



ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ-СОФИЯ

Студентски конкурс

Ядрена техника и ядрена енергетика

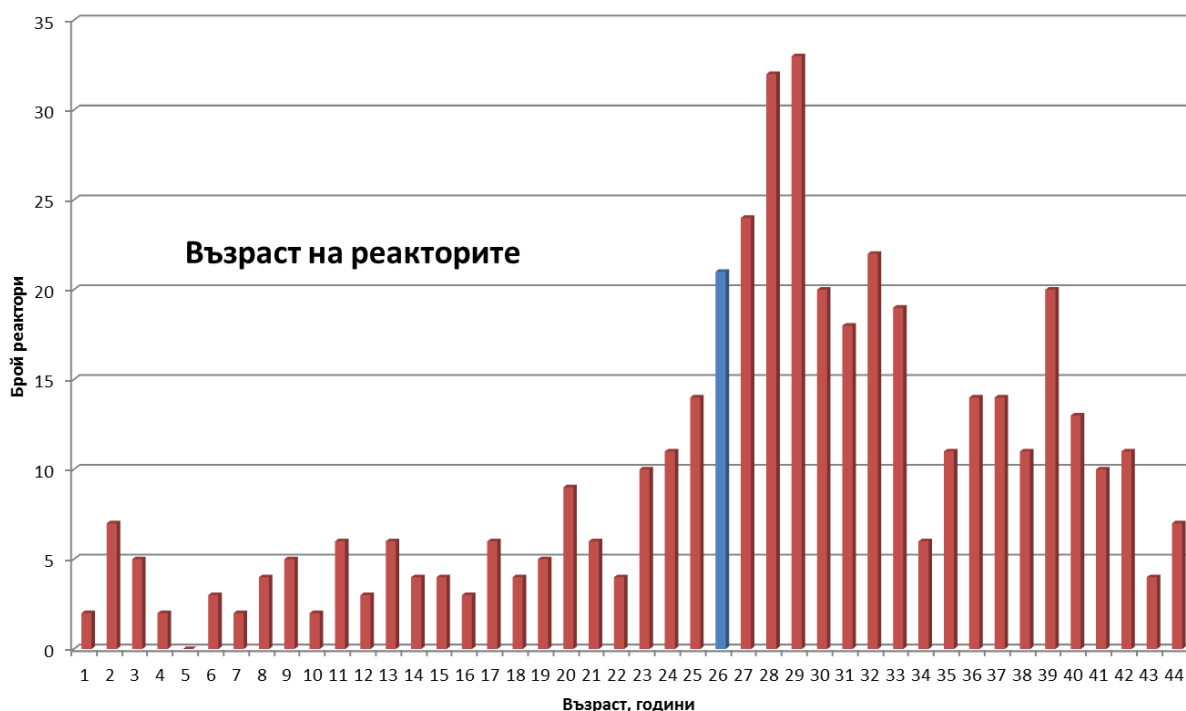
**„Извеждане от експлоатация на
реактори ВВЕР-440 в АЕЦ Козлодуй”**

Изготвил: Георги Мойкински

**София
2013**

Увод

Ядрената енергетика е един сравнително млад отрасъл на промишлеността. Към днешна дата са спрени от експлоатация 138 реактора в 19 страни, като от тях 17 са напълно демонтирани (МААЕ 2012а). По последни данни на МААЕ броят на работещите енергийни реактори към момента е 437. Експлоатационния живот на тези реактори варира от 30 до 40 години. От тези 437 реактора 138 преминават 30 годишната си експлоатация, а други 24 реактора - 40 годишната (Фигура 1).



Фигура 1 Брой реактори спрямо тяхната възраст

Извеждането от експлоатация е процес, за който може да се каже, че е в началото на развитието си, но въпреки това има установени практики, които търпят непрекъснато усъвършенстване и развитие, с цел повишаване на ефективността на процеса (финансова и технологична) и гарантиране на необходимото високо ниво на безопасност.

Терминът извеждане от експлоатация представлява набор от действия, които трябва да бъдат взети в края на експлоатационния живот на съоръженията, като действията имат за цел да поставят съоръжения достигнали края на експлоатационния си живот в такова състояние, че те да не представляват неприемлив риск за обществото, работниците или околната среда. При извеждане от експлоатация на съоръжения използващи и генериращи радиоактивни материали, ИЕ са всички административни и технически дейности, предприети за да се освободи ядреното съоръжение от регулаторен контрол. Прилага се контрол сходен с прилагания при експлоатация на ядрени съоръжения, отделя се особено внимание по отношение на безопасното, своевременно и икономически ефективно отстраняване и управление на радиоактивни материали, както и на повторна употреба / реконструкция на съоръженията и техните площадки за нови цели ако това е възможно. Процеса се извършва отчитайки нормите за безопасност отговаряйки на изискванията на

регулаторните органи, вземайки се под внимание и националното законодателство, като по този начин се дефинира процеса в детайли. Нужно е да бъдат предприети необходимите дейности – технически и административни включени в процеса по извеждане от експлоатация за освобождаване от регулаторен контрол на сградите и съоръженията използващи или генериращи радиоактивни материали. Тези действия най-общо включват дезактивация на замърсени материали, демонтиране и отстраняване на радиоактивни материали, отпадъци, компоненти и структури и последващото им управление.

МЕТОДИ ЗА ИЗВЕЖДАНЕ ОТ ЕКСПЛОАТАЦИЯ НА ЯДРЕНИ СЪОРЪЖЕНИЯ

Извеждането от експлоатация се извършва по три начина. Първия начин е така нареченото незабавно извеждане от експлоатация. При този подход демонтажа започва веднага щом е възможно след спиране на реактора. Наред с демонтажа се изпълнява и обработване на всички радиоактивно замърсени компоненти, структури и съоръжения на площадката на съоръжението. Според изискванията заложи в проекта за извеждане от експлоатация е възможно част от тези структури и съоръжения, както и прилежащата им площадка след освобождаването си от регулаторен контрол да бъдат използвани повторно за други индустриални цели. Образуваните в процеса радиоактивни отпадъци се обработват, след което се транспортират в хранилища според типа на отпадъците или остават за временно съхранение на територията на площадката. Процесът продължава от 5 до 10 години според типа на съоръжението и адекватността на финансиране. Извършва се на четири етапа :

- подготовка за спиране на централата;
- преустановяване на работата на централа и подготовка за съхранение (по време на този етап не се предприемат действия по демонтаж, които биха навредили на безопасното съхранение на отработеното гориво);
- етап на безопасно съхранение, при който се предприемат операции свързани само с басейните за отработено гориво;
- дезактивация (ако е възможно), демонтаж и управление на радиоактивните отпадъци.

Втория начин за извеждане от експлоатация е т.нар. подход за отложен демонтаж (безопасно съхранение). Първоначално централата се поставя под т.нар. фаза на безопасно съхранение за 20 до 100 години. Отлагането на демонтажа се прави с цел естествено понижаване на радиоактивността на структурите, компонентите и съоръженията, в следствие на радиоактивния разпад. Друг фактор налага използването на тази стратегия е икономическия (липса на финансиране). Липсата на подходящо хранилище за определен тип радиоактивни отпадъци също налага използването на отложен демонтаж. При този подход значително се намалява дозовото натоварване на персонала зает в процеса на демонтаж. Подхода се разделя на няколко етапа като първите три са идентични с тези на незабавното извеждане от експлоатация. Четвъртият етап е на дълготрайно съхранение което може да продължи до 100 години, след което се преминава към дезактивация, демонтаж и управление на радиоактивните отпадъци. При този подход е възможно докато една част от централата (радиоактивно замърсената) да се намира под безопасно съхранение, да се извършва демонтаж на останалата част от структурите и съоръженията.

Третия начин за извеждане от експлоатация е т.нар. подход на „загробване”. При този подход силно радиоактивните материали, структури и компоненти се запечатват посредством покриването им със дълго устойчиви субстанции, какъвто е бетона. При този подход се разчита на естественото намаляване на радиоактивността с течение на

времето, а съоръжението се превръща в площадка за радиоактивни отпадъци. Този подход е предвиден като техническо и инженерно решение, но е неприложим за големи инсталации поради опасността от последващо замърсяване и негативното обществено мнение.

Формулирането на стратегическите възможности и избор на оптимална стратегия трябва да бъде направено в съответствие с националните политики и с отразяването на други технически и нетехнически нужди, приоритети, ограничения и инфраструктура специфични за обекта. Специален акцент се отделя на въпроса за баланса между изискванията за безопасност и наличните ресурси за ограничаване на дозовото натоварване на персонала по време на извеждането от експлоатация.

Преди започване на процеса за демонтаж трябва да се спазят следните условия:

- Сградата или помещението се освобождава от отпадъците;
- Технологичното оборудване се източва и технологичните течности се отвеждат;
- Помещението се изключва от електрическата мрежа и от други енергийни източници или обслужващи среди;
- Радиационни характеристики в помещението се измерват, оценяват и регистрират;
- Дезактивацията на оборудването преди демонтажа е направена съгласно изискванията; дезактивиращата течност е отстранена и оборудването е дренирано;
- Правилно е да се изключи осветлението и да се използва портативно осветително оборудване, свързано към временна електрическа мрежа, ако това е възможно.

Разработени са разнообразни методи за демонтаж. Основните способности включват такива, които са широко използвани в промишлеността, но са модифицирани, за да отговорят на специфичните изисквания за ядрени съоръжения. Някои от методите са специфични и са разработени за конкретния случай. На основата на физически принципи и общ подход, методите на срязване може да бъдат разделени на следните групи:

- Термични методи на срязване;
- Механични методи на срязване;
- Хидравлични методи на срязване;
- Взривяване (т.е. рязане на тръби, отстраняване на бетоновата защита).

От финансова гледна точка извеждането от експлоатация се оскъпява със всяко забавяне при спрян реактор поради необходимостта някои системи да продължат работата. Голяма част от персонала продължава да обслужва площадката. При подхода за незабавно извеждане имаме най-малко забавяне на демонтажа, но в същото време имаме наличие на по голямо количество радиоактивни отпадъци с висока активност. При забавения демонтаж освен повече разходи за поддръжка на системите и съоръженията, разходи за персонала, получаваме и по-голямо количество ниско активни отпадъци. При този подход разходите за третиране и управление на високо и средно активни отпадъци са по-малки поради намаленият им обем. Поради това развитието на процеса е насочено към намаляване на сроковете за извеждане от експлоатация и същевременно внедряване на нови технологии за обработка на отпадъците.

Таблица 1 Средна стойност на процеса по извеждане от експлоатация за различните типове реактори (Годишен отчет на NEA 2009)

Тип реактор	Стойност (USD/kWe)
PWR	320
WWER	330
BWR	420
PHWR/Candu	360
GCR	>2500

Таблица 2 Разпределение на разходите за процеса по извеждане от експлоатация
Годишен отчет на NEA 2009

Демонтаж	25-35%
Управление на отпадъците	17-43%
Поддръжка, наблюдение, охрана	8-13%
Почистване и обработка на площадката	5-13%
Проектиране, управление на проекта поддръжка	5-24%

Данните представени на Таблица 1 и Таблица 2 са събрани на базата натрупания опит до 2009 година и направени обобщени анализи на започнатите проекти. Трябва да се отчете че различаващия се регулаторен контрол и спецификата на управлението на отпадъците в различните страни, както и вариантите за извеждане от експлоатация с техните специфики водят до вариации на цените. В таблица 1 е представена усредената стойност за процеса за различните типове реактори. Стойността на процеса се изчислява на базата на избора на метод за извеждане от експлоатация, типа на реактора, състоянието на централата, последващото управление на отпадъците, икономическата обстановка, строгите изискванията за безопасност и др. Броя на реакторите на дадена площадка също оказва влияние върху цената на ИЕ. Повече реактори означава и повече спомагателни сгради и инфраструктура за демонтаж и премахване. Трябва да се отчете че ако на площадката се извеждат от експлоатация не всички реактори то разходите за наблюдение и надзор ще са значително по малки в сравнение със случая когато се извеждат всички реактори. Разликата в цената между незабавния и отложения демонтаж не е значителна. При отложения демонтаж са необходими средства за поддръжка на инсталация в периода на безопасно съхранение, което ужеличава крайната цена на процеса. Данните, представени в Таблица 1 са за финализиран процес с погребване на радиоактивните отпадъци (т.е. в стойността влиза и разходите по управление на отпадъците). Количеството и типа на радиоактивните отпадъци също определя стойността на извеждането от експлоатация. На Таблица 3 са представени данни за средната стойност на масата на тези отпадъци на базата на прогнози и анализи.

Таблица 3 Средна маса на радиоактивните отпадъци
Според типа на реактора. Годишен отчет на NEA 2009

Тип реактор	Маса на радиоактивните отпадъци (t/MW)
PWR	10
BWR	10
PHWR/Candu	13
WWER	17
GCR	1000

Площадката на централата сама по себе си е ценен ресурс с оглед на характеристики на които отговаря една лицензирана площадка на ядрена електроцентрала. Поради това използването на стратегия с довеждане на площадката до „зелена поляна” е по-слабо популярна. Финансово по-изгодно е площадката да бъде доведена до т.нар. „кафява поляна” и използвана отново за индустриални цели.

Опита показва че извеждането от експлоатация би било по-лесно и евтино ако е заложено в началния проект на централата. При нови проекти за изграждане на електроцентрали, извеждането от експлоатация е част от проекта, чрез взимането на инженерни решения които ще улеснят работата по процеса след спирането на централата. За по-старите проекти на реактори от първо поколение стратегията по извеждане от експлоатация се подготвя няколко години преди спирането съответното съоръжение. С оглед на това че при извършването на демонтажа горивото е премахнато, а радиоактивните флуиди са дренирани от системите и оставащите радиоактивни отпадъци са предимно твърди то вероятността за големи радиоактивни замърсявания е малка. Въпреки това е възможно установяване на замърсяване по време на самия процес на демонтажа. Пример за това е установяването на 33 000 м³ замърсена почва под сградата на реакторно отделение в Централата Maine Yankee в САЩ, след премахване на сградата. Този случай може да бъде посочен като пример за адекватно планиране и контрол на нужните действия за неутрализиране на замърсяването с оглед на гарантиране на безопасността на работниците и спазване на изискването за непревишаване на нормите за погълната доза.

Разчита се на т.нар. разумно демонтиране, при което трябва да се гарантира разделяне на радиоактивните от не радиоактивните материали. Стриктното спазване на това правило позволява намаляване на обема на радиоактивните отпадъци които ще бъдат третирани, което от своя страна има и финансов аспект. Развитието на процеса е насочено към скъсяване на сроковете за извършване и намаляване на финансовите параметри, но не за сметка на безопасността, а чрез въвеждането на нови технологии и подходи, като се взима под внимание натрупания опит.

Извеждане от експлоатация на блокове с реактори ВВЕР-440 в АЕЦ Козлодуй. Актуализирана стратегия за извеждане от експлоатация на 1-4 блок АЕЦ „Козлодуй” . Резюме.

Стратегията за извеждане от експлоатация на блокове 1-4 на АЕЦ Козлодуй се основава на информацията в съществуващата проектна документация за извеждане от експлоатация на бл. 1 и 2, най-новите международни тенденции при извеждане от

експлоатация, и пространния опит по извеждане от експлоатация в Обединеното Кралство, Франция включително и знанията придобити от Германия, Испания, Италия, Унгария и Словакия.

На базата на тази информация е актуализирана стратегията за извеждане от експлоатация на бл.1 и 2, АЕЦ “Козлодуй”, изготвя се съвсем нова стратегия за извеждане от експлоатация на бл. 3 и 4.

Стратегията за извеждане от експлоатация преди актуализацията си през 2010 година включва следните етапи:

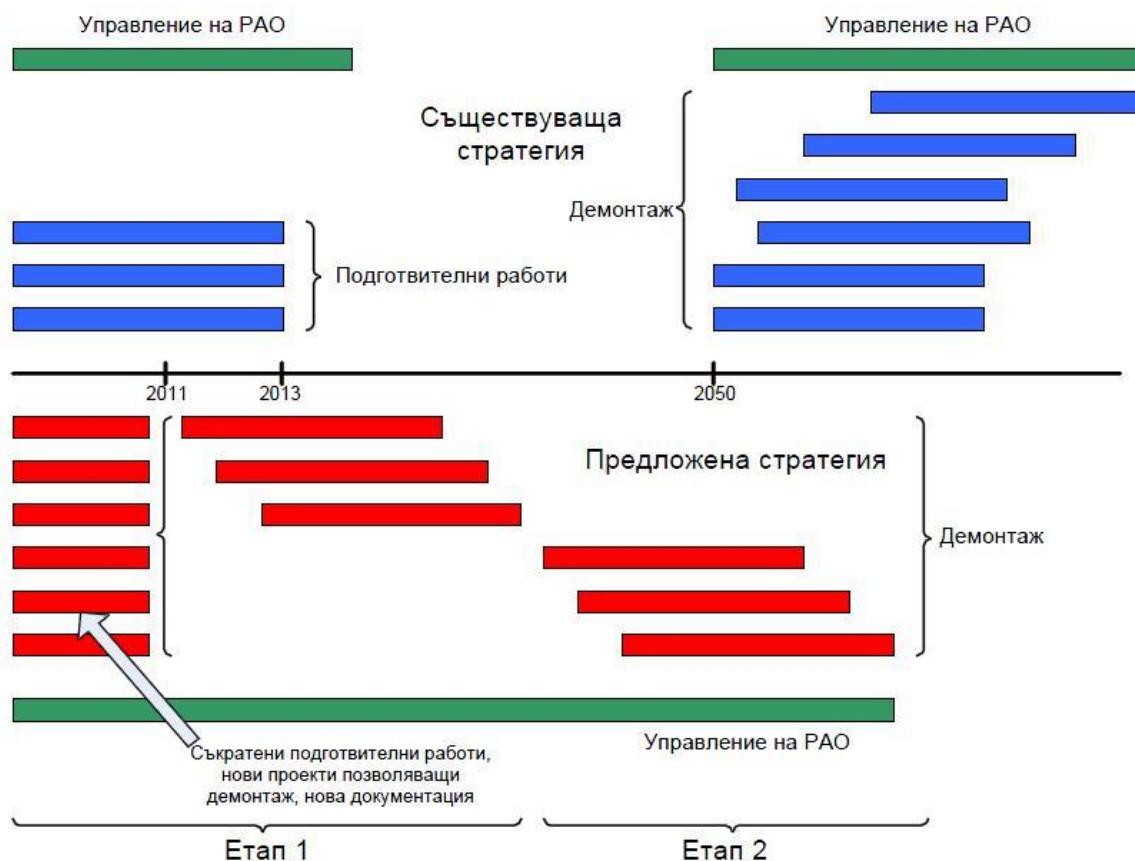
Стратегията за извеждане от експлоатация валидна в момента включва: <i>Изключване на бл. 1 и 2 от енергосистемата</i>	<i>30/31 декември 2002г.</i>
<i>Следексплоатационен период на бл. 1 и 2</i>	<i>януари 2003 – 2012 г.</i>
<i>Спиране на бл. 3 и 4</i>	<i>края на 2006г.</i>
<i>Следексплоатационен период на бл. 3 и 4</i>	<i>януари 2007 – 2012 г.</i>
<i>Транспортиране на отработеното гориво от бл. 1 и 2 до хранилището за съхраняване под вода</i>	<i>до 31.12.2012г.</i>
<i>Транспортиране на отработеното гориво на бл. 3 и 4 до хранилището за съхраняване под вода</i>	<i>до 31.12.2012г.</i>
<i>Подготовка за безопасно съхранение, бл.1-4</i>	<i>2013 -2014 г.</i>
<i>Безопасно съхраняване</i>	<i>2015 – 2049 г.</i>
<i>Демонтиране и освобождаване на площадката</i>	<i>2049 – 2059-2061г.</i>

Според стратегията, безопасното съхранение включва двете реакторни отделения (РО), двата Спецкорпуса (СК), двата вентилационни комина, част от Санитарно-битовия комплекс (СБК) 1 и естакадите помежду им.

Осигурено е финансиране от Европейския съюз (ЕС) чрез Международния фонд за подпомагане на извеждането от експлоатация за подпомагане на дейностите преди извеждане от експлоатация, като изграждане на необходимата инфраструктура за управление на отпадъците, за преработване и кондициониране на отпадъците от демонтажа.

Въз основа на международния опит, преоценката на съществуващия проект за извеждане от експлоатация и резултатите от степенуването на възможните варианти по време на семинара, проведен през юли 2005 г. в Козлодуй, се предлага актуализирана стратегия за бл. 1, 2, 3 и 4 на АЕЦ “Козлодуй”. Основната разлика между съществуващата стратегия и предлаганата стратегия може да се илюстрира с опростена схема на Фигура 2.

Схемата показва, че в досегашната стратегия има промеждутъчен период от 35 години между подготвителните работи и началото на демонтажа, което е свързано с прекъсване на процеса по управление на отпадъците. По предлаганата стратегия подготвителните работи започват по-рано и след това се преминава към демонтаж без значително прекъсване. Процесът по управление на отпадъците се прилага непрекъснато и работното натоварване е по-равномерно.



Фигура 2 Опростена схема на съществуващата и предлаганата стратегия за извеждане от експлоатация.

Предлага се да се съкратят подготвителните работи, такива като отстраняване на запалими и възпламеними материали, отстраняване на азбест и други опасни материали, за които в съществуващия проект за извеждане в експлоатация е прието, че са започнали. Потенциално те може да се разширят с други дейности преди извеждането от експлоатация, като проектиране и изпълнение на новата система за електрозахранване за извеждане от експлоатация и демантиране на оборудване от категория 3.

Продължителността на безопасното съхранение може да е гъвкава и много по-кратка от 35 години, за да може дейностите по демонтажа да продължат плавно след приключването на демантирането извън безопасното съхранение. Това е най-съществената разлика между съществуващата и предлаганата актуализирана стратегия.

Ревизирана е стратегията за безопасно съхранение, която се предлага в съществуващия проект за извеждане от експлоатация. В стратегията се предлага спецкорпусите да се изключат от безопасното съхраняване, за да може да продължи преработването на натрупаните радиоактивни отпадъци.

Предлаганата философия в основата на новата стратегия за извеждане от експлоатация е плавно, равномерно и непрекъснато използване на човешки и финансови ресурси, а също и на съоръженията за преработване на отпадъци, затова предлагаме актуализираната стратегия да се нарича "Непрекъснат демонтаж".

Прилагането на стратегията за непрекъснат демонтаж в АЕЦ "Козлодуй" ще поражда някои изисквания:

- Да се отстрани отработеното гориво от БОК в централна зала;
- Да се проектира и изгради инфраструктура за преработване на отпадъците от извеждането от експлоатация (напр. цех за раздробяване и дезактивация);
- Преработване на документацията за извеждане от експлоатация;
- Преработване и кондициониране на натрупаните РАО, включително боратите.

Наличието на национално хранилище през 2015 е решаващо за успешното осъществяване на стратегията за непрекъснат демонтаж. За да се осигури плавно протичане на дейностите по демонтажа, желателно е да се ускори програмата за въвеждане в експлоатация на хранилището.

Предлагана актуализирана стратегия

Стратегията е изготвена на базата на следните предположения:

- Блокове 3 и 4 се спират в края на 2006г.;
- Решението за извеждане от експлоатация на блокове 1 и 2, както и за 3 и 4, е взето.
- Хранилището за сухо съхранение на отработено ядрено гориво ще бъде прието в експлоатация – всички изчисления на сроковете в Актуализираната стратегия за извеждане от експлоатация се базират на това допускане.
- Ще бъде одобрен и изпълнен нов проект за преработка и кондициониране на борати.
- През 2015 г. ще бъде пуснато в експлоатация Национално хранилище за радиоактивни отпадъци.

Европейският опит в областта на извеждане от експлоатация

Очевидно, най-уместният пример за АЕЦ “Козлодуй” е проекта по извеждане от експлоатация на Грайфсвалд в Германия. Грайфсвалд е предшественик на ядрения реактор тип ВВЕР в Козлодуй и сходството между двете централи е не само в същия тип реактори, но също така и по отношение на аспекта, свързан с непрекъснатата трудова заетост/работа.

Изисквания за прилаганата в нашата страна стратегия

Основният закон в България уреждащ обществените отношения, свързани с държавното регулиране на безопасното използване на ядрената енергия и йонизиращите лъчения и с безопасното управление на радиоактивните отпадъци и отработеното гориво е Закона за безопасно използване на ядрената енергия (ЗБИЯЕ). Той дефинира правата и задълженията на лицата, които осъществяват тези дейности. По смисъла на този закон „Извеждане от експлоатация” са всички административни и технически дейности, предприети за да се освободи ядреното съоръжение от регулиране, включително затваряне на съоръжение за погребване на радиоактивни отпадъци или отработено ядрено гориво. Съгласно чл.39, ал.1 на ЗБИЯЕ, ядрено съоръжение може да бъде изведено от експлоатация само след издаване на разрешение от председателя на Агенцията за ядрено регулиране (АЯР) на лицензианта. В съответствие с Чл. 59 на Наредбата за реда за издаване на лицензии и разрешения за безопасно използване на ядрената енергия, цялостният процес на извеждане от експлоатация на ядреното съоръжение се разработва, анализира, планира и обосновава в план за извеждане от експлоатация.

Извеждането от експлоатация на ядрената централа в България е процес, изискващ лицензиране от АЯР в съответствие със ЗБИЯЕ. Законът дава възможност за извеждане от експлоатация на етапи, всеки от които изисква отделно разрешение. Наредба за извеждане от експлоатация, определя две основни концептуални технически възможности за извеждане от експлоатация на ядрено съоръжение:

1. Незабавен демонтаж, свързан с отстраняване на радиоактивното оборудване, материали и структури от площадката и последвалото предоставяне на площадката за ограничено или неограничено използване;
2. БС на ядреното съоръжение при отложен демонтаж, обхващайки един техническо-икономически обоснован период от време.

Въпреки че Наредбата за извеждане от експлоатация изрично не гласи така, от нея безусловно се разбира, че отложеният демонтаж ще последва края на БС и в края на крайщата площадката ще бъде отстъпена за ограничено или неограничено ползване. По отношение на БС, Наредбата за извеждане от експлоатация прави разлика между два типа режима на работа при БС:

- а) Активна алтернатива, която приема, че персоналът има достъп до ядреното съоръжение по време на БС, за да извършва рутинни ежедневни инспекции и поддръжка. Това предполага, че е извършено минимално извеждане от експлоатация и че централата всъщност е по-скоро “консервирана” отколкото “демантирана”;
- б) Пасивна алтернатива, при която обикновено няма достъп до оборудването и влизането е периодично (веднъж или няколко пъти годишно) за инспекции и оценка на състоянието и обстановката. Това предполага, че е извършено значително количество работа по демантиране и извеждане от експлоатация.
- в) Комбинация от гореспоменатите алтернативи а) и б).

В основата на актуализираната стратегия за извеждане от експлоатация се предлага философия за плавно, равномерно и непрекъснато използване на човешките и финансовите ресурси, както и на съоръженията за преработване на РАО, откъдето идва и името “НЕПРЕКЪСНАТ ДЕМОНТАЖ.”

Общо описание на непрекъснатия демонтаж

Предлага се да се обединят етапите на Подготовка за безопасно съхранение и Експлоатация на безопасното съхранение, както са определени в първоначалния проект за извеждане от експлоатация, в един Етап 1. Подготовката за безопасно съхранение отнема само 2 години за двойка блокове и подаването на документите за разрешение за извеждане от експлоатация за етап “експлоатация на безопасно съхранение” би трябвало да се направи дори преди да започне подготовката за безопасно съхранение на блокове 3 и 4. Следователно, за да се изпълнят изискванията от „Наредбата за реда за издаване на лицензии и разрешения за безопасно използване на ядрената енергия „, трябва да се включи описание на изпълнените дейности и постигнатите резултати по време на предходните етапи на извеждане от експлоатация на ядреното съоръжение. Ето защо са необходими алтернативни мерки.

Безопасното съхранение на Реакторно отделение I ще бъде подготвено в рамките на 2-годишен период, следвайки процедурите, описани подробно в съществуващия технически проект за извеждане от експлоатация на блокове 1 и 2. При завършване на подготовката за безопасно съхранение на блокове 1 и 2, ще бъде стартирана

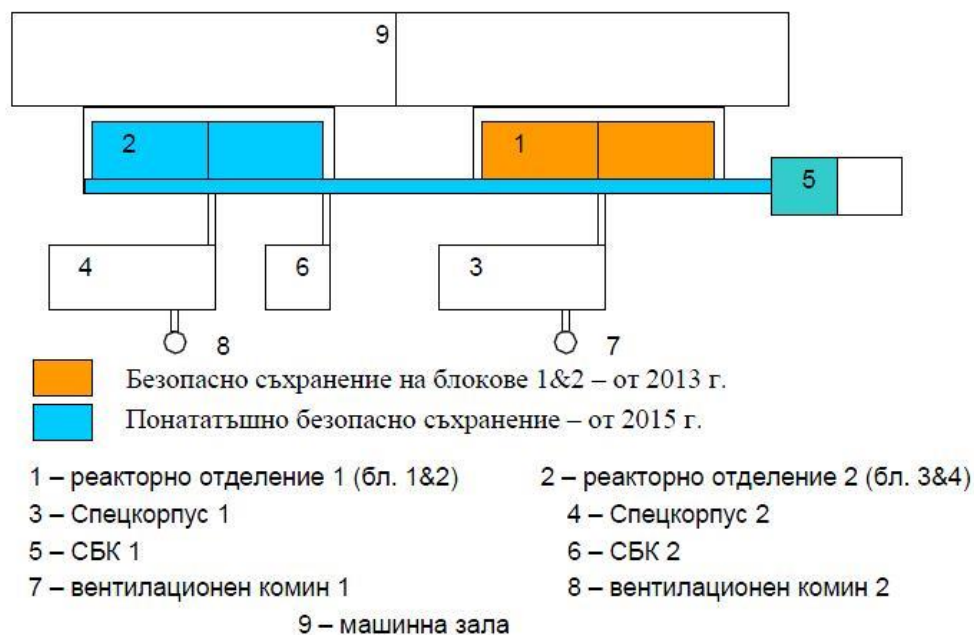
подготовката за безопасно съхранение на блокове 3 и 4. Тя ще следва същите процедури като се вземат предвид всички разлики между двете двойки блокове, описани в приложенията към този отчет.

Според стратегията за непрекъснат демонтаж, Спецкорпусите и комините са изключени от Зоната за безопасно съхранение, което ще позволи използването им като съоръжения за управление на радиоактивни отпадъци преди Зоната за безопасно съхранение да бъде отворена отново.

Спецкорпусите ще имат специален статут, за да бъдат използвани през различните етапи на дейностите по извеждане от експлоатация.

Следователно, ще бъде необходимо незначително преработване на процедурите за Подготовка на безопасното съхранение по отношение на изключване на комините и спецкорпусите от безопасното съхранение.

Обхватът на безопасното съхранение ще бъде ограничен до реакторните отделения, част от СБК и свързващите естакади, както е показано на Фигура 3.



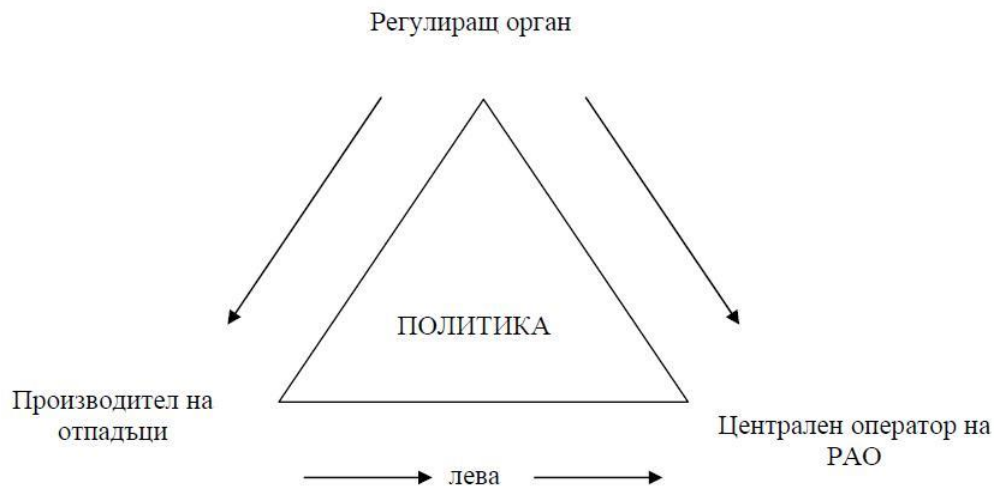
Фигура 3 Безопасно съхранение на блокове 1-4

Предложената Актуализирана стратегия за извеждане от експлоатация – непрекъснат демонтаж – се разделя на 2 етапа както следва:

Етап 1: Безопасно съхранение на реакторно отделение и демонтаж на оборудването извън Зоната за безопасно съхранение;

Етап 2: Отложен демонтаж на оборудването в рамките на зоната за безопасно съхранение и освобождаване на сградата за използване за други цели.

Продължителността на Етап 1 не е фиксирана, разрешението ще бъде издадено за фиксиран срок, определен от АЕЦ „Козлодуй“ и за него ще се кандидатства периодично. Краят на Етап 1 ще бъде определен от завършването на демонтажа извън Зоната за безопасно съхранение. Етап 2 ще бъде лицензиран по същата процедура както за етап 1. Краят на Етап 2 ще бъде определен от завършването на демонтажа в рамките на Зоната за безопасно съхранение.



Фигура 4 Моделът на „класическия триъгълник“

Националната единна държавна система за управление на РАО и ОЯГ е набор от инфраструктурни съоръжения за управление на РАО и ОЯГ, лица, осъществяващи дейности в областта на радиоактивни отпадъци, Закона за безопасно използване на ядрената енергия и свързаните с него подзаконови нормативни актове в областта на безопасното управление на РАО и ОЯГ. Тя е изградена по модела на „класическия триъгълник“, който разделя отговорностите при управлението на отработеното ядрено гориво и радиоактивните отпадъци на три:

- Регулиращ орган по ядрена и радиационна безопасност;
- Лица, които при своята дейност генерират радиоактивни отпадъци;
- Национален оператор, отговорен за управлението на отработеното ядрено гориво и радиоактивните отпадъци, вкл. погребването на радиоактивните отпадъци.

Всеки от изброените участници в управлението на отработеното ядрено гориво и радиоактивните отпадъци има различни отговорности и е независим от останалите. Моделът на „класическия триъгълник“ е показан на Фигура 4.

Етапност на извеждането от експлоатация между блоковете

С две години разлика между началото на извеждането от експлоатация на блокове 1 и 2 и блокове 3 и 4, ще се постигне удобна етапност на дейностите по извеждане от експлоатация в етапите на подготовка за БС, също както и при действителното демонтиране на МЗ. Всички последващи дейности по демонтиране трябва да бъдат планирани така, че работните пакети по демонтиране да не вървят паралелно на двете двойки блокове или дори на всичките четири блока. Да се направи демонтирането последователно е от полза, защото опитът придобит на първия блок (двойка блокове) може да бъде използван на другите блокове, така че дейностите по демонтиране да се направят по-ефективни (или безопасни). Това също така намалява количеството оборудване, което трябва да се закупи (и евентуално да се изхвърли като замърсени отпадъци когато работата бъде завършена). Ясно е, че това също така намалява изискванията за обучение, тъй като за всяка задача трябва да се обучава по-малка група хора.

Повторно използване на съществуващи сгради

Както бе споменато, при извеждането от експлоатация по изгодно във финансов аспект е довеждането на площадката до състояние при което тя е освободена от регулаторен контрол с възможност за повторно използване. Що се отнася до положението при АЕЦ „Козлодуй”, стратегията за повторно използване на съществуващите сгради включва инспектирането и оценяването на всяка сграда на площадката, за да се определи нейната годност за преустройство за повторна употреба след извеждане от експлоатация. В случай на преустройство на сградата, основната задача е да се осигури безопасността на персонала, населението и околната среда.

В краткосрочен план, ще има известно повторно използване на сгради за подпомагане на извеждането от експлоатация. Пример за това е предложената употреба на сградите на МЗ като място за разполагане на работилница за преработване на отпадъци поне по време на демонтиране на МЗ и евентуално по време на по-късните фази на извеждане от експлоатация.

В по-дългосрочен план, би могло да има възможности за повторна употреба на МЗ и други подходящи сгради за алтернативни търговски цели, включително малко по мащаб производство на не-ядрена енергия. Всяко повторно използване на площадката за по-голямо мащабно конвенционално или ядрено производство на електроенергия е свързано с построяване на нови сгради, които да отговарят на проекта и компановката на новата централа. Повторното използване на съществуващите сгради за нова централа не се разглежда.

Очаква се, първата сграда, където ще се осъществи значителна демонтажна дейност да бъде МЗ. От тази дейност основно ще се произведат не радиоактивни отпадъци, въпреки че може да има някои слабо замърсени материали в резултат на течове от първи към втори контур, а също така и някои не радиоактивни опасни материали. Желателно е при демонтажа да бъдат демонтирани парчета с такива размери, които позволяват лесна по-нататъшна преработка. В резултат на това ще има допълнителна преработка на демонтирания материал. Това ще включва сортиране, фрагментиране, дезактивиране, измерване за освобождаване от контрол, и управление на количеството вторични отпадъци, включително резервоари за утаяване и неутрализация на дезактивиращите разтвори.

За да се избегне строителството на временна сграда, в която да се извършва тази дейност, се предлага самата МЗ да се използва като работилница за преработване на РАО от извеждането по експлоатация. Това има редица предимства с оглед на минимизиране на движението на отпадъчните материали и повторно използване на оперативните системи в МЗ, такива като подемно оборудване с висока товароподемност.

Първоначално, пространството в МЗ ще бъде ограничено, но ще се увеличи с течение на демонтажа. Следователно, работилницата за преработване на отпадъци ще започне като относително малко модулно съоръжение, най-вероятно от външния край на МЗ, принадлежаща към блокове 1и2, но то може да се разшири по-късно, за да извърши по-комплексни дейности по преработване на отпадъци на по-големи елементи или материали от сградите, от други части на площадката. Това разширяване може да бъде придружено с изискване да се създаде специално съоръжение за преработване с нови специализирани системи за поддръжка, такива като допълнително хранване, отопление, вентилация и климатизация, инструментариум за дистанционна манипулация и евентуално екраниране в зависимост от отпадъците, които ще бъдат преработвани и процесите, които ще бъдат използвани.

Самата работилница за преработване на отпадъци ще трябва да бъде изведена от експлоатация и демонтирана в края на своя експлоатационен живот. Оборудването и

системите в работилницата за преработване на отпадъци трябва да бъдат така проектирани и инсталирани, че да се гарантира, при етапа на извеждането им от експлоатация да ненужното създаване на допълнителни радиоактивни отпадъци.

Има предложения за използване на сгради като съоръжения за съхраняване. Това предложение отново касае машинна зала.

Наличният обем в СК-1 е 102x36x6 m. Този обем може да се използва за съхраняване на радиоактивни или замърсени материали.

Финансови средства за извеждане от експлоатация на блокоже 1-4 на АЕЦ „Козлодуй”

Както бе споменато финансирането на ИЕ е изключително важен фактор, който влияе на процеса. Обичайна практика е плановете за извеждане от експлоатация, да са придружавани от оценка на разходите. Съществуват различни методи за оценка на необходимите финансови средства за ИЕ. Тяхната надеждност зависи от степента, до която различните данни са достъпни и приложими за конкретния случай. Независимо от метода, известна непредвидимост е неизбежна при всички оценки на бъдещите разходи.

Планът за извеждане от експлоатация, придружен със съответната оценка на разходите, е важна предпоставка за осигуряване на достатъчно средства, които да бъдат на разположение за покриване на реалните разходи за извеждане от експлоатация на съоръжението. В дългосрочен времеви хоризонт натрупването и изразходването на такива парични средства е ангажимент на националните органи. Ето защо е важно да се поддържа една реалистична оценка на направените разходи.

В момента е налице значителна вариабилност във формата, съдържанието и практиката за оценка на разходите, което прави много трудно сравняването на оценки, дори и за съоръжения от подобен тип. Причините за това до голяма степен се дължат на различни правни изисквания в различните страни, както и на приетите вече практики, което води до различия в основните предположения, като очаквана стратегия за извеждане от експлоатация и състояние на площадката в края на ИЕ.

Добрите практики за ИЕ в световен мащаб съгласно проучване на OECD (Организация за икономическо сътрудничество и развитие) са:

- **Изисквания за оценка на разходите:** В повечето страни са установени изисквания за оценка на разходите и отчетността. Действащите правни изисквания включват подготовката на план за извеждането от експлоатация и свързаната с него оценка на разходите, с периодични актуализации – в Германия, Япония, Швеция и Великобритания всяка година се прави преглед на изпълнението на Плана за ИЕ и се актуализира оценката на разходите, в САЩ периода е двугодишен, във Франция на три години, а в Канада и Белгия на пет години;
- **Времеви график за ИЕ:** Оценката на разходите за извеждане от експлоатация се основава на стратегията за извеждане от експлоатация и на предварителния график за ИЕ. Като се има предвид, че дейностите по извеждане от експлоатация, често могат да надхвърлят приетата времева рамка за ИЕ, тези аспекти представляват значителна непредвидимост, особено в по-ранните етапи от извеждането от експлоатация;
- **Обхват на дейностите при ИЕ:** Обикновено обхвата включва дезактивация, демонтиране машини, съоръжения и сгради, съхраняване на отработено гориво и управление, транспорт и погребване или дългосрочно съхранение на отпадъците;

- **Подходи в разработването на оценката на разходите:** Повечето страни приемат официална организация на оценка на разходите използваща Разбивка на работата по дейности (Work Breakdown Structure) разработена на базата на Стандартизираният списък в „A Proposed Standardized List of Items for Costing Purposes in the Decommissioning of Nuclear Installations, ЕС, IAEA, OECD”. Има два подхода за разработването на структурата на разбивката на разходите – дейностно-зависими и периодно-зависими разходи;
- **Управлението на риска:** По отношение на осигуряване на достоверна оценка на разходите в контекста на непредвидимост, се изисква по-добро прогнозиране в областта на експлоатационните разходи, отколкото в областта на непредвидените.

Опитът от реално изпълняваните до момента проекти по извеждане от експлоатация води до идентифицирането (съгласно проучване на OECD) на елементите на разходите и класифицирането им като:

Много важни:

- Определяне на обхвата и промените в плана на проекта за ИЕ;
- Изменение на нормативните изисквания и повишаване на изискванията за допълнителна информация и детайли;
- Състояние на площадката в края на ИЕ и разположение на отпадъците;
- Характеризиране на площадката - физически, радиологично и обследване на опасни материали;
- Управление на отпадъците и наличие на съоръжения за тях;
- Управление на ОЯГ (отработено ядрено гориво);
- Предполагаема продължителност на дейностите по демонтаж и дезактивация;
- Наличие на опитен персонал с познания за съответната дейност;
- Непредвидени фактори и използването на оценки, за отчитане на непредвидени събития;
- Разположение на чистите структури и готовността на площадката за понататъшно използване.

Умерено значителни:

- Година на оценката;
- Инфлация;
- Фактор (и) за повишаване на разходите;
- Контейнери за отпадъци;
- Начало на извеждане от експлоатация и гранични условия;
- Преминаване от експлоатация към извеждане от експлоатация;
- Управление на проекти и организация.

За осигуряване на точна оценка на разходите е необходимо да се спазва: методологическа точност и последователност; избягване на промени в обхвата на Плана за ИЕ; добра квалификация на персонала; постоянство в нормативните изисквания; активно участие на персонала на централата, както и управлението на риска. Текущите добри практики включват използването на стандартизиран списък от

дейности, силна система за управление на качеството, както и участието на регулаторните органи и заинтересованите страни в планирането на извеждането от експлоатация.

Проблемът с разходите за извеждане от експлоатация е широко обсъждан и все още няма утвърдена единна методика. Съществуващите публикации на МААЕ и OECD са на база сравнителни анализи на вече извършени или действащи мероприятия. Цитираните разходи в тези анализи са стойности от порядъка на 300-700 USD (по цени от 1998г) за инсталиран киловат мощност. Голямата разлика се дължи на ред причини като различна стратегия за извеждане, разходи за труд и персонал, капиталови и експлоатационни разходи и разходи при риск и неопределеност. Според МААЕ размерът на разходите е строго специфичен за всяка площадка и за всяка държава и се забелязва тенденцията за постоянно нарастване на общия размер на планираните разходи.

Първата прогнозна оценка за разходите за извеждане от експлоатация на блокове 1 и 2 на АЕЦ „Козлодуй” е направена в проект финансиран по програма PHARE, през 2000г. В този проект за извеждане от експлоатация е оценено само „безопасно съхранение”. Разходите са оценени на 87,305 MEUR. Тъй като тогава не е предвиждано извеждането от експлоатация на блокове 3 и 4, а те са аналогични на блокове 1 и 2, може да се приеме, че оценката за извеждането от експлоатация на блокове 1-4 на АЕЦ „Козлодуй” е 174,61 MEUR.

През 2007 година е изготвена прогнозна оценка за извеждане от експлоатация на блокове 1-4, съгласно по-рано приетата Актуализирана стратегия за извеждане от експлоатация на 1-4 блок на АЕЦ „Козлодуй” за „непрекъснат демонтаж”. Разходите по извеждане от експлоатация на блокове 1-4 на АЕЦ „Козлодуй” са оценени на 704,23 MEUR.

Общите разходи за ИЕ на блокове 1-4 на АЕЦ „Козлодуй” са оценени на 1 117,610 MEUR в изготвената през 2010г. прогнозна оценка

Приемайки данните от публикациите на МААЕ и OECD за база за изчисляване на предварителната оценка за разходите по извеждане от експлоатация на блокове 1-4 на АЕЦ „Козлодуй”, то „текущата оценка” за извеждането им от експлоатация би варираше в границите 352-880 млн. евро. При очакван ескалиращ фактор от 3% годишно и продължителност на дейностите по извеждане от експлоатация на съоръжението от 25 години от момента, то очакваните бъдещи разходи би трябвало да бъдат в рамките на 737 – 1842,5 млн. евро. В приетата от МС на 5 януари 2011г. Стратегия за управление на отработеното ядрено гориво и на радиоактивните отпадъци до 2030 г. е заложена „текуща оценка” за извеждането от експлоатация на блокове 1-4 на АЕЦ „Козлодуй” от 500 млн. евро. Очакваните бъдещи разходи за 25-годишен период ще бъдат 1047 млн. евро.

За сравнение оценките направени при аналогични проекти за извеждане от експлоатация на централи оборудвани също с руски реактори ВВЕР-440 са следните:

- Оценката на общите разходи за извеждане от експлоатация на блокове 1 и 2 на АЕЦ Бохунице(Словакия) при избор на стратегия „незабавен демонтаж”, (от края на 2005 година) е 567 млн. евро. Предвижда се извеждането от експлоатация на блоковете да се изпълни за 25 години–2010-2035.
- Оценката на общите разходи за извеждане от експлоатация на блокове 1 и 2 на АЕЦ „Ловиза” (Финландия) при избор на стратегия „незабавен демонтаж”, (от края на 2003 година) е 216,395 млн. евро. Предвижда се

извеждането от експлоатация на блоковете да се изпълни за 25 години–2028-2053.

- Оценката на общите разходи за извеждане от експлоатация на блокове 1 и 5 на АЕЦ „Норд” и 1 блок в АЕЦ „Рейнсберг” (Германия) при избор на стратегия „незабавен демонтаж”(от края на 1999 година) е 3 176 млн. евро.

Съгласно Актуализираната стратегия за ИЕ на блокове 1-4 на АЕЦ „Козлодуй” за „непрекъснат демонтаж” и като се вземат в предвид графици за ИЕ, може да се обобщи и приеме, че извеждането от експлоатация на блокове 1-4 ще бъде изпълнено в рамките на два периода:

- Първи период (2003-2020) – Включва: експлоатация в режим „Е”, подготовка за безопасно съхранение на РО на блокове 1-4, експлоатация на безопасно съхранение и демонтаж на системите и оборудването извън зоната на безопасно съхранение;
- Втори период (2021-2037) – Отложен демонтаж в зоната за безопасно съхранение и освобождаване на сградите за използване за други цели.

Точни граници по време не могат да се определят, защото има застъпване на етапите и фазите на ИЕ на отделните блокове, но приблизително така могат да се дефинират обхватите на двата периода.

Най-общо факторите за разпределяне на разходите при ИЕ, се систематизират в четири категории:

- Определяне на обхвата и границите на проекта за ИЕ;
- Стандартни групи разходи, необходими за изготвяне на оценката;
- Подходът за управлението на материалите и отпадъците генерирани от дейностите при ИЕ;
- Техническият подход при реализацията на планираната стратегия за ИЕ.

Основните групи дейности, определени за ИЕ на блокове 1-4 на АЕЦ „Козлодуй” са:

- Дейности по подготовка на извеждането от експлоатация – включително радиологично обследване и отстраняване на опасни и други отпадъци останали от експлоатацията на блоковете;
- Дейности при прекратяване на експлоатацията- Експлоатация в състояние “Е” и извеждане на ОЯГ от блоковете;
- Доставка на оборудване и материали;
- Демонтажни дейности, включително подготовка на Реакторно отделение за безопасно съхранение и експлоатация на безопасно съхранение;
- Преработка, съхранение и депониране на отпадъци;
- Управление и поддръжка на площадката;
- Управление на проекти и инженеринг;
- Управление на горивото и ядрените материали.

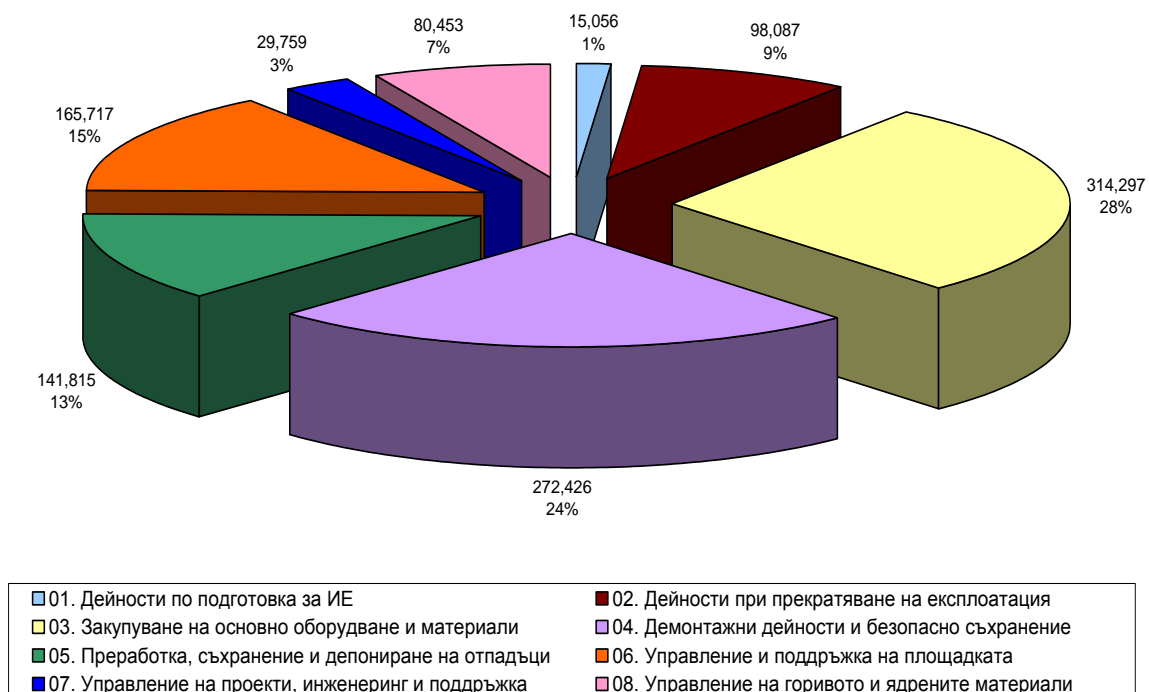
Стандартните групи разходи за извеждане от експлоатация са:

- Разходи за труд – заплати, осигуровки, допълнителни плащания, застраховки и т.н.;
- Инвестиционни разходи – за оборудване;
- Текущи разходи - за консумативи, лицензии, застраховки, резервни части, защитно облекло, наеми, консултантски услуги, такси, връзки с обществеността и т.н.;
- Непредвидени разходи – определят се като процент от общите разходи и отчитат неочаквани фактори, които биха могли да се появят при възникване на нови обстоятелства.

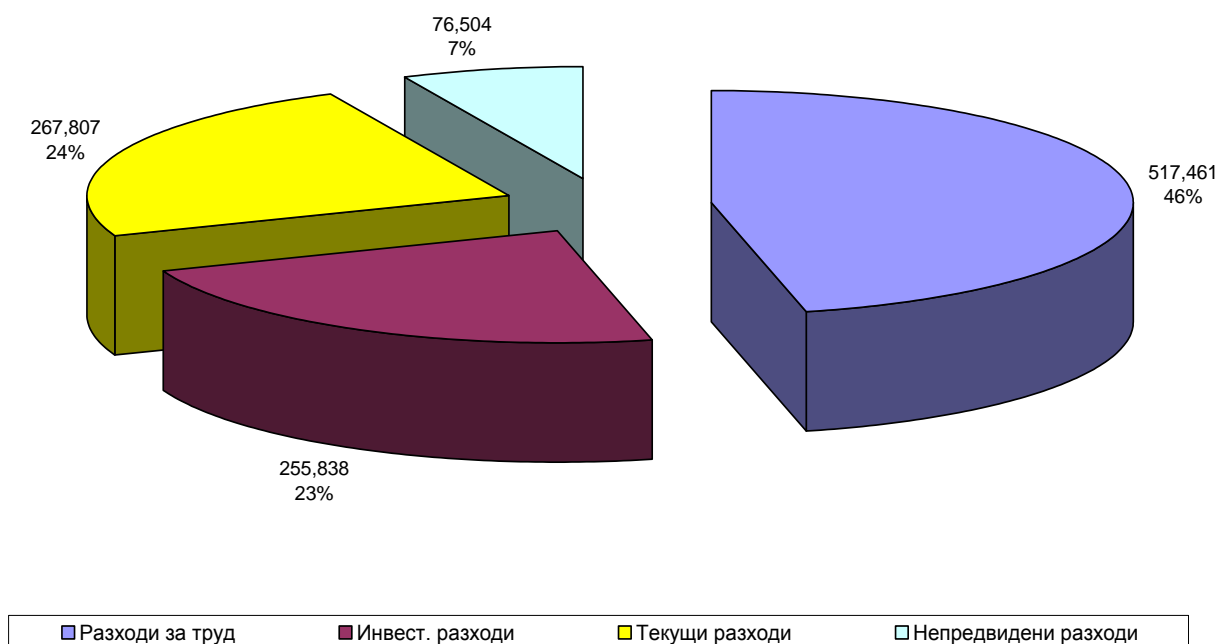
Общите разходи за ИЕ на блокове 1-4 на АЕЦ „Козлодуй” през периода 2003–2037 са оценени на 1 117,610 MEUR, съответно за периода 2003-2020 842,025 MEUR, в които са включени и реално направените през периода 2003–2009 разходи възлизащи на 276,067 MEUR и за периода 2021-2037 275,585 MEUR. В тази сума не се отчетени:

- Разходите за извеждане от експлоатация на съоръженията за преработка и междинно съхраняване на РАО;
- Разходите за извеждане от експлоатация на хранилищата за междинно съхраняване на ОЯГ;

Разделянето на разходите за ИЕ по двойки блокове е невъзможно по две основни причини. Първата е големият брой оборудване предвидено и закупено за ИЕ на четирите блока и инфраструктурните обекти предвидени и изградени общо и за четирите блока. Втората причина е, че не може да се направи строго разграничение на персонала зает с дейности по ИЕ само на 1 и 2 и само на 3 и 4 блокове, поради едновременното им извеждане от експлоатация.



Фигура 5 Разпределение на разходите по дейности при ИЕ на блокове 1-4 на АЕЦ „Козлодуй” за периода 2003-2037



Фигура 6 Разпределение на разходите при ИЕ по групи за периода 2003-2037г

Настоящата оценка е направена на база Актуализираната стратегия за извеждане от експлоатация на блокове 1-4 на АЕЦ „Козлодуй”, която разглежда дейностите в много общ вид. По-подробна и точна оценка може да се изготви при изготвянето на етапните планове. Оценката може да се използва за планиране на годишните разходи в краткосрочен период от време – 2010-2013г. Затова е задължително да се прави преглед на оценката на всеки три години. Всяка промяна в предварителният график и в сроковете за изпълнение на основните предпоставки за осигуряване изпълнението на Актуализираната стратегия ще доведе до промяна на разходите. Според проучване на OECD (OECD 2010, NEA №6831) основните рискови фактори за повишаване на разходите в процеса на ИЕ са - извънредно увеличаване на разходите за дезактивация и депониране на отпадъците от ИЕ, непредвидено високо увеличение на разходите за труд и материали, нови по-строги изисквания за безопасност на труд и опазване на околната среда и разходи за потенциални инциденти свързани с безопасността. Тъй като извеждането от експлоатация е продължителен процес във времето и горните рискови фактори трудно могат да се предвидят и контролират, е необходимо да се продължи с акумулирането на средства във фонд „Извеждане от експлоатация на ядрени съоръжения” (ИЕЯС), а не да се ограничава със сумата посочена в настоящата оценка за да може да се посрещне евентуалното увеличаване на разходите необходими за ИЕ.

Демонтаж

Предвижда се едрогабаритното оборудване от първи контур на блоковете да се демонтира като едно цяло и да се съхранява в специално изградено на площадката хранилище за “decay storage”. Корпусите на реакторите се предвижда също да бъдат демонтирани последни, като едно цяло (без рязане) по ред обратен на реда на монтажа им, като за извеждането им от шахтата и прехвърляне в транспортния коридор ще се използват намиращите се в реакторните отделения 250 тонни кранове. Ако е възможно вътрешно корпусните устройства ще се поставят обратно в корпуса и ще се транспортират до хранилището и съхраняват в един общ контейнер с корпуса.

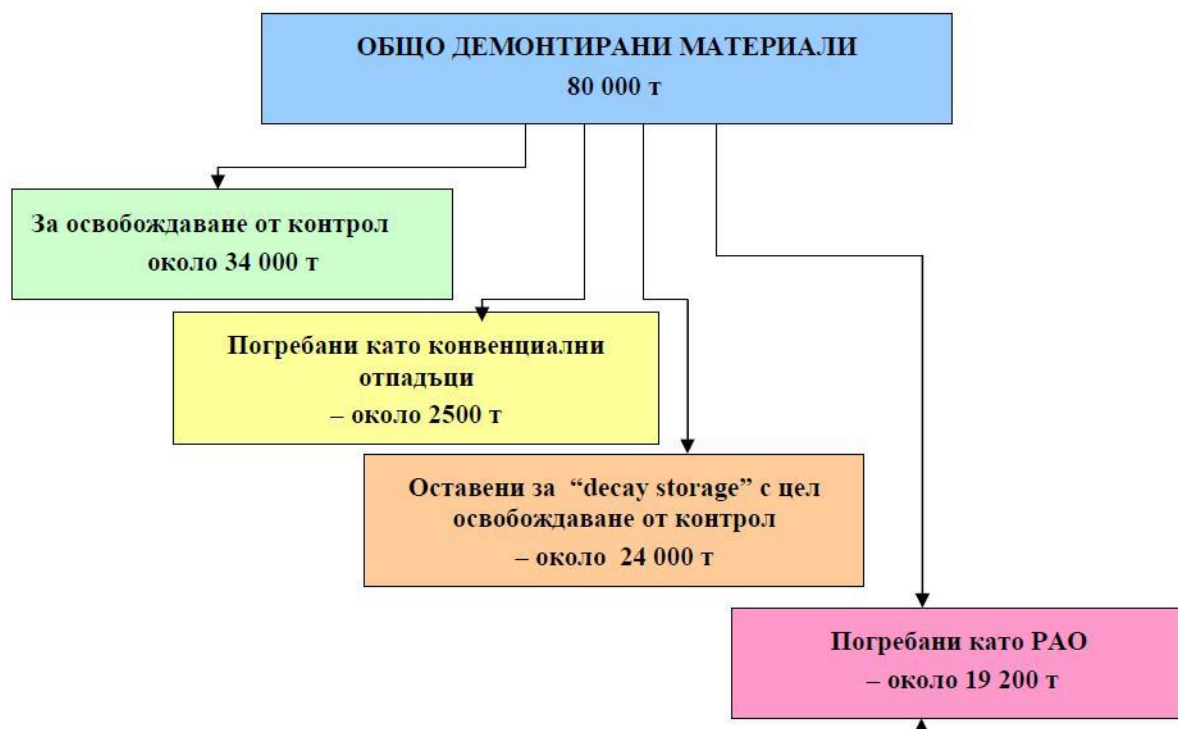
Предвижда се корпусите да се съхраняват в стоманени или стоманено бетонни контейнери специално изготвени за тази цел.

Управление на отпадъците

Количеството на отделните потоци отпадъци, които ще бъдат освободени от контрол, погребани като конвенционални отпадъци, оставени за “decay storage” и погребани като РАО са определени въз основа получения опит от извеждането от експлоатация на АЕЦ „Норд”.

Поради липсата на оценки на разходите за погребване на отпадъците, са използвани данни от характерни за Франция за различните категории отпадъци:

- 0,050 MEUR/t - за средно активни отпадъци от категория 2б, съгласно Категоризацията на РАО в Наредбата за безопасност при управлението на РАО (приета с постановление № 198 на МС от 03.08.2004)
- 0,00263 MEUR/m³ - за средноактивни отпадъци от категория 2а;
- 0,00126 MEUR/m³ - за ниско активни отпадъци от категория 2а;
- 0,00004 MEUR/t конвенционални отпадъци транспортирани до комунални депа



Фигура 7 Прогнозирано количество на отделните потоци отпадъци

Както бе споменато, в процеса по извеждане от експлоатация някои системи и съоръжения остават в работен режим. За тези системи и съоръжения е необходимо изготвянето на оценка на остатъчния им ресурс на експлоатация с оглед продължителния период на ИЕ. Оценката има за цел да даде адекватна информация за моментното състояние на тези системи и на практика да предостави данни за това дали системата ще може да изпълнява функциите си по време на процеса на ИЕ. След анализиране на данните от направената оценка се взимат нужните мерки които включват замяната на негодното оборудване или укрепване на конструкции и др.

Оценката е свързана най-вече с осигуряването на високо ниво на безопасност по време на ИЕ. От друга страна оценката е нужна за процеса на планиране на ИЕ, когато се вземат решенията за закупуването на необходимото оборудване и и решения за подготвителни действия. Своевременното отстраняване на проблеми по оборудването или конструкциите преди началото на ИЕ позволява да се избегне забавяне на по-късен етап поради проблеми с негодно оборудване или нарушаване на бзопасността. Както бе споменато по-горе ефективността на процеса се основава на баланса между финансовото измерение, безопасността и сроковете на изпълнение. Ето защо оценката на остатъчния ресурс е изключително важна за процеса на ИЕ.

ИЗВОДИ И ЗАКЛЮЧЕНИЯ

Извеждането от експлоатация е сравнително нов процес. Това определя действията по ИЕ като иновативни. Недостатъчният опит в областта не позволява да се определят точни, ясни и конкретни подходи, въпреки разграничаването на три основни метода за ИЕ. От написаното по-горе стана ясно, че използването на микс от трите метода е най-правилно. Това дава възможност за гъвкавост в процеса на ИЕ. Стратегията трябва да бъде избрана, като се отчитат редица фактори като специфика на проекта, икономическата обстановка, законите изисквания на страната, изключително строгите изисквания за безопасност, начина на финансиране др. Финансовия аспект и най-вече осигуряването на постоянен финансов поток са от изключителна важност. ИЕ е процес който изисква големи капиталовложения, що се отнася до поддръжка на системи, управление на отпадъците или до самия процес по демонтаж. Често финансирането е основен проблем за забавяне или дори спиране на процеса. Както бе споменато развитието на процеса е свързано с намаляване на времето необходимо за изпълнение на отделните етапи и намаляване на разходите, но по никакъв начин за сметка на безопасността.

При всяко ИЕ на енергийни реактори се прилагат нови методи и технологии за отлените процеси и етапи с цел да се намери най-добрия подход. Направата на добра оценка на остатъчния ресурс е от голямо значение за ИЕ. Целта на оценката е да представи моментното състояние на КСК, да представи възможността за по нататъшно използване на КСК и да предприше действия за подобряване работата на КСК, реконструкцията им или подмяната им с цел удължаване на експлоатационния ресурс. Ефективността на процеса се основава на баланса между финансовото измерение, безопасността и сроковете на изпълнение. Ето защо оценката на остатъчния ресурс е изключително важна за процеса на ИЕ.

ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

1. Технически проект за извеждане от експлоатация на блокове 1 и 2 на АЕЦ „Козлодуй“, PHARE Contract BG 9809-02-03.
2. Актуализирана стратегия за извеждане от експлоатация на блокове 1-4 на АЕЦ „Козлодуй“, 06.2006
3. План за извеждане от експлоатация на блокове 1&2 на АЕЦ „Козлодуй“, Март 2008
4. Методология за оценка на остатъчния ресурс на сгради и оборудване които ще останат в работа по време на извеждането от експлоатация на блокове 3 и 4 в АЕЦ Козлодуй
5. IAEA Guidance of Ageing Management for Nuclear Power Plants. Guidance on effective management of the physical ageing of systems, structures and components important to safety for nuclear power plants. Version 1 2002.
6. Revised Analyses of Decommissioning for the Reference Pressurized Water Reactor Power Station. U.S. Nuclear Regulatory Commission
7. Decommissioning Strategies: Status, Trends and Issues. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 2004
8. Planning, managing and organizing the decommissioning of nuclear facilities: Lessons learned. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 2004
9. Decommissioning of Nuclear Power Plants and Research Reactors: Safety Guide, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY
10. The decommissioning of WWER type nuclear power plants. Final report of an IAEA Regional Technical Co-operation Project. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY
11. Organization and Management for Decommissioning of Large Nuclear Facilities. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY
12. Policies and Strategies for the Decommissioning of Nuclear and Radiological Facilities. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY
13. Status of the Decommissioning of Nuclear Facilities around the World. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY
14. Selection of decommissioning strategies: Issues and factors. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY
15. Decommissioning. Nuclear Power Plants. Policies Strategies and Costs. OECD 2003