седмично се осигурява транспортен контейнер и варелите се транспортират за по-нататъшно кондициониране и опаковане за дълготрайно съхранение в стоманобетонни контейнери, които са с размери 1,95x1,95x1,95 m.

Временните хранилища са оборудвани с подходяща биологична защита за очакващите последващо дълготрайно съхранение 200-литрови варели.

Високото температурно поле в плазмената пещ гарантира, че в димните газове практически няма да има продукти на непълно изгаряне, което е пряка и надеждна защита в опазването на околната среда в процеса на обработка и минимизиране на РАО.

ДП РАО официално стартира изграждането на Национално хранилище за ниско- и средноактивни радиоактивни отпадъци. Хранилището е предназначено за преработени и обезопасени радиоактивни отпадъци, генерирани единствено на територията на България. В него ще бъдат съхранявани ниско- и средноактивни радиоактивни отпадъци от промишлеността, медицината и бита; отпадъци, генерирани при извеждането от експлоатация на I-IV блок на АЕЦ „Козлодуй“, както и от дейността на бъдещи нови ядрени мощности. В Национално хранилище за РАО няма да се съхраняват високоактивни радиоактивни отпадъци и отработено ядрено гориво.

Площадката на бъдещото хранилище е разположена в непосредствена близост до АЕЦ „Козлодуй“, в двукилометровата, зона с контролиран достъп на централата, в землището на с. Хърлец, община Козлодуй. Националното хранилище представлява съоръжение с многобариерна защита за трайно съхраняване на предварително обезопасени и опаковани в стоманобетонни контейнери радиоактивни отпадъци. Хранилището ще бъде от приповърхностен траншеен тип с капацитет от 19 хиляди стоманобетонни контейнери с радиоактивни отпадъци. Съоръжението ще се състои от 66 стоманобетонни конструкции (клетки), разпределени в три платформи за погребване. Клетките са разделени от вътрешни преградни стени на секции. След запълване с опаковки клетките се покриват със стоманобетонна плоча и се изолират от атмосферните води чрез изграждане на многопластов земнонаситен слой. Планирано е хранилището да бъде в експлоатация, т. е. постепенно да се запълва, 60 години. След това се предвижда то да бъде затворено. През целия период на експлоатация и в следващите 300 години съоръжението ще е обект на постоянен контрол от страна на оторизираните органи. Националното хранилище ще бъде едно от най-модерните съоръжения в Европа от този тип. Международен фонд „Козлодуй“ финансира безвъзмездно проекта чрез ЕБВР, а стойността на първия етап от изграждането на хранилището е 71 820 000 евро.

Изграждането на Националното хранилище е залегнало в актуализираната Национална стратегия за управление на отработеното ядрено гориво и радиоактивните отпадъци до 2030 г. и представлява ангажимент на българското правителство пред Европейската комисия.

Хранилището в Нови хан е разположено в Лозенската планина на около 6 км от село Нови хан. В него се преработват и съхраняват радиоактивни отпадъци от използването на радиоактивни източници в промишлеността, селското стопанство, научните изследвания, хранително вкусовата индустрия и медицината. Това са основно затворени радиоактивни източници, използвани в различни технологични дейности като нивомери, далекомери, влагомери, пожароизвестителни датчици, източници, използвани в гама облъчвателни установки - за стерилизация на различни материали (основно медицински) и за облъчване на селскостопанска продукция, така и медицинските облъчватели за лечение на ракови заболявания. Част от радиоактивните отпадъци, които отговарят на критериите за приемане в националното хранилище, ще бъдат погребани в него.

Хранилището в Нови хан е съоръжение от най-високо технологично ниво и се управлява в съответствие с най-добрите световни практики, като по-този начин осигурява висока степен на безопасност по съхранението на радиоактивните източници, които са неизбежни в живота на съвременното общество през 21 век.

България прилага всички съвременни технологични решения при извеждането на I-IV блок на АЕЦ „Козлодуй” от експлоатация, което трябва да стане до 2030г .

Дезактивация на радиоактивно замърсеното оборудване чрез биополимер, демонтаж на активираното оборудване чрез промишлени роботи, нарязването му под вода, както и чрез други безискрови методи. Това са част от иновациите, които се прилагат в световен мащаб при извеждането на ядрени съоръжения от експлоатация. Използваме абсолютно същите технологии. В контролираната зона не можем да прилагаме обичайните методи на демонтаж. Там се прилагат технологии за безискрово рязане. Затова в момента ДП РАО се опитва да подготви подходящ басейн в Реакторното отделение, така че нарязването на оборудването от него да се извършва под вода. Едно от най-недопустимите неща е появата на аерозоли – изпаренията от замърсените повърхности. Това може да доведе до значително разпространение на радиоактивното замърсяване върху други части (подове, стени, оборудване и т.н), които са чисти. Именно по тази причина в контролираната зона се прилагат безискрови технологии и технологии за рязане под вода. Нарязването на оборудването в тази среда може да се прави от хора, които влизат в басейна със специално облекло и принадлежности, както и от промишлени роботи, без каквато и да е човешка намеса. Използва се реагент за контурна дезактивация на ограничени кръгове вътре в контролираната зона. Това е руски биополимер със силно почистващи способности. Кислородните мостове, които са в този биополимер, проявяват окислителна способност и обират солите, които са отложени по стените на тръбопроводите в контролираната зона.

Така се дезактивира замърсено оборудване от контролираната зона, но не и от активната зона на реактора, където оборудването е обемно активирано в резултат на действието на неутронния поток. Обемно активираното оборудване директно отива на рязане и погребване. Има технологии, с които може да се намалим нивото на замърсяване на това оборудване до степен, която да позволи съхраняване в Националното хранилище за ниско- и средно активни отпадъци.

Проекта за 3D-сканирането на контролираната зона на спрените блокове е ключов за реализацията на последващи действия там. За да могат да се планират в детайли дейностите в контролираната зона, трябва да се разпишат предварително задачите с оглед на дозовото натоварване. Трябва, с най-голяма точност, да се знае колко са замърсени помещенията, точните им размери, за да се позиционират

машини, персонал, съоръжения, да се предвидят лични и колективни предпазни средства.

Използва се лазерен скенер, който визуализира в 3D геометрията на пространствата, върху което се налага контрастна картина по замърсяване на помещенията.

Според плана, който следва ДП РАО, процесът по извеждането от експлоатация на оборудване от контролираната зона ще стартира по същество в средата на 2019 г. До тогава се очаква демонтажът на оборудването от Машинна зала, която е от т.нар. конвенционална част на енергоблоковете, да бъде приключено на 100%.

Реакторните отделения на малките блокове на АЕЦ „Козлодуй” може да бъдат трансформирани в хранилище за съхранение на средноактивните дългоживеещи РАО от категория 2Б и на високоактивни РАО от категория 3.

Основното количество високоактивни отпадъци, което ще се появи, е от репроцесинга на горивото на малките четири блока в заводите „Маяк” в Русия. По договор, от 2025 г. руската страна трябва да започне връщане на отпадъците от преработено гориво. Въпреки това ДП РАО продължава да разглежда варианти за погребването на този тип РАО. Предимствата на идеята Апаратно и Реакторно отделение на блоковете, които закриваме, да бъдат трансформирани в такъв тип хранилище е, че те са изградени с тежък бетон, имат биологична защита, която „издържа” високи активности. Тези сгради изискват допълнителен обем проучване по отношение на геоложката среда, слягане, възможност за реализиране на транспортно-технологични схеми. Всяко новоизградено ядрено съоръжение след това трябва да се извежда. Затова първо трябва да изчерпат възможностите на съществуващите съоръжения и след това да се строят нови.

На световно и на локално ниво може да се каже, че ядрената енергетика е единственият промишлен отрасъл, който поема пълна отговорност по отношение на управлението на всички радиоактивни отпадъци, генерирани в процеса на работа, и създава условия за тяхното безопасно съхраняване.