

СЪОРЪЖЕНИЕ ЗА ТРЕТИРАНЕ И КОНДИЦИОНИРАНЕ НА ТЪВРДИ РАДИОАКТИВНИ ОТПАДЪЦИ С ГОЛЯМ КОЕФИЦИЕНТ НА НАМАЛЯВАНЕ НА ОБЕМА

Валентин Ангелов

В доклада е разгледан един от способите за третиране и кондициониране на твърди радиоактивни отпадъци чрез изгаряне с използване на високотемпературна плазмена технология. Разгледани са още основните процеси, системи и модули на елементите изграждащи съоръжението за плазмено изгаряне.

Ключови думи: изгаряне, плазма, твърди радиоактивни отпадъци.

Въведение

Преработката на радиоактивните отпадъци, генерирани през жизнения цикъл на ядрените електроцентрали включва действия, целящи подобряването на безопасността и икономичността на управление чрез изменение на техните характеристики. В съвременните методи за изгаряне на радиоактивни отпадъци се използват т.нар. плазмени методи, при които пепелният остатък получен вследствие на изгарянето бива стопен в стъклообразна форма.

За оценка на степента на намаляване на обема на даден отпадък се дефинира коефициента на намаляване на обема (КНО), който представлява отношение на началния обем на отпадъка към крайния обем на отпадъка:

$$КНО = \frac{V_0}{V_{кр}}, \quad (1)$$

където: V_0 – началният обем на отпадъка;
 $V_{кр}$ – крайният обем на отпадъка.

Системата за плазмено изгаряне (СПИ) представлява комплекс от съвременни технологични решения, способни да третират различни видове отпадъци в широк диапазон (битови, промишлени, медицински, радиоактивни, твърди, течни и газообразни, едновременно или поотделно). Самата плазмена технология се използва широко в металургията и производството на финодисперсни прахови продукти. Чрез разработването на този тип високоенергийна технология се цели преодоляване на някои от недостатъците на досега съществуващите технологии за термично третиране на отпадъците. Плазмата е електропроводим газ, като електрическата проводимост се получава посредством йонизация на част от газовите компоненти в системата. Йонизирането на част от газовата фаза се постига чрез електродъгови или индукционни плазмотрони. Йонизираните газове имат свойства различаващи се от тези на нормалните газове. В основата на плазменото изгаряне е генерирането на постоянна електрическа дъга в плазменния факел, от която се пренася огромно количество енергия върху отпадъците, като по този начин се предизвиква молекулна дисоциация и необратимото им разграждане. Плазмените газове могат да достигнат от 5000 до 15 000 °С. Посредством високотемпературната плазма веществата, съдържащи се в отпадъците се разпадат до атоми, йони и електрони. Като резултат от това се получава черен стъкловиден обсидант (стопилка) и синтезен газ – смес основно от водород, въглероден оксид, малки количества азот, въглероден диоксид и въглеродороди.

Инвестиционното предложение на АЕЦ „Козлодуй“ за изграждане на „Съоръжение за третиране и кондициониране на радиоактивни отпадъци с голям коефициент на намаляване на обема“ се базира на тази технология чрез използване на плазмено изгаряне, за постигане намаляване на обема на ниско- и средноактивни отпадъци от дългогодишната експлоатация и последващо извеждане от експлоатация.

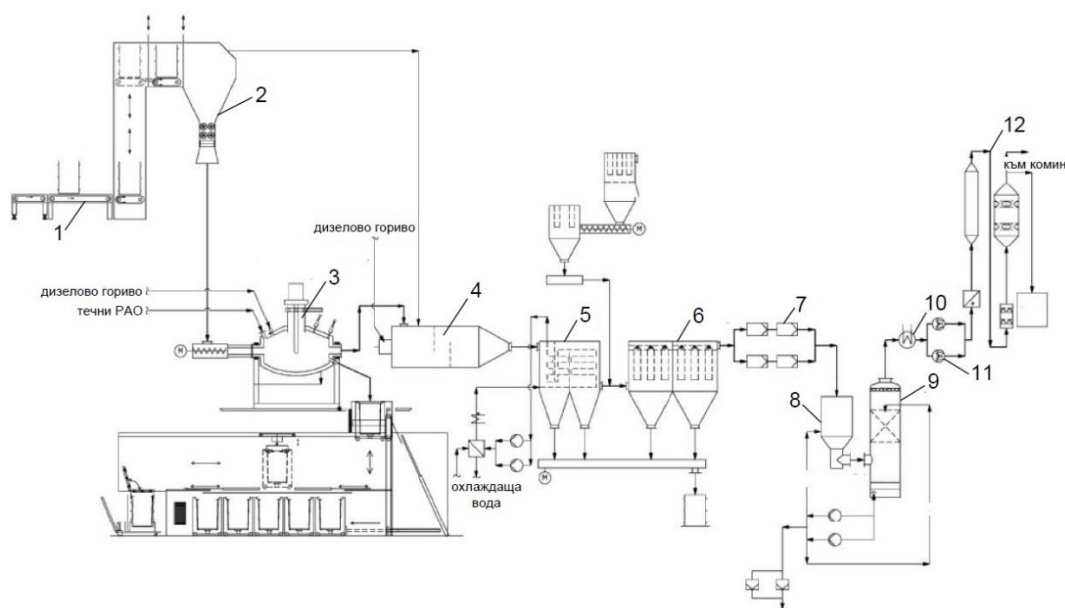
Изборът на този тип високоенергийна технология за преработка на ниско- и средноактивни отпадъци за постигане на целите, разглежда следните групи РАО, които ще бъдат третирани и кондиционирани в СПИ:

- РАО, генерирани по време на експлоатацията на блокове от 1 до 6;
- Допълнителни количества РАО, които се очаква да се генерират по време на етапите на подготовка за извеждане от експлоатация и от демонтажни дейности по време на извеждане от експлоатация на блокове от 1 до 4;
- Отпадъци, които се очаква да се генерират при продължаващата експлоатация на блокове 5 и 6, както и при тяхната подготовка за бъдещето им извеждане от експлоатация.

Основни процеси, системи и модули на системата за плазмено изгаряне

Приемане на РАО. Разположението на системата за плазмено изгаряне се намира на площадката на АЕЦ “Козлодуй” в границите на Спецкорпус 2. Помещението СК2 е свързано със системите на площадката, осигуряващи електроснабдяване, пароснабдяване, сгъстен въздух, обезсолена вода, охлаждаща вода, азот и вентилация.

Подаване на РАО. Непреработените, пресованите и суперпресованите отпадъци в стандартни 200-литрови варели постъпват в СК2 в контейнери за отпадъци. Постъпилите РАО се транспортират с помощта на кран до блока на шредера, който блок се състои от полуавтоматичен лентов транспортър, подемно устройство и двустепенен шредерен блок с винтов транспортър фиг.1. В шредера се преработват непреработените отпадъци до дребен и сравнително еднороден материал с големина по-малка от 80 mm.



Фиг. 1 Принципна технологична схема на плазмено изгаряне

- 1- Лентов транспортър и подемно устройство; 2- Шредер; 3- Камера за първично третиране; 4- Камера за вторично третиране; 5- Бойлер; 6- Модул за ръкавни филтри; 7- HEPA филтри; 8- Охладител; 9- Скрубер; 10- Подгревател; 11- Смукателни вентилатори; 12- DeNOx система.

Камера за първично третиране. След раздробяването на отпадъците чрез винтов транспортър се подават в плазмената камера за първично третиране (КПТ), която представлява високотемпературна наклоняема пещ с работна температура от 1100 до 1500 °С. Обемът на пещта е проектиран по такъв начин, че да поема около 200 l стопилка вследствие на разтопяването на отпадъците. Към камерата за първично третиране са свързани две плазмени горелки с мощност 500 kW, от които едната е резервна, и една дизелова. Дизеловата горелка е с мощност 300 kW, предназначена за подсушаване и подгряване на пещта в процеса на пускане, както и поддържане на температурата на пещта.

КПТ работи под разреждане около 250 Pa и добре херметизирана, така че в нея почти не влиза студен въздух от околната среда. По този начин органичните отпадъци попадащи в пещта, не изгарят, а се преобразуват в газове, които изгарят в камерата за вторично третиране.

Камера за вторично третиране. В камерата за вторично третиране (КВТ) неизгорелите газове, въглеродороди, сажди и въглероден диоксид, навлизайки в нея се смесват с допълнително количество въздух за извършване на процеса на окисляване до първични оксидни компоненти, такива като CO₂, H₂O, SO₂. КВТ е оразмерена по такъв начин, който осигурява минимален престой на отпадъците от две секунди при проектна скорост на подаване и минимална температура 850 °С. Нормалната работна температура е от 900 до 1000 °С. Към КВТ е свързана дизелова горелка с мощност 350 kW, която варира между силен и слаб пламък във функция от температурата на изхода на камерата. Силният пламък на горелката се използва и за подгриване на системата по време на цикъла на предварително подгриване. След КВТ изходящите газове се насочват към системата за третиране на изходящите газове.

Таблица 1

Основни характеристики на СПИ

Параметър	Стойност
Производителност	250 t/a.
Разход (на час)	65 kg
Поток изходящи газове	1200÷1400 m ³ /h
Ефективна работа	4000 h/a
Специфична радиоактивност (постъпващи отпадъци)	5,17.10 ⁶

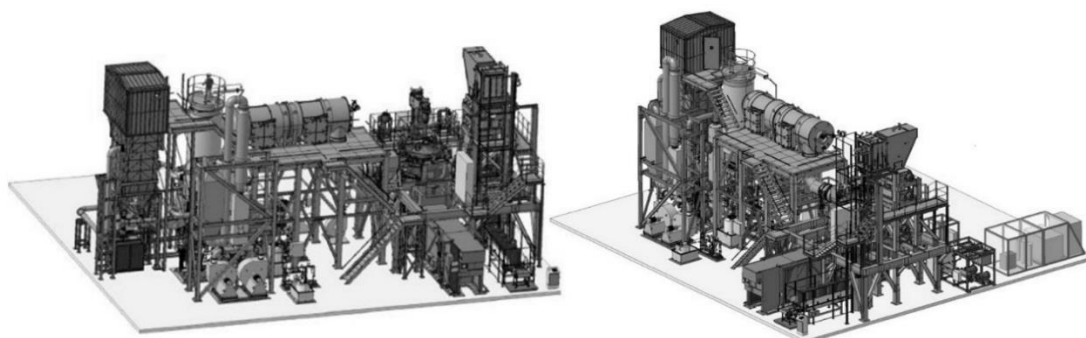
Система за третиране на изходящи газове. Първоначално димните газове получени от горенето в КВТ, се охлаждат до 190 °С посредством бойлер с три хода и лъчисто предаване на топлината. За охлаждането се използва вода, която циркулира в затворен контур като отпадналата топлина се предава на контура за охлаждаща вода посредством междинни топлообменници. По-нататък газовете постъпват в модула за ръкавни филтри, които се състоят от две отделения, всяко с 50 филтърни торбички. Частиците аерозоли се улавят чрез повърхностно филтриране от мембранните ръкавни филтри, издържащи на температура от 250 °С, произведени от тефлон (PTFE). За почистването на филтриращата материя се използва импулсна струя от сгъстен въздух, която се задейства от сигнализатор на диференциално налягане. Събраните частици прах се изтръскват от повърхността на филтърните елементи в бункер на дъното на камерата за ръкавни филтри. Приемането на частиците прах в стандартен варел се извършва през ротационен изпускателен клапан и вибрационен транспортър, след което събраният пепелен остатък се третират като вторичен отпадък и връща обратно в блока на шредера.

За задържане на радиоактивни частици се инсталират HEPA филтри след модула с ръкавни филтри (две паралелни отделения, едното, от които е резервно). Инсталират се и два груби филтъра с ефективност 90%. Двата HEPA филтъра се характеризират с ефективност 99,97% за частици с размер по-голям от 0,3 µm, а след скрубърната система може да се приеме ефективност 99,99%, отчитайки степента на пречистване и улавяне на замърсителите в твърдите отпадъци (стопилка и пепел) и отпадъчните води (вода на скрубера).

Модулът за пречистване на влажни газове, инсталиран след HEPA филтрите, се състои от охладител за охлаждане на газовете и противотоков скрубър, към който се подава разтвор на NaOH за отстраняване на HCl и SO₂, както и влагоуловител. След блока на скрубера са включени два смукателни вентилатора, които осигуряват отвеждането на отпадъчните газове в атмосферата, като единият от тях е резервен. Разреждането в цялата система се регулира от двигатели с честотно управление към смукателните вентилатори.

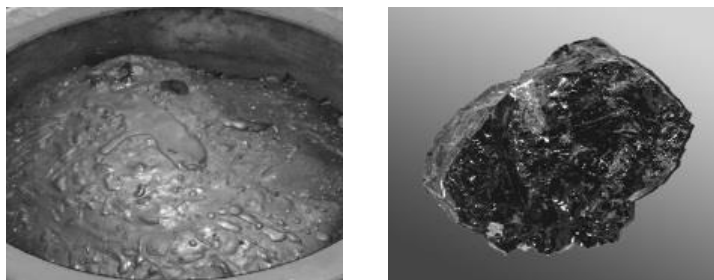
След подгръването на изходящите газове чрез акумулиране на топлината от междинен контур на бойлера и допълнителен електрически подгревател, концентрацията на азотни оксиди се намалява с помощта на катализатор в DeNOx- системата.

Система за контрол на изхвърлянията в околната среда. Преди отвеждането на отпадъчните газове във вентилационната тръба, газовете преминават през системата за контрол на емисиите, която контролира състава на отпадъчните газове по отношение на CO, SO₂, NO_x, HCl, NH₃, O₂, H₂O и общ органичен въглерод (TOC). Резултатите от емисионния контрол се визуализират и могат да бъдат проследявани в реално време от командна зала. Стойностите се предоставят на всеки половин час, както и дневни стойности, коригирани до температура 273 K (0 °C), налягане 101,3 kPa, 11% кислород и сух газ, така че може да се направи сравнение с емисионните гранични стойности и оценка.



Фиг. 2 Общ изглед на инсталацията плазмено изгаряне

Сборна камера за събиране и охлаждане на стопилка. Когато в КПТ се съберат около 200 l стопилка, започва цикъл на изливане на стопилката във форми. Когато печта е готова за изпразване се спира подаването на отпадъци, отворът за изливане се отваря и печта се наклонява. Наличната стопилка се излива в поставената под отвора форма за стопилка. Когато формата се напълни, печта се връща отново в нормално положение, като отворът за изливане се затваря и се възстановява подаването на отпадъци. Наклоняването на печта се извършва посредством хидравлична система позволяваща добър контрол при изливането, което може да бъде прекратено по всяко време. Стопилката се събира в сборната камера за стопилка, която се разглежда като херметизиран бокс. Сборната камера за стопилка се намира под КПТ и поддържа формите със стопилка, докато те бъдат напълнени и транспортирани към камерата за охлаждане. Горещата стопилка се излива в стоманена форма с дебелина на стената 5 mm, която е разположена в чугунена охладителна форма за охлаждане с дебелина на стената поне 100 mm за абсорбиране на топлината. През въздушен шлюз формите със стопилка се прехвърлят в бокса, където се поставят в охладителната форма с помощта на малък мостов кран.



Фиг. 3 Стъклообразна охладена стопилка

Формата за охлаждане се придвижва по вътрешен транспортър към позицията за изливане на стопилката. Когато формата бъде напълнена, тя се придвижва по-нататък за

охлаждане, а нова празна форма се поставя в позицията за изливане на стопилката. След охлаждането формата за охлаждане се придвижва към позицията за изпразване, където поставената в нея форма със стопилка се поема от малък кран и се прехвърля във варел от 200 l. Този варел се разполага до изолационния кожух, където капакът му се отваря автоматично и се затваря, когато формата се постави в 200-литровия варел. След това в празната форма за охлаждане се поставя нова форма за стопилка и се връща в позицията за изливане. Охладителната система е оборудвана със система с циркулиращ въздух, за да се ускори охлаждането на формите. Охлаждането на формите отнема около 48 часа, така че 6 броя форми за охлаждане са достатъчни за осигуряването на непрекъсната експлоатация за една седмица.

Таблица 2

КНО на различни видове отпадъци третирани в СПИ

<i>Тип отпадъци</i>	<i>КНО</i>
<i>Нетретирани отпадъци</i>	<i>81</i>
<i>Пресовани отпадъци</i>	<i>22</i>
<i>Суперпресовани отпадъци</i>	<i>2</i>

Заключение

От съществуващите до момента технологии за преработка на РАО, плазмената технология е тази, с която може да се постигне необходимият коефициент на намаляване на обема им. Инсталацията за плазмено изгаряне реализирана в АЕЦ “Козлодуй” е ключово съоръжение за безопасно извеждане на изведените от експлоатация блокове от 1 до 4 на атомната електроцентрала и управление на генерираните отпадъците на енергоблокове 5 и 6. Това от своя страна осигурява достатъчен капацитет за съхранение на отпадъците до построяване на Национално хранилище за ниско- и средноактивни РАО.

Високото температурно поле в плазмената камера и високата ефективност на почистващата система гарантират, че в отвежданите газове практически няма да има продукти на непълно горене, което е пряка и надеждна защита в опазването на околната среда в процеса на обработка и минимизиране на РАО.

Получената крайна форма на отпадъците не съдържа органични вещества и течности като отговаря на регламентираните изисквания за качество и устойчивост при дългосрочно съхранение или погребване. Също така, исторически или още наследени РАО, кондиционирани в битумна или циментова матрица могат да бъдат повторно преработвани, което прави новата технология потенциално широко приложима в цял свят.

Литература

- [1] Пеловски Й. Методи за третиране и оползотворяване на твърди битови отпадъци. С., БНОЦЕООС, 2007.
- [2] Найденов И. Управление на радиоактивните отпадъци. С., 2018.
- [3] Мичев Т. Доклад за оценка на съвместимостта на инвестиционното предложение за изграждане на съоръжение за третиране и кондициониране на радиоактивни отпадъци с голям коефициент на намаляване на обема в АЕЦ “Козлодуй”. С., 2013.
- [4] Патеров Г. Съоръжение за плазмено изгаряне на РАО, АЕЦ “Козлодуй”. Международен Ядрен форум, Варна, 2013.
- [5] Доклад за оценка на въздействието върху околната среда на съоръжение за третиране и кондициониране на радиоактивни отпадъци с голям коефициент на намаляване на обема в АЕЦ “Козлодуй”.

Валентин Ангелов, Технически Университет - София, катедра „Топлоенергетика и Ядрена енергетика“, e-mail: valangelov@tu-sofia.bg