

**РЪКОВОДСТВА
ЗА БЕЗОПАСНОСТ**
ПО ПРИЛАГАНЕ НА
НОРМАТИВНИТЕ ИЗИСКВАНИЯ

РЪКОВОДСТВО

**ЗА ПРИЛАГАНЕ НА ИЗИСКВАНИЯТА ЗА БЕЗОПАСНОСТ ПРИ
ПРОЕКТИРАНЕ НА АКТИВНАТА ЗОНА НА РЕАКТОРИ С ВОДА
ПОД НАЛЯГАНЕ**

РР-29/2026



**АГЕНЦИЯ ЗА ЯДРЕНО РЕГУЛИРАНЕ
BULGARIAN NUCLEAR REGULATORY AGENCY**



СЪДЪРЖАНИЕ

1	ОБЩИ ПОЛОЖЕНИЯ	3
	ЦЕЛ	3
	ОБХВАТ	3
	ЗАКОНОВИ ОСНОВАНИЯ ЗА РАЗРАБОТВАНЕ	3
2	ОБЩИ ИЗИСКВАНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРАНЕ И ИЗВЪРШВАНЕ НА ПРОМЕНИ В АКТИВНАТА ЗОНА НА РЕАКТОРА.....	4
	ОБЩИ ИЗИСКВАНИЯ КЪМ ПРОЕКТИРАНЕТО НА КОНСТРУКЦИИТЕ, СИСТЕМИТЕ И КОМПОНЕНТИТЕ НА АКТИВНАТА ЗОНА	7
	АНАЛИЗИ НА ПРОЕКТА НА АКТИВНАТА ЗОНА	8
3	СПЕЦИФИЧНИ ИЗИСКВАНИЯ КЪМ ПРОЕКТИРАНЕТО НА АКТИВНАТА ЗОНА И СЪОТВЕТНИТЕ КРИТЕРИИ И ПРЕДЕЛИ	9
	НЕУТРОННОФИЗИЧНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА АКТИВНАТА ЗОНА НА РЕАКТОРА	10
	ТЕРМОХИДРАВЛИЧНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА АКТИВНАТА ЗОНА	13
	ТЕРМОМЕХАНИЧНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА АКТИВНАТА ЗОНА	15
	МЕХАНИЧНИ СВОЙСТВА НА АКТИВНАТА ЗОНА	22
	СИСТЕМИ ЗА АВАРИЙНО СПИРАНЕ НА РЕАКТОРА, УПРАВЛЕНИЕ И МОНИТОРИНГ НА АКТИВНАТА ЗОНА	24
	УПРАВЛЕНИЕ НА АКТИВНАТА ЗОНА И ГОРИВОТО	30
	ПРЕСМЯТАНИЯ НА ПОДКРИТИЧНОСТТА ПРИ СЪХРАНЕНИЕ НА ГОРИВОТО	34
4	ВЕРИФИКАЦИЯ И ИЗПИТВАНЕ.....	36
	ВЕРИФИКАЦИЯ НА ПРОЕКТА	36
	ИНСПЕКЦИИ	37
	ИЗПИТВАНЕ НА ПРОТОТИПИ И ПИЛОТНИ ГОРИВНИ КАСЕТИ (LTA)	38
5	ИЗИСКВАНИЯ ЗА СМЕСЕНАТА АКТИВНА ЗОНА	40
	ОБЩИ ПОЛОЖЕНИЯ	40
	АНАЛИЗИ НА ПРОЕКТНИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА СМЕСЕНАТА АКТИВНА ЗОНА	41
	НЕУТРОННОФИЗИЧНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА СМЕСЕНАТА АКТИВНА ЗОНА	43
	ТЕРМОХИДРАВЛИЧНИ СВОЙСТВА НА СМЕСЕНАТА АКТИВНА ЗОНА	44
	СИСТЕМИ ЗА АВАРИЙНО СПИРАНЕ НА ЯДРЕНИЯ РЕАКТОР И СИСТЕМИ ЗА УПРАВЛЕНИЕ И МОНИТОРИНГ НА АКТИВНАТА ЗОНА.....	44
6	ПРЕПРАТКИ, ИЗПОЛЗВАНИ ДОКУМЕНТИ.....	46
7	ОПРЕДЕЛЕНИЯ.....	47
8	ИЗПОЛЗВАНИ СЪКРАЩЕНИЯ.....	48
	ПРИЛОЖЕНИЕ 1.....	49
	ПРИЛОЖЕНИЕ 2.....	51



1 ОБЩИ ПОЛОЖЕНИЯ

ЦЕЛ

1.1 Целта на настоящото Ръководство е да даде указания по прилагане на нормативните изисквания при подготовката на придружаващите документи, които се представят като част от заявлението за разрешение за извършване на промени в конструкции, системи и компоненти (КСК), важни за безопасността, включително и проектиране на горивни зареждания и извършване на изменения в тях. Ръководството дава насоки за прилагане на изискванията съдържащи се в Наредбата за осигуряване на безопасността на ядрени централи (НОБЯЦ), като отчита и препоръките на Международната агенция за атомна енергия (МААЕ).

1.2 Ръководството е предназначено основно за прилагане на изискванията за безопасност по отношение на проектиране и/или извършване на изменения на активната зона на реактори с вода под налягане. В допълнение, предоставя насоки за изпълнение на изискванията при зареждане на пилотни горивни касети (англ. – LTA, Lead Test Assemblies) в активната зона на реактора.

ОБХВАТ

1.3 Ръководството за безопасност се отнася за ядрени централи с реактори с вода под налягане.

1.4 Ръководството включва изисквания за потвърждаване на пределите за безопасност на активната зона въз основа на извършваните анализи на безопасността.

1.5 Настоящото ръководство дава насоки при проектиране и извършване на промени в активната зона по отношение на следните части:

- неутроннофизични пресмятания;
- термохидравлични пресмятания;
- термомеханични пресмятания;
- якостни пресмятания;
- аспекти, свързани със смесени активни зони.

1.6 Настоящото ръководство е предназначено основно за горивни касети, чиито горивни елементи са с обвивки на основата на циркониеви сплави и с таблетки от уранов диоксид, с обогатяване под 5 wt % по изотопа U-235, включително неопределеностите.

1.7 Настоящото Ръководство отчита изискванията, съдържащи се в документите на МААЕ: “Design of the Reactor Core for Nuclear Power Plants” (SSG-52) и “Operation and Licensing of Mixed Cores in Water Cooled Reactors” TECDOC № 1720, както и WENRA Safety Reference Levels for Existing Reactors 2020, WENRA RHWG, 17th February 2021

1.8 Извън обхвата на настоящото ръководство е извършването на анализи, свързани със стопяване на горивото в активната зона или в басейна за отлежаване на касетите.

ЗАКОНОВИ ОСНОВАНИЯ ЗА РАЗРАБОТВАНЕ

1.9 Настоящото ръководство се издава на основание на изискването на §5 от преходни и заключителни разпоредби на НОБЯЦ.

1.10 Основните изисквания към конструкцията и характеристиките на активната зона са определени в Глава 6, Раздел II „Конструкция и характеристики на активната зона“ на Наредбата за осигуряване безопасността на ядрените централи.



1.11 Настоящото Ръководство следва да се разглежда заедно с Ръководство „Детерминистичен анализ на безопасността на ядрени централи с реактори с вода под налягане“ (РР-5/2022) и Ръководство „Безопасна експлоатация на АЕЦ“ (РР-10/2011).

1.12 Ръководството няма задължителен характер. Следването на препоръките ще доведе до подобряване на взаимодействието между регулиращия орган и експлоатиращата организация.

2 ОБЩИ ИЗИСКВАНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРАНЕ И ИЗВЪРШВАНЕ НА ПРОМЕНИ В АКТИВНАТА ЗОНА НА РЕАКТОРА

2.1 Проектирането и извършването на промени на активната зона следва да се извършва с отчитане на приложимия експлоатационен опит и направените експериментални измервания на горивни касети или конструктивни елементи на активната зона с аналогичен проект и свойства, като това е критично по отношение на приложимостта на резултатите. Необходимо е да бъде отчитано и влиянието на различията в условията, при които са добити данните и при които се експлоатира даденото съоръжение.

2.2 Проектът на активната зона следва да определи основните параметри и проектните предели, както и да даде оценка на съществуващите запаси. В случай че конкретен параметър не е определен в проекта, запасите следва да бъдат определени така, че да бъде осигурено изпълнението на останалите предели при всички експлоатационни състояния.

2.3 Проектът на активната зона и нейните компоненти следва да осигури, че :

- не се достига до нарушение на нито един проектен предел за горивото;
- не се достига до нарушаване на определените проектни предели на ядрената инсталация.

2.4 В случаите на въвеждане в експлоатация на нов тип гориво следва да бъде осигурена неговата съвместимост с текущото гориво по отношение на:

- термохидравлични характеристики;
- механични свойства;
- термомеханични свойства;
- неутроннофизични характеристики.

2.5 Проектът на активната зона следва да:

- осигурява изпълнението на съответните функции по безопасност при всички състояния на ядрената инсталация;
- гарантира спазване на всички проектни предели;
- осигурява изпълнение на критериите за приемливост.

2.6 Системите за управление и защита, както и за мониторинг на активната зона следва да бъдат проектирани и конфигурирани така, че да не се допуска превишаване на проектните предели на горивното зареждане във всички експлоатационни състояния. Проектните запаси следва да бъдат обосновани, документирани и поддържани в определените граници. По отношение на основните параметри по безопасност е препоръчително поддържане на 15 % запас, освен ако не бъде обоснована друга стойност.

2.7 Смесено зареждане на активна зона е зареждане, при което се експлоатират едновременно два или повече типа ядрено гориво.



2.8 При експлоатация на активна зона със смесени зареждания могат да възникнат изменения, оказващи влияние върху направените допускания в анализите по безопасност. Подобни изменения могат да засягат:

- неутроннофизичните характеристики, като: материален състав; геометрични характеристики на горивните елементи; изгарящ погълтател;
- термохидравлични характеристики, като: изменение на общите и локалните хидравлични загуби;
- механични характеристики, като: изменения в статичните и динамичните характеристики на горивната конструкция (деформации, вибрации, натоварвания при събития свързани със загуба на топлоносител и/или земетресение);
- термомеханични характеристики, като: разлика в стойностите на енталпията на горивните таблетки; начално количество дялящ се материал; материал на обвивката на горивните елементи (ТОЕ).

2.9 В случай, че не са налични приложим експлоатационен опит и/или резултати от експериментални измервания за конкретното смесено горивно зареждане е необходимо да бъде изготвена специална програма за зареждане в активната зона на ограничено количество пилотни горивни касети (LTA). Програмата следва да:

- определи изисквания за измерване на предварително определените параметри;
- съдържа времево ограничение за продължителността на предвидените дейности (препоръчителен минимум – три години);
- определи броя на пилотните касети, които ще бъдат заредени (броят на пилотните горивни касети следва да бъде ограничен до 12 горивни касети). Броят касети следва да бъде подходящо обосноваван, подкрепен с анализи и да е в съответствие с целите на конкретната програма.

2.10 Изисквания по отношение на изпитването на прототипи и пилотни горивни касети се съдържат в раздел 5 на настоящото ръководство.

2.11 При експлоатацията на горивните касети следва да бъде осигурено ефективно използване на ядрения материал (минимизиране на паразитните утечки и поглъщания на неутрони), както и минимизиране на радиационното облъчване на корпуса на реактора.

Концепция на защитата в дълбочина

2.12 Проектът на активната зона следва да бъде устойчив (да отчита всички събития, които могат да възникнат по време на експлоатацията на ядрената централа), надежден и в съответствие с определените проектни запаси.

2.13 Проектът на активната зона следва да гарантира изпълнението на трите фундаментални функции по безопасност във всички състояния, а именно:

- осигуряване на безопасно спиране на ядрения реактор и поддържането му в подкритично състояние в дългосрочен план (включително предотвратяване на повторна критичност), както и осигуряване на достатъчна подкритичност в приреакторния басейн за отлежаване на касетите и в съоръженията за манипулиране и съхранение на ядрено гориво;
- отвеждане на топлината от активната зона, приреакторния басейн за отлежаване на касетите и в съоръженията за манипулиране и съхранение на ядрено гориво в дългосрочен план;



РЪКОВОДСТВО
за прилагане на изискванията за безопасност при проектиране
на активната зона на реактори с вода под налягане

- предотвратяване и/или ограничаване на освобождаването на радиоактивни вещества до възможно най-ниско ниво.

2.14 Проектът на активната зона следва да осигурява предотвратяване на:

- повреди на целостта на физическите бариери;
- отказ на бариери в случай на увреждане;
- отказ на дадена бариера вследствие на отказ на друга бариера.

2.15 В проекта следва да бъдат разгледани следните физически бариери:

- горивни таблетки;
- обвивка на ТОЕ;
- първи контур;
- херметична защитна обвивка.

2.16 Горивните таблетки и обвивката на ТОЕ представляват първите две бариери, които следва да предотвратяват освобождаването на радиоактивни вещества в топлоносителя при експлоатационни състояния. При аварията без стопяване на ядрено гориво проектът следва да осигурява необходимата подкритичност, както и възможност за дългосрочно охлаждане на активната зона.

2.17 Конструкциите, системите и компонентите на активната зона следва да бъдат квалифицирани и класифицирани в класове по безопасност, съобразно тяхната функция и значение, в съответствие с изискванията на (НОБЯЦ).

2.18 Горивните касети, както и техните компоненти, оказват съществено влияние за реализиране на фундаменталните функции по безопасност предвид следното:

- херметичността и структурната цялост на ТОЕ осигуряват първата и втората бариера в съответствие с концепцията за защита в дълбочина при всички експлоатационни състояния, предотвратявайки освобождаването на радиоактивни вещества в контура на топлоносителя;
- запазването на геометричните размери на горивните касети (ТОК) и ТОЕ осигурява аварийното спиране на реактора и поддържане на необходимото охлаждане на активната зона в аварийни условия. С това се осигурява запазване на целостта на физическите бариери, като се ограничава скоростта на тяхната деградация (разхерметизиране/повреда). Запазването на геометричните размери на ТОК е свързана с осигуряване на възможността за извършване на технологичните операции с ТОК в случаите на ликвидиране на аварии.

2.19 Системата за аварийна защита на реактора следва да бъде класифицирана в подходящ клас по безопасност с отчитане на това, че отказът ѝ да изпълни своята функция може да доведе до нарушаване на целостта на ТОЕ и геометричните размери на ТОК.

2.20 Класификацията на системата за управление и защита на активната зона следва да бъде подробно описана и обоснована в съответствие с изискванията на НОБЯЦ.

Инженерни практики за осигуряване на безопасността

2.21 В проекта на активната зона на реактора следва да бъде демонстрирано необходимото ниво на безопасност за всички експлоатационни състояния. Това следва да бъде направено въз основа на документиран експлоатационен опит, експериментални измервания и пресмятания или чрез комбинация от тях. Анализите и пресмятанията следва да се извършват с използване на верифицирани и валидирани компютърни кодове и модели.



2.22 Проектът на активната зона, както и извършването на промени в проекта следва да бъдат оценявани чрез анализи на безопасността, като се отчитат новите знания, получени както от експлоатационния опит, така и от проведени научни изследвания.

2.23 Проектът на активната зона следва да отчита условията за управление и съхранение на ядреното гориво, определени от производителя на горивните касети и конструкциите, системите и компонентите на активната зона, които се експлоатират съвместно в реактора. В проекта следва да бъдат включени и изисквания за съхранение и манипулиране на всички типове горивни касети и компоненти, които ще се съхраняват заедно.

ОБЩИ ИЗИСКВАНИЯ КЪМ ПРОЕКТИРАНЕТО НА КОНСТРУКЦИИТЕ, СИСТЕМИТЕ И КОМПОНЕНТИТЕ НА АКТИВНАТА ЗОНА

Външни въздействия

2.24 Проектът на КСК на активната зона следва да включва сеизмична квалификация в съответствие с изискванията на НОБЯЦ.

2.25 Проектът на КСК на активната зона следва да определя съответните проектни ограничения (предели) за всички експлоатационни състояния на ядрената централа. Тези предели следва да бъдат определени така, че да осигуряват изпълнението на съответните функции по безопасност.

2.26 Проектните предели следва да бъдат определени така, че да осигуряват изпълнението на изискванията на концепцията за защита в дълбочина, описана по-горе в текста на ръководството.

Инженерни правила за проектиране

2.27 Инженерните правила за проектиране включват прилагането на методи и процедури с които се постига подходящо доказан и повторяем резултат, който е в съответствие с изискванията за безопасност. Подобни инженерни правила включват:

- прилагане на подходящи стандарти за проектиране;
- използване на верифицирани и валидирани компютърни кодове и модели;
- прилагане на консервативен подход или реалистични допускания с отчитане на неопределеностите при оценката на безопасността;
- специфични анализи за потвърждаване на проектната надеждност;
- проверки и изпитвания;
- определяне на съответствието с пределите и условията за безопасна експлоатация;
- отчитане на експлоатационния опит.

Надеждност на проекта

2.28 КСК на активната зона следва да бъдат проектирани с отчитане на тяхното влияние върху безопасността и така, че да удовлетворяват изискванията за надеждност. Пресмятанията, производството и всички свързани с това дейности следва да бъдат управлявани така, че да се постигне високо ниво на качество и надеждност на системата/централата като цяло. Нивото на надеждност следва да бъде надлежно демонстрирано (експериментално или чрез експлоатационен опит).

2.29 Специфичните изисквания за надеждност на проекта се съдържат в раздел 4 на ръководството.



Пределите и условия за безопасна експлоатация

2.30 Пределите и условията за безопасна експлоатация следва да включват както условия за безопасна експлоатация на всички КСК на активната зона в реактора, така и условията за тяхното безопасно съхранение в басейна за отлежаване на касетите (БОК) при всички експлоатационни състояния.

2.31 Пределите и условията за безопасна експлоатация следва да бъдат определени така, че да удовлетворяват съответните проектни критерии за всички КСК на активната зона за всички състояния съгласно изискванията на НОБЯЦ.

Изисквания към проектирането на КСК

2.32 Проектът на КСК на активната зона следва да осигурява възможност за извършване на изпитвания, инспекции, ремонти, манипулиране, калибриране или поддръжка на ТОЕ, ТОК и компонентите на активната зона.

2.33 Проектът на КСК на активната зона следва да гарантира, че основните компоненти на активната зона, ТОЕ и ТОК могат да бъдат манипулирани при транспорт, съхранение, монтаж и зареждане без да бъдат повредени.

2.34 Всяко изменение в проекта на активната зона на реактора и свързаните с нея системи следва да бъде оценено. Примери за подобни изменения са:

- изменение в конструкцията на ТОК или ТОЕ или промяна на вида гориво;
- промяна в установените предели по дълбочина на изгаряне на горивото;
- съществена промяна на проектната продължителност на горивната кампания (преминаване от 12- към 18-месечна кампания и др.);
- увеличаване на топлинната мощност на реактора.

2.35 Проектът на КСК на активната зона следва да предотврати повреди по ТОЕ, ТОК и компонентите на активната зона при експлоатация в ненормални условия (например извършване на физични изпитвания, експлоатация в условия на отклонения във водохимичния режим).

2.36 Проектът на КСК на активната зона следва да осигури надеждно преместване на работните органи на системата за аварийна защита, както и тяхното свободно падане до крайно долно положение в активната зона в съответствие с установените времеви ограничения. Запазването на геометричните характеристики на ТОК е от съществено значение за работата на системата за управление и защита на реактора, като всяко едно отклонение от тези характеристики може да бъде предпоставка за нарушения в работата на системата и да доведе до неизпълнение на функция на безопасност.

АНАЛИЗИ НА ПРОЕКТА НА АКТИВНАТА ЗОНА

2.37 Анализите следва да се извършват за всички състояния на ядрената централа, като се прилага консервативен подход, освен в специфични случаи, когато е обоснован различен подход.

2.38 При извършване на анализи следва да се отчитат всички събития, които могат да възникнат по време на експлоатация на ядрената централа и следните основни фактори:

- очакваният диапазон на експлоатационните състояния;
- коефициентът на реактивност по температура на горивото (Доплеров коефициент);
- коефициентът на реактивност по температура на топлоносителя, включващ изменението на неговата плътност;



- сумарният температурен коефициент на реактивност на горивото и топлоносителя;
- паровият коефициент на реактивност;
- скоростта на промяна на концентрацията на разтворимия поглъtitел и големината на съответния реактивен ефект;
- скоростта на въвеждане и големината на въведената положителна реактивност поради движение на органите за регулиране или промени в технологичните параметри;
- скоростта на въвеждане и големината на въведената отрицателна реактивност при аварийно спиране на реактора (скорост на компенсиране на положителни реактивностни ефекти);
- експлоатационните характеристики на системите за безопасност, включително преминаването от един режим на работа към друг (от режим подаване на топлоносител към режим на аварийно охлаждане);
- промяната на съдържанието на неутронни поглъtitели в горивния материал при анализи на дългосрочното поведение на активната зона.

2.39 Анализите следва да демонстрират за всички събития и състояния на ядрената централа, че проектните предели на горивото не се превишават.

2.40 Специфичните ефекти от поведението на горивото, като обемно разширение, разгерметизиране на обвивката на ТОЕ, както и усукване и изкривяване на ТОЕ и горивните касети, следва да бъдат отчетени в анализите.

2.41 Оценката на характеристиките на активната зона следва ясно да определя кои анализи или параметри са обхващащи и кои анализи следва да се повтарят за всяко конкретно зареждане на активната зона. Оценката на характеристиките следва да включва всички аспекти при проектирането на активната зона като неутроннофизични, термохидравлични, термомеханични и механични. Анализите следва да бъдат надлежно документирани, независимо проверени от квалифициран персонал, в съответствие с изискванията на НОБЯЦ.

2.42 Компютърните кодове, използвани за анализ в областите на проектиране на активната зона (неутронно-физична, термохидравлична, термомеханична и механична), следва да се основават на съвместима методологична база. Анализът на чувствителността следва да се извършва по същата методология, която е използвана за актуалния проект на активната зона/ядрената централа.

3 СПЕЦИФИЧНИ ИЗИСКВАНИЯ КЪМ ПРОЕКТИРАНЕТО НА АКТИВНАТА ЗОНА И СЪОТВЕТНИТЕ КРИТЕРИИ И ПРЕДЕЛИ

3.1 Проектът на активната зона на реактора следва да осигурява, че нито един проектен предел за ТОЕ и ТОК — както свежи, така и касети, експлоатирани в състава на активната зона — не се превишава, както и че не се нарушава ядрената безопасност (запасите следва да бъдат достатъчни, за да не се нарушава безопасната работа на реактора). Проектът на активната зона следва да бъде съвместим с досега експлоатираните горивни касети и горивни елементи от неутроннофизична, термохидравлична, механична и термомеханична гледна точка.

3.2 Специфичните проектни предели следва да се определят, с отчитане на адекватни запаси, по отношение на параметрите, за които се извършва оценка, като:



- максималната локална и средно линейната мощност на ТОЕ или общата мощност на ТОК;
- минималният запас до криза на топлообмена;
- максималната температура и енталпия на горивните таблетки;
- максималната температура на обвивката на ТОЕ.

Проектните анализи следва адекватно да отчитат неопределеностите в стойностите на параметрите (мощност на реактора, разход на топлоносителя през активната зона, разход през байпасите, температура и налягане на вход на активната зона, нуклиден състав, неопределености в корелациите за определяне на запаса до кризата на топлообмена и инженерните коефициенти на неопределеност в горещия канал), неутроннофизичните характеристики на активната зона и методите за пресмятането им, използвани при оценката на термохидравличните проектни предели.

3.3 Проектните предели следва да бъдат установени чрез всеобхватно и консервативно отчитане на всички химични, физични, хидравлични и механични фактори влияещи на деградацията на обвивката на ТОЕ, както и допустимите отклонения на размерите на горивните елементи. Ако даден механизъм на деградация и съответният предел зависят от изгарянето на горивото, експерименталният анализ следва да включва ефекта от облъчването върху свойствата на обвивката на горивните елементи и на самия ТОЕ, така че резултатите да бъдат представителни.

НЕУТРОННОФИЗИЧНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА АКТИВНАТА ЗОНА НА РЕАКТОРА

Проектни изисквания

3.4 Проектът на активната зона на реактора следва да бъде такъв, че обратната връзка по реактивност, определена по параметрите, влияещи на реактивността да е отрицателна (т.е. крайният ефект на реактивността да компенсира бързото нарастване на мощността на реактора) във всички критични състояния и при всички експлоатационни състояния и при отчетените в проекта аварии. Мощността на реактора следва да се управлява чрез комбинация от вътрешно присъщи свойства (неутроннофизични и термохидравлични характеристики) и въздействието на системата за защита и управление на активната зона, така че да се осигури адекватна реакция при всички експлоатационни състояния на ядрената централа.

3.5 Неутроннофизичните параметри, като реактивност, коефициенти на реактивност, ефективност на органите за регулиране и разпределение на мощността, следва да бъдат анализирани за всички използвани типове ТОК. Демонстрацията на съответствие за всички типове ТОК може да бъде извършена с използване на пресмятания за отделна ТОК в безкрайна двумерна решетка.

Проектни критерии и предели

3.6 Проектът на активната зона следва да определи набора от ключови параметри по безопасност, характеризиращи неутроннофизичните свойства на активната зона. Наборът от ключови параметри следва да бъде определен в съответствие с допусканията, използвани при анализите за безопасност с които се демонстрира съответствието със специфичните проектни критерии, описани в точки 3.47 – 3.56. Наборът от ключови параметри следва да бъде определен така, че да може да се прилага при проектиране на всички предвидени горивни зареждания. Основни ключови параметри могат да са:



РЪКОВОДСТВО
за прилагане на изискванията за безопасност при проектиране
на активната зона на реактори с вода под налягане

- коефициенти на реактивност по температура на горивото и по температура на топлоносителя;
- коефициент на реактивност по плътност на топлоносителя;
- коефициент на реактивност по концентрация на борна киселина и критична концентрация на борна киселина;
- ефективност на аварийната защита без отчитане на действието на максимално ефективния орган за регулиране от системата за управление и защита (ОР СУЗ);
- интегрална ефективност на органите за регулиране;
- диференциална ефективност на органите за регулиране (въвеждане на отрицателна реактивност);
- радиален и аксиален коефициент на неравномерност на енергоотделянето, с отчитане на приноса на ксеноновите колебания, когато е приложимо;
- максимална линейна мощност;
- паров коефициент на реактивност.

3.7 За всяка съществена промяна, която може да повлияе на проекта на активната зона, валидността на основните ключови параметри следва да бъде проверена. При изменение на стойността на който и да е параметър, следва да се извърши оценка на влиянието на това изменение. В случай на съществено отклонение от първоначално зададените стойности, следва да бъдат установени, оценени и проверени новите стойности на ключовите параметри. Съществени промени могат да бъдат:

- изменения в ядреното съоръжение, КСК или режима на експлоатация;
- съществени изменения в управлението на горивните кампании (значително удължаване или скъсяване на кампанията);
- въвеждането в експлоатация на нов тип ядрено гориво;
- увеличаване на максималната дълбочина на изгаряне на горивото.

3.8 Проектът на активната зона следва да включва пресмятания на стационарните и нестационарните разпределения на енергоотделянето и топлинната мощност, неутроннофизичните характеристики и ефективността на средствата за управление на реактивността за всички състояния на ядрено съоръжение, освен ако за определени състояния е доказано, че такива ефекти не възникват или се обосновават по друг начин. Пресмятанията следва да се извършват за всички предвидени експлоатационни състояния на ядрено съоръжение. Получените разпределения на мощността могат да се прилагат в анализи на аварии без стопяване на ядрено гориво. Тези разпределения следва да бъдат използвани в анализите за термомеханичното поведение на ТОЕ и за определяне на запаса за недопускане на криза на топлообмена.

3.9 Ключови параметри като коефициентите на реактивност следва да се пресмятат за избрани експлоатационни състояния (например: нулева мощност, номинална мощност, начало на кампания, край на кампания) и за съответната стратегия за управление на горивото. Тяхната зависимост от горивното зареждане и дълбочината на изгаряне следва да се анализира. Във всички разглеждани състояния на ядреното съоръжение следва да се прилагат адекватни консервативни подходи при използването на коефициентите на реактивност.

3.10 Скоростта на въвеждане на реактивност и големината на въведената реактивност от отделните средства за управление (системата за управление и защита на реактора и/или



разтворимия поглътител) следва да бъдат ограничени или да бъдат предвидени подходящи защити и ограничения, за да се гарантира, че крайната промяна на мощността не превишава специфичните предели за основните инициращи събития, свързани с въвеждане на реактивност, като например:

- изхвърляне на най-ефективния орган за регулиране;
- падане на орган за регулиране;
- неконтролирано навлизане на чист кондензат;
- неконтролирано изваждане на една група органи за регулиране.

Ограничението върху скоростта на въвеждане на реактивност и големината на въведената реактивност следва да се определи въз основа на анализи, демонстриращи съответствие с проектните критерии за горивото, описани в точки 3.48 – 3.56. Анализите следва да бъдат извършени за всички използвани типове горивни касети в активната зона или за обхващащото горивно зареждане за всички разглеждани експлоатационни състояния на ядрено съоръжение, за съответните дълбочини на изгаряне и при използване на адекватни консервативни условия и допускания.

3.11 Проектът на активната зона на реактора следва да позволява мониторинг и управление на общата и локалната мощност чрез средствата за контрол и управление на реактивността, така че да се гарантира, че границите на локалната линейна мощност и мощност на горивните елементи не се превишават никъде в активната зона и в нито един горивен елемент. Системите за управление и мониторинг на активната зона следва да бъдат проектирани така, че да могат да отчитат измененията в разпределението на мощността, причинени от локални промени в реактивността, вследствие на смесено зареждане на активната зона, възникване на аномалии в аксиалния офсет, изкривяване или деформация на горивни елементи и др. Изчислителните модели и техните неопределености, използвани при проектирането на системите за управление и мониторинг на активната зона, следва да отчитат и променливостта на метрологичните характеристики на детекторите за неутронен поток (например поради тяхното разположение, намалена работоспособност, екраниране, стареене и др.).

3.12 Максималната допустима дълбочина на въвеждане на работните органи за регулиране следва да гарантира достатъчна ефективност на аварийната защита, т.е. възможност за сигурно спиране на реактора във всички състояния. Определянето и мониторингът на пределите за въвеждане на работните органи (например в зависимост от нивото на мощност или дълбочината на изгаряне) следва да гарантират адекватна ефективност на аварийната защита през цялата експлоатация.

3.13 При пресмятане на ефективността на аварийната защита следва да се отчитат ефектите върху реактивността на активната зона вследствие на експлоатацията във всички състояния. Подобни ефекти възникващи по време на горивната кампания, могат да бъдат:

- намаляване на концентрацията на изгарящ поглътител;
- намаляване на ефективността на поглъщане на неутрони от разтвори в топлоносителя поглътител;
- влияние на пространственото разпределение на мощността и др.



ТЕРМОХИДРАВЛИЧНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА АКТИВНАТА ЗОНА

Общи изисквания

3.14 Основната цел на термохидравличния проект на активната зона е да се обезпечи пренос на топлината от активната зона, така че да се гарантира нейното отвеждане от активната зона във всички състояния на ядрената централа.

Проектни изисквания

3.15 Термохидравличният проект на активната зона следва да включва технологични запаси и мерки, които да осигуряват, че:

- специфичните термохидравлични проектни предели не се превишават във всички експлоатационни състояния;
- делът на горивни елементи с откази/деградация (определен при настъпването на криза на топлообмена) при аварии без стопяване на активната зона да не превишава съответните критерии за приемливост.

3.16 Статистическите методи, прилагани в термохидравличните пресмятания, следва да включват и ефектите от изкривяването на горивните елементи и горивни касети.

Проектни критерии и предели

3.17 Анализите следва да отчитат проектните предели за минимален и максимален разход на топлоносител през активната зона, като те не следва да бъдат нарушавани. В случай на необходимост следва да се извърши подробен анализ, който да демонстрира, че проектните предели не се превишават.

3.18 Анализите следва да отчитат и пределите за хидродинамична стабилност на потока през горивните касети и компонентите на активната зона. В случай на необходимост следва да се извърши подробен анализ, който да демонстрира, че тези предели не се превишават.

3.19 Термохидравличният анализ следва да отчита специфичните проектни характеристики на горивните касети, както и отклоненията при тяхното производство и експлоатация, като:

- стъпката на ТОЕ;
- мощността на ТОЕ;
- формата и размера на подканалите;
- дистанциониращи и смесващи решетки, включително и допустимите им експлоатационни деформации.

3.20 Термохидравличният проект следва да отчита пространственото разпределение на температурата на вход и изход на топлоносителя, както и разпределението на потока през активната зона. Това следва да бъде отчетено в проекта на системите за аварийно спиране на реактора и системите за управление и мониторинг на активната зона.

Анализите следва да включват оценка на въздействието от температурното поле на топлоносителя и метода за неговото определяне. Това въздействие следва да бъде отчитано при проектиране на системите за аварийно спиране на реактора, системите за управление и мониторинг на активната зона, както и при извършване на изменения в техните настройки.

Проектът на активната зона на реактора следва да гарантира, че определянето на минималното съотношение на критичната и текущата мощност (т.е. определянето на минималния постигнат запас до криза на топлообмена) отчита това, че корелациите за критичния топлинен поток са определени въз основа на тестовете, проведени в стационарни режими. Запасът, определен при оценката на нестационарни експлоатационни състояния,



следва да бъде ясно демонстриран и прилаган. Тъй като корелациите са определени при стационарни условия, запасът следва да бъде достатъчен, за да предотврати повреда на ТОЕ дори при нестационарни условия в експлоатационни състояния.

В някои проекти (освен ако не се използва критерият, определящ невъзможността за достигане на границата на коефициента на запас до криза на топлообмена), критичният топлинен поток, достигнат при повече от допустимия брой ТОЕ, при условията на аварии без стопяване на активната зона, може да бъде приемлив в случай, че се използва друг допустим аналитичен метод в термохидравличния анализ за определяне на броя повредени ТОЕ.

3.21 Коефициентът на запас до криза на топлообмена следва да се изчисли и за обхващащо зареждане, за да се демонстрира безопасността на активната зона. Стойностите на коефициента следва да бъдат изчислени за различни налягания и нанесени върху диаграмата „мощност на реактора – температура на входа“, като се покажат кривите на запаса и линиите на насищане за различните стойности на налягане.

3.22 Експериментите за установяване на корелациите за критичен топлинен поток следва да бъдат проведени за достатъчно широк диапазон от предвидените експлоатационни условия и с достатъчен брой точки на измерване, за да се гарантира, че получените данни за определяне на пределните стойности на минималния критичен топлинен поток могат да бъдат обработени статистически в съответствие със световната практика.

3.23 За демонстриране на съответствие с горните точки могат да се използват следните подходи:

- при оценка на коефициента на запас до криза на топлообмена или корелациите за критичния топлинен поток следва да се гарантира, с 95% вероятност при 95%-ен доверителен интервал, че „горещият“ ТОЕ не достига условията за криза на топлообмена при експлоатационни състояния;
- пределната (минимална) стойност на коефициента на запас до криза на топлообмена или на корелацията за критичен топлинен поток следва да бъде определена така, че броят на ТОЕ, достигащи условия на криза на топлообмена при експлоатационни състояния, да не превишава определената допустима стойност (изразена като брой ТОЕ, намиращи се в условия на криза на топлообмена от 1000 ТОЕ, намиращи се в активната зона).

3.24 Оценката на влиянието на хидравличните натоварвания върху поведението на ТОЕ и горивните касети следва да бъде част от термохидравличния проект на касетите, като включва оценка за приемливостта на:

- локалната корозия;
- повърхностната ерозия;
- вибрациите на ТОЕ, предизвикани от потока на топлоносителя;
- фретинг износване на ТОЕ.

3.25 Целостта на ТОЕ при въздействие на хидродинамичните сили следва да бъде демонстрирана чрез изпитвания, извършени на квалифицирани хидравлични стендове, като се използват макети на горивни касети в пълен мащаб, при определените условия за изпитване (налягане, температура, напречен поток и др.). Хидравличните изпитвания следва да се извършват конкретно за следните случаи:



- изпитване за фретинг износване, предизвикано от потока – изпитването следва да потвърди, че проектните предели за повреда на ТОЕ вследствие на фретинг не се превишават;
- изпитване за вибрации, предизвикани от потока – изпитването следва да демонстрира, че амплитудата на вибрациите на ТОК при различни скорости на потока на топлоносителя не превишава проектните предели за повреда на ТОЕ вследствие на фретинг;
- изпитване на хидравличното съпротивление – изпитването следва да демонстрира, че разходът на топлоносителя не се изменя по начин, който води до нарушаване на проектните предели за ТОК.

Методологията и изборът на условия за изпитванията следва да демонстрират с достатъчен запас съответствието с приложимите проектни предели на ТОК.

ТЕРМОМЕХАНИЧНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА АКТИВНАТА ЗОНА

Проектни изисквания

3.26 Проектът на активната зона следва да гарантира, че всички проектни предели за горивните касети и горивните елементи, свързани със структурната цялост, геометрия, максимално допустимите напрежения и др. не се нарушават в условия на нормална експлоатация така, че да не се допуска повреждане на ТОЕ (разхерметизиране на обвивката). При постулирани изходни събития и аварии без стопяване на активната зона броят на повредените ТОЕ следва да бъде в съответствие с критериите за приемливост на радиологичните последици. Необходимо е да се обезпечи такава геометрия на ТОК, която да позволява охлаждане за продължително време и не възпрепятства падането на работните органи на системата за аварийна защита на реактора. Едновременно с това следва да бъде оценена активността на радионуклидите при по-горе посочените условия, за да се демонстрира съответствие с определените предели за освобождаване на радиоактивни вещества в околната среда и да се гарантира, че те не се превишават.

3.27 Проектът на ТОЕ (с или без изгарящ погълтител) и ТОК следва да отчита конкретните условия на работната среда, в това число:

- температура, налягане и химичен състав на топлоносителя;
- въздействието на облъчването върху горивото;
- промените в микроструктурата на материалите на ТОЕ и ТОК;
- статичните и динамичните натоварвания, включително вибрации, предизвикани от потока на топлоносителя;
- промените в химичните и физичните свойства на конструкционните материали.

По-съществените ефекти, които следва да бъдат отчетени в проекта на ТОЕ и ТОК по отношение на облъчването и работната среда, са дадени в Приложение 1 на ръководството.

3.28 Проектът на активната зона следва да осигурява надеждното функциониране на компонентите на активната зона, ТОЕ и ТОК през целия им жизнен цикъл, включително: производство, транспорт, манипулиране в рамките на ядрено съоръжение, работа в активната зона, съхранение и поставяне в съоръжение за съхранение, когато е приложимо. Проектът на компонентите на активната зона, ТОЕ и ТОК следва да определя основните начини за осигуряване на надеждността им, като от особена важност са следните аспекти:

- контрол при производството (производствени процеси);



РЪКОВОДСТВО
за прилагане на изискванията за безопасност при проектиране
на активната зона на реактори с вода под налягане

- ограничаване на въздействието на странични предмети (предотвратяване на наличието на чужди тела);
- мониторинг и управление на измененията на мощността в активната зона с цел намаляване на взаимодействието таблетка - обвивка на ТОЕ;
- контрол на образуването на отлагания и корозионни слоеве (водохимичен режим на първи контур);
- предотвратяване на повреда на обвивката на ТОЕ вследствие на вибрации на ТОЕ в дистанциониращата решетка;
- мониторинг на състоянието на горивото и процедурите за инспекция.

3.29 Проектът на ТОК следва да гарантира, че при експлоатационни състояния, не настъпва повреда поради механични натоварвания, възникнали в резултат на следните въздействия:

- операциите по манипулиране, включително зареждане;
- преднамерени и непреднамерени изменения в нивото на мощност;
- контактните сили върху ТОК (които компенсират хидродинамичните подежни сили и измененията в геометрията на вътрешнокорпусните устройства и на ТОК вследствие на облъчване и топлинно разширение);
- температурни градиенти;
- хидравлични сили, включително напречен поток между деформирани ТОК или между различни ТОК в смесена активна зона;
- въздействията от облъчването върху материалите (радиационно индуцирано удължаване и обемно разширение);
- хидродинамични вибрации на ТОЕ и вибрационно фретинг износване на обвивката на ТОЕ;
- нееластични деформации на скелета на ТОК, които могат да доведат до прекомерна деформация - изкривяване и усукване.

3.30 При експлоатационни състояния проектът на активната зона следва да гарантира, че максималната температура в горивните таблетки е по-ниска от температурата на топене на горивото с достатъчен запас, като се отчитат съответните неопределености. Температурата на топене следва да бъде определена като функция, зависеща от изгарянето и химичния състав на горивните таблетки, като това следва да бъде адекватно подкрепено с получени експериментални данни.

3.31 Проектът на активната зона следва да гарантира, че напреженията и деформациите в обвивката на ТОЕ са ограничени до такава степен, че да се предотврати превишаването на проектните предели на горивото за съответните състояния. За експлоатационни и аварийни състояния на активната зона следва да се определят специфични проектни предели, като:

- напреженията в обвивката на ТОЕ;
- нейните остатъчни (пластични) деформации;
- корозията;
- водородното поглъщане.

Последиците от прекомерните деформации на обвивката на ТОЕ (локално обемно раздуване) следва да се оценят в анализите на аварията, за да се определи по достатъчно



консервативен начин тяхното влияние върху отвеждането на топлина, повредата на ТОЕ (загуба на херметичност) и последващото отделяне на продукти на делене.

3.32 Проектът на активната зона следва да осигурява, че промените в геометрията на ТОК и ТОЕ са ограничени до приемливо ниво, така че:

- да се предотврати контакт или механично взаимодействие между ТОЕ и горната конструктивна част (глава на касетата) на ТОК, с цел да се предотвратят неприемливи напрежения при огъване на ТОЕ;
- да се предотврати контакт или механично взаимодействие между ТОЕ и долната конструктивна част (опашка на касетата) на ТОК;
- изкривяването на ТОЕ и/или ТОК да бъде ограничено до приемливо ниво;
- деформациите на работните органи и другите възможни взаимодействия с направляващите тръби на ТОК да не влияят на структурната цялост на ТОК и/или на изпълнението на функцията по безопасност на работните органи.

Проектът на активната зона следва да включва оценка на релаксацията на елементите на дистанциониращите решетки при облъчването на ТОК, за да се предотврати вибрационно фретинг износване на обвивката на ТОЕ. Анализите на геометричната стабилност следва да включват ефекта от облъчването върху:

- ТОЕ, ТОК и компонентите на активната зона;
- механичните свойства на използваните материали - якост на опън, пластичност, радиационно индуциран растеж, пълзене, радиационно втвърдяване и релаксация.

Ефектът от облъчването върху устойчивостта на дистанциониращите решетки на хоризонтално натоварване следва да бъде отчетен при оценката на сеизмични въздействия или на аварии със загуба на топлоносител (LOCA) - анализ на механичната реакция на ТОК на сеизмично/LOCA въздействие.

3.33 Радиационно индуцираното нарастване на ТОЕ и ТОК следва да бъде ограничено така, че да се предотврати контакт на ТОЕ с горната или долната решетка на касетата. Изкривяването и/или усукването на ТОЕ и ТОК може да доведе до аномалии в разпределението на мощността, особено когато се изменя стъпката между прътите. Тези ефекти следва да бъдат анализирани или подкрепени с експериментални данни.

3.34 При експлоатационни състояния проектът на активната зона следва да обезпечи липсата на повреди на ТОЕ вследствие на термомеханични натоварвания при локални и/или общи преходни режими на мощността и при изменения на разпределението на мощността.

3.35 Проектът на ТОЕ следва да включва анализи, които демонстрират, че проектните предели за деформация или напрежение в обвивката на ТОЕ, възникващи вследствие на механично натоварване (налягане на топлоносителя, сеизмични натоварвания и др.), не се превишават. Механичните и термомеханичните анализи на поведението на ТОЕ, ТОК и компонентите на активната зона следва да отчитат и ефектите от облъчването, химичните взаимодействия и други промени в свойствата на използваните материали.

3.36 Проектът на активната зона следва да отчита корозионното напукване под напрежение на обвивката на ТОЕ, индуцирано от взаимодействието таблетка - обвивка при наличие на агресивни газови продукти на делене. Предвид на това следва да бъдат определени критерии за предотвратяване на повреда на ТОЕ. Тези критериите следва да бъдат установени така, че:



РЪКОВОДСТВО
за прилагане на изискванията за безопасност при проектиране
на активната зона на реактори с вода под налягане

- да ограничат напреженията на опън в обвивката на ТОЕ посредством намаляване скоростта на изменение на мощността (осигуряване на достатъчно време за релаксация на напреженията в обвивката) или по-бавно затваряне на хлабината между обвивката и таблетката (може да се постигне чрез увеличаване на първоначалното налягане на запълване или чрез оптимизиране на пълзящото деформиране на обвивката);
- да ограничават корозионното въздействие на продуктите на делене (йод, кадмий, цезий и др.), образувани в таблетките, чрез използване на защитен слой от вътрешната страна на обвивката. Този слой може да намали концентрацията на напрежения в обвивката;
- да намаляват количеството на корозионните газови продукти на делене в хлабината между таблетката и обвивката чрез използване на добавки към горивния материал, които способстват за намаляване на отделянето на агресивни газове;
- да се намалят максимално допустимите стойности на коефициентите на локална неравномерност на мощността (и съответно потенциалните изменения в локалната плътност на топлинния поток) в неутроннофизичните пресмятания.

3.37 Концентрацията на напрежения в обвивката на ТОЕ, причинена от липсващи таблетки, аксиални празнини в колоната от таблетки, нарушени повърхности на таблетки или фрагменти от таблетки в хлабината между таблетки и обвивка, следва да бъде изрично моделирана (включена в неопределеностите или запасите), или тези аномалии следва да бъдат недвусмислено изключени (например чрез инспекции в производствения процес).

3.38 Проектът на ТОЕ следва да включва анализи, демонстриращи, че не настъпва повреда на ТОЕ вследствие на използването на изгарящ погълтател в горивните таблетки (поради различни топлинни, механични, химични и микроструктурни свойства) и поради ефекта му върху цялостното поведение на ТОЕ.

3.39 Проектът на ТОЕ следва да осигури използването на адекватно верифициран модел за циркониевите сплави в обвивката на ТОЕ, който да определя съдържанието на абсорбиран водород и кислород в обвивката. Ефектът от абсорбиран водород и кислород върху поведението на обвивката следва да бъде отчетен при формулирането на проектните критерии за ТОЕ при експлоатация (водородно поглъщане), така че специфичните проектни критерии за аварийни състояния (реактивностни аварии и LOCA) да могат да бъдат изразени като функция на концентрацията на водород в обвивката преди началото на преходния процес.

3.40 ТОЕ и ТОК следва да бъдат проектирани така, че да бъдат съвместими с химичния състав на топлоносителя във всички режими на работа, включително при спиране на реактора и презареждане.

3.41 Проектните анализи на ТОЕ следва да включват влошаването на условията за топлоотвеждане на ТОЕ поради образуването на отлагания върху повърхността на обвивката на ТОЕ, причинени от пренос на корозионни продукти от първи контур или други химични процеси, освен ако образуването на такива отлагания може да бъде недвусмислено изключено. За реактори с вода под налягане, при които разтворимият погълтател се улавя в слоевете от отлагания по обвивката на ТОЕ, този ефект (аномалия на аксиалния офсет) следва да бъде отчетен в неутронно-физичната част на проекта на активната зона.

3.42 Проектът следва допълнително да обезпечи липсата на повреди на ТОК вследствие на натоварване от проектно сеизмично въздействие, комбинирано с натоварването при авария с голяма загуба на топлоносител в аварийни условия, които биха възпрепятствали изпълнението на фундаменталните функции по безопасност (точка 3.44).



3.43 За експлоатационни състояния в проекта на ТОЕ и ТОК следва да бъде демонстрирано съответствие със следните изисквания:

- хлабините и допустимите отклонения вътре в ТОК и между съседни ТОК следва да бъдат достатъчно големи, за да осигурят необходимото пространство за радиационно индуциран растеж и деформация (изкривяване, деформация) на ТОЕ и ТОК;
- всяко изкривяване и нарастване на ТОЕ, както и всяка деформация на ТОК, следва да бъдат ограничени до приемливо ниво, за да се предотвратят неблагоприятни ефекти върху термохидравличното поведение, разпределението на мощността в активната зона, термомеханичното поведение на горивото и непредвидени в проекта операции по манипулиране на горивото;
- умора на материала, индуцирана от циклични натоварвания вследствие на напрежения и деформации, да не води до повреждане на ТОК;
- деформации на ТОК, причинени от механичните и хидравлични сили на задържане или от противоположния поток в активната зона, следва да бъдат ограничени така, че да не влияят на локалните запаси до критичен топлинен поток, определени в проекта. Деформациите на ТОК следва да не възпрепятстват възможността за въвеждане или свободно падане на работните органи във всички състояния;
- повреди вследствие на вибрации и фретинг да не оказват влияние на общото поведение и функцията на ТОЕ, ТОК и опорните конструкции.

3.44 В условията на аварии без стопяване на активната зона проектът на активната зона следва да осигури, че всяко взаимодействие между ТОЕ или ТОК и опорните конструкции на ТОК не възпрепятства работата на системите за безопасност, така както е заложено в проекта (анализи на безопасността). Следва да бъде гарантирано:

- изпълнението на проектните функции на системите за безопасност (обезпечаване работата на системата за управление и защита);
- проектното охлаждане на активната зона (включително дългосрочното охлаждане на активната зона).

3.45 Проектът на ТОЕ следва да предотврати прекомерно разхерметизиране на обвивката на ТОЕ в резултат на взаимодействието между таблетката и обвивката при експлоатационни състояния, освен ако проектът не демонстрира друго. По време на преходни режими и постулирани изходни събития, свързани с рязка промяна в мощността (реактивностни аварии), ТОЕ могат да се повредят вследствие на взаимодействие между таблетката и обвивката и крехкостта на материала на обвивката, причинена от водородно поглъщане при голяма дълбочина на изгаряне. Възможността за настъпване на подобна повреда следва да бъде отчетена и оценена в анализите на безопасност.

3.46 Критерият за повреда на обвивката на ТОЕ по време на скокообразно нарастване на мощността следва да бъде обоснован посредством един от следните подходи или от комбинация от тях, като се отчита спецификата на съответния тип ТОЕ (вида на горивото и материала на обвивката):

- изпитвания (изпитвания в активната зона на реактор при нарастване на мощността);
- моделиране на изпитвания в активната зона;
- експерименти, проведени с облъчени обвивки на ТОЕ.



Експерименталната база данни следва да покрива в достатъчна степен проектния диапазон на изгаряне и възможните режими на нарастване на мощността. Проектният диапазон следва да обхваща всички критични области, особено диапазона на изгаряне 25–40 MWd/kgU. Броят на точките за измерване следва да бъде достатъчен за да се осигури адекватна статистическа обработка в целия проектен обхват.

Когато критерият за повреда на ТОЕ се проверява чрез термомеханичен изчислителен код (под формата на максимално допустимо напрежение или плътност на деформационната енергия), е необходимо този критерий да бъде получен въз основа на експериментални данни с използване на същия код или да се демонстрира, че всеки друг компютърен код е приложим за проверка на този критерий.

Проектни критерии и предели за горивото

3.47 Проектните предели за горивото следва да бъдат определени, като се вземат предвид всички физични, химични и механични процеси, които влияят на поведението на ТОЕ и ТОК във всички състояния.

3.48 За експлоатационни състояния, проектът на ТОЕ следва да включва най-малко следните предели за:

- предотвратяване топенето на което и да е място в горивните таблетки;
- предотвратяване прегряването на обвивката на ТОЕ;
- предотвратяване разрушаването на обвивката на ТОЕ (под действието на външното налягане на топлоносителя);
- предотвратяване повишаването на вътрешното налягане в ТОЕ до стойност, която би предизвикала деформация на обвивката, влошаваща условията за топлоотдаване към топлоносителя;
- предотвратяването на корозията и поглъщането на водород от обвивката на ТОЕ над допустимите предели;
- предотвратяването на повреди на обвивката на ТОЕ вследствие на фретинг и задирания над установените предели;
- предотвратяването на превишаване на напреженията и деформациите в обвивката на ТОЕ над определените проектни предели.

3.49 Компонентите на ТОЕ и ТОК следва да бъдат проектирани така, че деформациите и радиационно индуцираното нарастване да бъдат ограничени до степен, която да предотвратява нарушаването на проектните предели за ТОЕ, като същевременно се предотвратят:

- механичните взаимодействия между опашките на ТОЕ и главата на ТОК;
- нарушенията на локалното разпределение на мощността в ТОЕ;
- намаленията на локалните запаси до критичен топлинен поток в ТОК;
- нарушенията в работата на органите на системата за управление и защита;
- загуба на възможността за манипулиране на ТОК.

3.50 Компонентите на активната зона, вътрешно-корпусните устройства и ТОК следва да бъдат проектирани така, че да се минимизира рискът от попадане на чужди предмети в ТОК, като по този начин се предотвратява повредата на ТОЕ в експлоатационните състояния.



3.51 Проектните предели за изгаряне на горивото, произтичащи от термомеханичното поведение на ТОЕ и ТОК, не следва да бъдат превишавани при проектиране на зареждането на активната зона.

3.52 При постулирани изходни събития и аварии без стопяване на активната зона, проектът на ТОЕ следва да гарантира, че:

- броят на повредените ТОЕ следва да не превишава определен процент от общия брой ТОЕ в активната зона, така че да бъдат ограничени радиологичните последици в рамките на определените за тях граници;
- при определяне на общия брой повредени ТОЕ се взимат предвид всички известни механизми на повреда на обвивката, включително химични реакции (окисление, хидридиране), образуването на локални обемни разширения или разрушаване на обвивката, повреда поради механични напрежения или топене и др.;
- критериите, използвани за определяне на повредата на обвивката, се основават върху резултати от експериментални изследвания;
- в случай, че някой ключов параметър (радиално осреднена енталпия на ТОЕ, напрежение, деформация, температура, плътност на деформационната енергия и др.) превиши определена пределна стойност (предел за разрушаване на обвивката) в която и да е аксиална координата, определена въз основа на представителни експериментални резултати, получени при условия, съответстващи тези в реактора (параметрите на експериментите следва да включват най-малко: температура на топлоносителя, налягане на топлоносителя, скорост на потока, кинетика на въвеждане на реактивност и вътрешно налягане в ТОЕ), следва да се счита, че ТОЕ е повреден. Тъй като устойчивостта на обвивката на ТОЕ се изменя с облъчването и зависи от вида на циркониевата сплав, тази пределна стойност следва да зависи от типа и материала на обвивката.

3.53 Отвеждането на топлината от активната зона не следва да бъде нарушавано вследствие на:

- образуването на локални обемни разширения или разрушаване на обвивката на ТОЕ (при аварии със загуба на топлоносител);
- прекомерни деформации на ТОК или вътрешно-корпусните устройства (при сеизмично въздействие);
- блокиране на потока на топлоносителя.

Проектът на ТОЕ и активната зона следва в достатъчна степен да предотвратява повреда на границата на налягането на първи контур при реактивностни аварии поради термичен взрив на ТОЕ или повреда на контура на топлоносителя, която би ограничила способността за отвеждане на топлината от активната зона. Принципно това се осигурява чрез определяне на предели за максималните стойности на ключовите параметри (енталпия на таблетките) и допустимото им нарастване.

3.54 За да се осигури структурната цялост на ТОЕ, следва да бъдат определени и обосновани следните проектни предели:

- максималната локална температура на обвивката на ТОЕ и еквивалентното количество окислен материал на обвивката при аварийни условия не следва да превишават такава стойност, при която окислението води до прекомерно окрежкостяване на материала на обвивката или до неконтролируемо ускоряване на реакцията (екзотермична реакция). Следва да се оцени по подходящ начин



влиянието на фрагментацията на таблетките и релокацията на фрагментите вътре в ТОЕ върху максималната локална температура на обвивката. Потенциалните ефекти върху радиационните последици от аварии и върху охлаждането на активната зона от попадането на горивни частици в контура на топлоносителя следва да бъдат оценени;

- при аварийни условия обвивката на ТОЕ не следва да бъде повредена до степен, при която не може да издържи възникващите механични натоварвания вследствие на авария с голяма загуба на топлоносител (натоварвания при LB LOCA). Оценката следва да включва скоростта на окисление на обвивката както преди, така и по време на транзиента (от външната страна на обвивката, а при необходимост и от вътрешната страна при повредени ТОЕ). Следва да се отчетат и химичните взаимодействия между таблетките и обвивката. Водородът и кислородът, абсорбирани в обвивката на ТОЕ при експлоатационни състояния и аварийни условия не следва да предизвикват деградация на механичните свойства (окрежкостяване), която води до невъзможност обвивката да издържи натоварванията при манипулиране, транспорт или съхранение на ТОК. Влиянието на абсорбираните водород и кислород върху якостта и пластичността на обвивката следва да бъде определено;
- критериите за повреда на ТОЕ и ТОК при реактивностни аварии следва да бъдат определени така, че да отчитат началното състояние на ТОЕ преди събитието (съдържание на водород и кислород и дълбочина на изгаряне на ТОЕ преди настъпване на аварията).

3.55 В условията на авария със загуба на топлоносител, количеството образуван водород в резултат на реакцията топлоносител–обвивка на ТОЕ не следва да превишава определената граница (1% относително количество) от общото количество водород, който би се образувал от реакцията на всички ТОЕ и конструктивни материали в активната зона. Тази граница обезпечава отсъствието на условия водещи до неприемливи ефекти от реакцията на генерирания водород с наличния кислород (запалване, горене, детонация).

3.56 Структурните деформации на ТОЕ, ТОК, компонентите на активната зона или вътрешно-корпусните устройства не следва да водят до нарушения в проектното движение на работните органи извън отклоненията, разглеждан в анализите по безопасност. Температурата на топене на работните органи, като се вземат предвид евтектичните реакции, не следва да бъде превишавана в която и да е част на активната зона във всички състояния.

МЕХАНИЧНИ СВОЙСТВА НА АКТИВНАТА ЗОНА

Проектни изисквания

3.57 Компонентите на активната зона и свързаните вътрешно-корпусни устройства на реактора следва да бъдат проектирани така, че да запазват своята структурна цялост във всички състояния, разглеждани в проекта. Структурната цялост следва да бъде демонстрирана за всички механизми на повреда на компонентите на активната зона и вътрешно-корпусните устройства, като:

- вибрации (механично индуцирани или предизвикани от потока на топлоносителя);
- умора на материала;
- топлинни въздействия;
- химични въздействия;



РЪКОВОДСТВО
за прилагане на изискванията за безопасност при проектиране
на активната зона на реактори с вода под налягане

- хидравлични въздействия;
- радиационни ефекти, включително радиационно индуцирано нарастване;
- сеизмични натоварвания.

Демонстрацията може да се извърши чрез пресмятания или експериментално. Особено внимание следва да бъде поставено върху доказване на отсъствието на повреди на компонентите, предназначени за:

- управление на реактивността и аварийно спиране на реактора;
- отвеждане на топлина;
- осигуряване целостта на границата на налягането на първи контур.

Демонстрацията следва да отчита въздействието на повишените стойности на налягането и температурата, температурните промени, корозията, радиационното натоварване и общия ефект от радиационното облъчване върху размерите на компонентите, силовите натоварвания и механичните свойства на материалите през целия им експлоатационен живот.

3.58 Проектът на работните органи и компонентите на активната зона следва да осигурява тяхната работоспособност при всички операции по време на презареждане, транспорт и съхранение, без да се повреждат.

3.59 Проектът на компонентите на активната зона и носещите вътрешно-корпусни устройства следва да улеснява извършването на инспекции (огледи) на тези компоненти.

3.60 Носещите и опорни вътрешно-корпусни конструкции следва да бъдат проектирани така, че да издържат статичните и динамичните натоварвания, включително натоварванията, възникващи при преместване и манипулиране на ТОК.

3.61 Проектът на носещите конструкции в реактора следва да демонстрира наличието на запаси до достигане на пределите за термични напрежения във всички състояния, включително отчитайки и ефекта от нагряването вследствие на гама-лъчението върху охлаждането и температурната им реакция. Анализите следва да включват и химичните ефекти на топлоносителя върху компонентите, по-специално:

- корозия;
- хидриране;
- стрес-корозионно напукване;
- образуване на отлагания.

3.62 Конструкцията на ТОК, включително и направляващите тръби за органите за управление и защита и апаратурата за вътрешнореакторни измервания, следва да бъдат проектирани така, че да осигуряват точно позициониране на измервателните средства и да минимизират възможностите за непреднамерени действия на персонала, както и да издържа натоварванията и хидравличните сили, предизвикани от потока на топлоносителя, във всички състояния.

Проектът на активната зона следва да улеснява поддръжката на устройствата и измервателната апаратура. Следва да се отчита възможността, че хидродинамичните вибрации на тези компоненти, измервателни устройства или направляващи тръби могат да доведат до фретинг, износване и последваща неизправност/повреда при дългосрочна експлоатация. Запазването на размерите на направляващите тръби (конструкции) следва да бъде обосновано за целия им проектен живот.



3.63 Проектът на активната зона и вътрешно-корпусните устройства на реактора следва да улеснява подмяната на работните органи и вътрешно-реакторните детектори, когато това е необходимо, без да се причинява повреда на други компоненти на активната зона и вътрешно-корпусните устройства, без предизвикване на недопустимо въвеждане на реактивност и/или без неоправдано радиационно облъчване на персонала.

3.64 В зависимост от типа реактор, във вътрешността на корпуса на реактора могат да бъдат разположени и други вътрешно-корпусни устройства, като:

- топлинни екрани;
- ограничители на активната зона;
- отражатели.

Тези устройства следва да бъдат проектирани така, че механичните им характеристики да не възпрепятстват изпълнението на която и да е функция на безопасност, свързана с активната зона през целия им експлоатационен живот.

3.65 Проектът на неутронни източници следва да гарантира, че:

- източниците осигуряват дългосрочно стабилен и достатъчен неутронен поток, който позволява по-точно измерване на потенциални изменения при ниски нива на неутронния поток;
- източниците следва да са механично устойчиви и подходящи за използване при експлоатационни състояния.

Проектни критерии и предели

3.66 Проектът на активната зона и на вътрешно-корпусните устройства следва да отговаря на изискванията и критериите, определени в стандартите за проектиране, които се прилагат по отношение на определения клас по безопасност.

СИСТЕМИ ЗА АВАРИЙНО СПИРАНЕ НА РЕАКТОРА, УПРАВЛЕНИЕ И МОНИТОРИНГ НА АКТИВНАТА ЗОНА

Проектни изисквания

3.67 Системите за управление и мониторинг на активната зона и начинът на обработване и интерпретиране на измерените стойности следва да бъдат проектирани така, че да могат да идентифицират измененията в разпределението на неутронния поток в активната зона с достатъчна точност, като по този начин се предотвратява превишаването на проектните предели за горивото.

3.68 Параметрите, които характеризират състоянието на активната зона в достатъчна степен, следва да бъдат определени в проекта на активната зона и тяхното подходящо измерване следва да бъде осигурено. От особено значение са параметри, като:

- мощността на реактора;
- пространственото разпределение на плътността на неутронния поток и свързаните с него коефициенти на неравномерност на мощността;
- температурата на топлоносителя на входа и изхода и температурното разпределение в циркулационните кръгове на първи контур;
- разходът на топлоносителя в активната зона;
- налягането на първи контур;
- положението на работните органи в активната зона;



РЪКОВОДСТВО
за прилагане на изискванията за безопасност при проектиране
на активната зона на реактори с вода под налягане

- концентрацията на разтворимия погълтител и съдържанието на изотопа В-10.

Параметри, които могат да бъдат получени вследствие от измерените, могат да бъдат:

- период на реактора;
- скорост на изменение на неутронната мощност;
- текуща стойност на реактивността;
- аксиална и радиална неравномерност на неутронния поток ;
- термохидравлични параметри на активната зона .

3.69 Проектът на ТОК и на активната зона следва да улеснява и осигурява използването на необходимата апаратура и детектори за мониторинг на параметрите на активната зона, като мощността (ниво, разпределение и изменения във времето), състоянието и параметрите на топлоносителя (налягане и температура) и ефективността на средствата за аварийна защита на реактора (например скоростта на въвеждане на реактивност от органите за регулиране в сравнение със съответните нейни пределни стойности). Използваната апаратура и начинът на обработване и интерпретиране на измерените стойности следва да бъдат такива, че да могат да бъдат предприети необходимите коригиращи действия в случай на достигане на определените пределни стойности. Използваната апаратура и нейното разполагане следва да улесняват мониторинга на параметрите в целия им диапазон във всички състояния, включително по време на презареждане.

3.70 Проектът на системата за аварийна защита на реактора и на системите за управление и мониторинг на активната зона следва да гарантира, че всички преходни процеси на мощността, които могат да доведат до нарушаване на проектните предели за горивото по време на експлоатационни състояния , се откриват и предотвратяват надеждно и своевременно.

3.71 Средствата за управление на реактивността следва да бъдат проектирани така, че да позволяват поддържането на необходимите нива на мощност и разпределение на мощността с достатъчен запас до пределите за безопасна експлоатация, включително при изменения, свързани с компенсация на запасната реактивност, като:

- контролирани изменения на мощността;
- изменения в концентрацията на ксенон;
- изменения в коефициентите на обратната връзка по реактивност;
- изменения в разхода или температурата на топлоносителя;
- изгаряне на горивото и на изгарящия погълтител.

3.72 Органите за регулиране следва да бъдат проектирани така, че да осигуряват подкритичното състояние дори при условията на аварии без стопяване на активната зона.

3.73 Използването на органите за регулиране или на системите за управление на реактивността при експлоатационни състояния не следва да намалява тяхната оперативна способност и възможността им да осигурят изпълнението на функциите по безопасност и аварийна защита, когато е необходимо.

3.74 Максималната величина и скорост на въвеждане на положителна реактивност във всички състояния следва да бъдат ограничени и/или достатъчно компенсирани, за да се предотврати нарушаване на целостта на първи контур и вследствие на това повреда на активната зона.



3.75 Пространственото разположение, групирането, скоростта на изваждане и последователността на изваждане на органите за регулиране, включително съответните настройки в системите за управление и аварийна защита, следва да бъдат проектирани така, че да предотвратят превишаването на проектните предели на активната зона при всяко неконтролирано изваждане на органите за регулиране.

3.76 Системата за управление на реактивността следва да бъде проектирана така, че да не позволява непредвидено намаляване на концентрацията на разтворимия погълтител в топлоносителя. Системата следва да бъде проектирана така, че да осигурява равномерно разпределение на концентрацията на погълтител в целия контур. Концентрацията на разтворимия погълтител във всички резервоари следва да бъде контролирана.

3.77 Възможностите за непреднамерено разреждане на борна киселина следва да бъдат идентифицирани чрез подходящи анализи за всички експлоатационни състояния.

3.78 Ефективността на органите за регулиране следва да бъде измервана и проверявана чрез извършване на изпитвания.

3.79 Проектирането на органите за регулиране следва да отчита тяхното износване и ефектите от облъчване по време на експлоатация, като изгарянето на погълтителя, измененията във физичните свойства и образуването на газообразни продукти на делене.

В проекта на механичната част на системата за управление и защита следва да се отчетат следните ефекти от:

- облъчването на работните органи – изчерпване на погълтителя или раздуване и нагриване на материалите в резултат на поглъщане на неутрони и гама-лъчи. В зависимост от въздействието на тези ефекти в проекта следва да бъде предвидена замяна на устройствата за механично регулиране или тяхното разположение в активната зона следва да бъде изменяно;
- химичните ефекти, като корозия на обвивката на работните органи, наличието на радиоактивни корозионни продукти в контура на топлоносителя;
- деформациите и преместванията на конструктивните елементи, като се отчитат движенията на вътрешно-корпусните устройства вследствие на топлинно разширение, радиационно натоварване, механично натоварване или външни въздействия като земетресение.

3.80 Системата за аварийна защита на реактора следва да осигурява, във всички състояния, че определените проектни предели за запас на подкритичността не се нарушават. Проектът на отделните компоненти следва да осигурява надеждността на цялата система, както и независимостта на функциите по управление и аварийна защита.

3.81 Ефективността на органите за регулиране, скоростта на въвеждане на отрицателна реактивност и ефективността на аварийната защита следва да бъдат определени така, че да съответстват на установените проектни критерии на активната зона.

3.82 Времето за аварийно спиране следва да бъде такова, че да се гарантира спазването на проектните предели за ТОЕ, ТОК и налягането на първи контур.

3.83 При проектирането и пресмятането на времето за аварийно спиране следва да се вземат предвид следните фактори:

- времето за реагиране на апаратурата за задействане на аварийното спиране;
- времето за реагиране на задействащия механизъм на органите за регулиране;
- разположението на органите за регулиране;



РЪКОВОДСТВО
за прилагане на изискванията за безопасност при проектиране
на активната зона на реактори с вода под налягане

- аксиалният профил на погълтителя в поглъщащите елементи;
- скоростта на въвеждане на погълтителя в активната зона, като времето за свободно падане на органите за регулиране под действие на гравитацията или ефективността на дозиране на разтворим погълтител.

3.84 Проверката на адекватността на проекта на системите за аварийна защита следва да включва оценка на събитие, водещо до ограничаване на ефективността на аварийната защита. За подобно обхващащо събитие може да се счита оставането в крайно горно положение на най-ефективния орган за регулиране. Проектът на системата за аварийна защита следва да не позволява нейния отказ по обща причина.

3.85 За осигуряване на необходимата надеждност, при проектирането на системите за аварийна защита, включително техните органи за регулиране, следва да се прилагат следните инженерни подходи или комбинация от тях:

- системи, които са с опростена конструкция и улеснена експлоатация;
- избор на компоненти и оборудване с доказани проекти/конструкции;
- използване на проектни решения основани на принципа на безопасния отказ, доколкото е приложимо;
- отчитане на възможните случаи на отказ и прилагане на резервиране по отношение на задействане на системата за аварийна защита. Следва да се предвиди диверсификация на задействането на аварийната защита чрез използване на два или повече различни и независими инициращи параметъра. Тези параметри следва да бъдат определени за всички разглеждани събития, доколкото е възможно;
- функционално обособяване и физическо разделяне на системите за аварийна защита (включително разделяне на функциите по управление и аварийна защита) за всички разглеждани събития, включително за възможните механизми на единични откази и откази по обща причина, доколкото е възможно;
- осигуряване на надеждно въвеждане на органите за регулиране в активната зона при експлоатационни състояния и аварии без стопяване на активната зона;
- проект, който осигурява ремонтпригодност и контрол при експлоатация и изпитвания;
- осигуряване на средства за извършване на комплексни изпитвания по време на въвеждане в експлоатация и по време на планови спирания за презареждане или ремонт;
- изпитване на задействащите механизми (или частично въвеждане на органите за регулиране, ако е възможно) по време на експлоатация.

3.86 Проектът на системата за аварийна защита следва да отчита стареенето на отделните компоненти и да включва пресмятания на експлоатационния срок на регулиращите органи (брой сработвания). Определеният експлоатационен срок следва да отчита както стареенето, дължащо се на движението на работните органи (по-специално падането на работните органи при аварийно спиране) и радиационното натоварване (раздуване, промяна във химичните свойства), така и изчерпването на погълтителя (изгаряне).

3.87 Системата за аварийна защита следва да бъде проектирана така, че да е способна да компенсира неконтролирано въвеждане на положителна реактивност, което може да доведе до повторна критичност в определените експлоатационни състояния и режими. Проектът на системата за аварийна защита и на системите, осигуряващи подкритичност в басейна за



съхранение на отработило гориво (БОК), следва да отчита всички условия и дейности, които могат да доведат до намаляване на подкритичността в съответното състояние или режим. (работа с поглътител, намаляване на съдържанието на поглътителя, работа с гориво и навлизане на чист кондензат). Събитията, свързани с промяна в определената концентрация на поглътител, следва да бъдат анализирани за случаите с възможно най-ниска стойност на подкритичността. Проектът на системата за аварийна защита следва да определя броя на регулиращите органи и тяхната ефективност.

3.88 Ефективността на системата за аварийна защита и осигуряването на подкритичност следва да бъдат демонстрирани за условията на обхващащо зареждане.

3.89 Част от регулиращите устройства на системата за аварийна защита могат да бъдат използвани за целите на управление на реактивността и на пространственото разпределение на мощността при условие, че това не води до нарушения в способността на системата за аварийна защита да изпълни своите функции във всички състояния.

3.90 Системата за аварийна защита следва да може да бъде изпитвана по време на експлоатация с цел демонстриране на нейната способност да изпълнява своите функции по безопасност.

3.91 Системата за аварийна защита следва да бъде физически и функционално разделена от системите за управление, така че практически да се изключи възможността за отказ по обща причина, както и отказ на системите за управление да не води до отклонение в работата на системата за аварийна защита.

Експлоатационни предели на системите за управление и настройки на системата за аварийна защита на реактора

3.92 В проекта на активната зона следва да бъдат определени съответните експлоатационни предели, както и в случаите на тяхното нарушаване следва да бъдат определени стойности на параметрите (уставки), при които се задействат системите за управление, както и стойностите за задействане на сигнализация и/или на системата за аварийна защита.

Стойностите на експлоатационните предели и съответните уставки на системите за управление и аварийна защита следва да отчитат влиянието от изгарянето на горивото, взаимното влияние на съседни органи за регулиране (намаляване на ефективността поради т.нар. „ефект на засенчване“), разхода на топлоносител в циркулационните кръгове и разпределението на температурата на топлоносителя на изход от горивните касети.

3.93 Уставките на експлоатационните предели и тези на системите за управление следва да отчитат ефектите на стареене на системите за охлаждане на активната зона.

3.94 Уставките следва да бъдат настроени така, че да улесняват надеждното управление на реактора и неговото аварийно спиране през целия период на експлоатация. Автоматичното задействане на системите за управление на активната зона и на системите за аварийна защита следва да бъде настроено с такъв запас, че да се предотвратява повреждането на горивото по време на преходни процеси или да се ограничи степента на повреда на горивото в началните етапи на аварията до ниво, предвидено в анализите на безопасността.

3.95 Работата на апаратурата за контрол на активната зона, експлоатационните предели и процедурите следва да бъдат определени така, че да се предотврати по-висока от необходимата стойност на общата ефективност на органите за регулиране (за инициращи събития от типа изваждане на орган за регулиране или неконтролираното му изваждане) и на скоростта на въвеждане на положителна реактивност. Определените експлоатационни предели и процедури следва да бъдат проверявани за тяхната ефективност. Където е



възможно, следва да бъде въведена сигнализация при отказ или за предстоящ отказ на тези функции.

3.96 Проектните предели, неопределеностите, експлоатационните предели, изискванията към контролните уреди и уставките следва да бъдат адекватно отчетени и документирани в условията за безопасна експлоатация на ядрената централа.

Системи за контрол на активната зона при експлоатация

3.97 Системата за контрол на активната зона следва да бъде проектирана така, че да предоставя на системите за управление и аварийна защита достатъчна информация за поведението на активната зона и по-специално за пространственото и времево разпределение на мощността в активната зона. Проектът на активната зона следва да включва детектори и устройства за необходимия контрол на големината и измененията на мощността на активната зона, както и на локалните стойности на разпределение на мощността, за да се гарантира, че проектните предели (разпределение на мощността, топлинна мощност, неутронна мощност) не се превишават в целия диапазон на изменения на мощността. В зависимост от оценката на указаната в проекта на активната зона скорост на изменение на даден параметър, задействането на съответната функция на системите за управление може да бъде ръчно или автоматично.

3.98 Количеството радионуклиди в топлоносителя следва да се оценява и контролира непрекъснато по време на експлоатацията, с цел установяване на плътността на обвивките на ТОЕ и своевременно откриване на индикации за нарушаване на херметичността на обвивките.

3.99 Точността на измерване, скоростта на реакция, измервателният диапазон и надеждността на всички системи за мониторинг следва да бъдат достатъчни за изпълнение на техните функции. Системата за мониторинг следва да бъде проектирана така, че да позволява периодични и/или непрекъснати проверки.

3.100 Системите, предназначени за контрол (на реактивността, нивото на топлоносителя в реактора, температури и др.) по време на и след аварии, следва да бъдат квалифицирани за съответните условия на средата, така че да бъдат способни да изпълнят проектните си функции.

3.101 Мощността и пространственото ѝ разпределение следва да се контролират чрез извънкорпусни и/или вътрешнокорпусни системи за контрол на активната зона (неутронни йонизационни камери, камери на делене, бета-емисионни неутронни детектори, локални датчици за измерване на температурата на топлоносителя). Измерванията на локалната мощност в различни позиции в активната зона следва да бъдат проектирани така, че да осигуряват поддържане на достатъчни запаси по безопасност спрямо проектните предели за горивото, като се вземат предвид измененията в пространственото разпределение на мощността в резултат на управлението на активната зона и изгарянето на горивото. Разпределението на мощността в активната зона следва да се контролира периодично или непрекъснато. Вътрешнокорпусните детектори следва да бъдат така разположени в активната зона, че да осигуряват надеждно измерване на промените в локалната плътност на мощността. Както извънкорпусните, така и вътрешнокорпусните детектори следва да бъдат периодично тарирани.

3.102 Системата за контрол на активната зона следва да бъде проектирана така, че да позволява поддържане на параметрите на активната зона в съответствие с експлоатационните предели.

3.103 След спиране на реактора следва да бъде наличен необходимият брой и тип прибори или комбинации от средства за измерване на неутронния поток и независими неутронни



източници в активната зона. Целта е да се осигури, както надежден контрол на неутронния поток, така и контрол на остатъчното енергоотделяне във всички състояния, когато горивните касети са в реактора, а също и във всички фази на физическия пуск на реактора.

3.104 Способността за падане на органите за регулиране и времето на падане следва да се изпитват периодично. Проектът на системата за аварийна защита следва да предвижда наличие на програми и оборудване за изпитване и измерване на времето на падане на органите за регулиране. Тенденциите за промяна в измерените времена следва да се оценяват периодично.

3.105 Когато се използват няколко системи за контрол на неутронния поток за различните енергийни диапазони, те следва да бъдат логически обвързани чрез припокриване и подходящи блокировки и настройки. Целта е да се осигури контрол на активната зона във всеки енергиен диапазон с необходимата точност и да се предотврати безпричинно задействане на аварийните защиты.

УПРАВЛЕНИЕ НА АКТИВНАТА ЗОНА И ГОРИВОТО

Проектни изисквания

3.106 Основната цел на управлението на горивното зареждане и активната зона е да бъде осигурено безопасно, надеждно и ефективно използване на ТОЕ, горивните касети и компонентите на активната зона.

3.107 Зарежданията на активната зона с гориво следва да бъдат проектирани в съответствие с изискванията за управление на реактивността и разпределението на мощността в активната зона, така че да не се достигат или превишават проектните предели за горивото.

Процесът на управление на горивното зареждане и активната зона следва да включва следното:

- средства, като компютърни кодове, които следва да осигуряват изпълнение на следните функции на управление на горивото и активната зона: проектиране и оценка на безопасността на зареждането (спецификация на зарежданите горивни касети и подредба на горивните касети, които да осигуряват оптимално изгаряне и необходимото разпределение на неутронния поток и др.), избор на подлежащата на доставка номенклатура от горивни касети и компоненти на активната зона, управление на реактивността и контрол на активната зона;
- стратегия за експлоатация на активната зона, която да позволява максимална експлоатационна гъвкавост при оптимално използване на ядреното гориво и поддържане на запасите до достигане на проектните предели за управление на горивото.

3.108 Стратегията за изпълнение на функциите на управление на горивото и активната зона следва да съдържа следната информация:

- схемата на зареждане на активната зона, включително типа на горивните касети според началното обогатяване по U-235, наличието и вида на профилирането по обогатяване, наличие на изгарящ погълтател в горивните елементи (ТОЕГ) и разположението им, позицията на горивните касети и компонентите на активната зона и тяхната ориентация в активната зона за всяка горивна кампания;
- план (график) за работа с гориво (инструкциите за операциите по работа с горивните касети и др.);
- конфигурацията и ограниченията на средствата за управление на активната зона и аварийното спиране на реактора (включително настройките на системите за



РЪКОВОДСТВО
за прилагане на изискванията за безопасност при проектиране
на активната зона на реактори с вода под налягане

управление и контрол на активната зона, настройките на системата за аварийна защита, настройките на системата за контрол на активната зона);

- разположението и операциите по работа с компонентите на активната зона.

3.109 Запасът по изгаряне на ядреното гориво и физичните параметри на активната зона се отчитат при извършването на анализи на безопасността, настройка на системите за контрол и аварийна защита, както и в експлоатационните процедури.

Физичните параметри включват:

- условията за провеждане на пусковите физични експерименти (критична концентрация на разтворимия поглъtitел и допустимо положение на работните органи);
- кинетични параметри на активната зона;
- коефициент на реактивност по температура на горивото;
- коефициент на реактивност по температура на топлоносителя;
- ефективност на работните органи и групите за управление;
- коефициенти на неравномерност на мощността.

Необходимо е непрекъснато или периодично да се проверява изменението на запаса по изгаряне на ядрено гориво и валидността на очакваните стойности на физични параметри в границите на измерване.

3.110 При проектирането на зареждането на активната зона следва да се оцени и потвърди, че установените подходи за използване на горивото и за определяне на експлоатационните предели на активната зона се спазват. В противен случай експлоатационните предели биха могли да бъдат нарушени.

3.111 При проектирането на схемата на зареждане с ядрено гориво с прилагане на реалистични анализи е желателно да се използват основно многомерни и глобални компютърни кодове за всички състояния на ядрената централа. Пресмятанията с реалистични допускания (VERU) и съответните методологии следва да включват анализ на чувствителността.

3.112 Анализите на проекта на зареждането с гориво и свързаните пресмятания следва да се извършват за всички обичайни експлоатационни състояния по време на кампанията, като:

- нормална експлоатация и очаквани експлоатационни събития, със съответните представителни разпределения на мощността;
- изменения в натоварването и други циклични изменения на мощността;
- достигане на критичност;
- пускане на блока и работа при различни нива на мощността;
- презареждане с гориво;
- спиране на реактора.

При промяна на проектното зареждане или промяна в характеристиките на ТОЕ/ТОК (обогащаване, размери на ТОЕ, разположение на ТОЕ или промяна в материала на обвивката на ТОЕ) следва да се извършат и документират нови пресмятания.



3.113 Анализите на проекта на активната зона следва да включват ограничаващото разпределение на енергоотделянето по височина във всяка касета, което означава, че следва да бъде представено разпределение на енергоотделянето включително и локално линейно енергоотделяне за всеки ТОЕ. Анализите следва да отчитат неопределеностите, включително влиянията от измененията в геометрията на горивната касета при експлоатация върху неутронно-физичното и термохидравличното поведение и пресмятанията (промяна в съотношението гориво–забавител вследствие на изкривяване или деформация на горивната касета). Анализите на проекта на активната зона следва да включват и радиалното разпределение на енергоотделяне в рамките на горивната касета (включително с отчитане на деформациите) и аксиалното разпределение на енергоотделяне с отчитане на деформациите, причинени от дистанциониращи решетки и други компоненти с цел гарантиране, че пресмятанията правилно идентифицират най-натоварените места и определят локалните нива на мощността.

3.114 Оценката на безопасността следва да се извършва за всяко инициращо събитие, което може да доведе до неочаквана критичност при манипулации с горивото по време на презареждане.

3.115 Съответствието на горивното зареждане с проекта следва да бъде потвърдено чрез извършване на пускови изпитвания.

3.116 Горивното зареждане следва да бъде проектирано така, че дори при неправилно разполагане на горивна касета проектните предели на активната зона не се превишават за конкретното изходно събитие.

Проектни критерии и предели

3.117 Обхващащото зареждане следва да включва набор от ключови параметри по безопасност, които да бъдат използвани по време на експлоатация за проверка на приемливостта на конкретното зареждане с гориво в хода на неговата експлоатация.

3.118 Анализът на проекта на зареждането на активната зона следва да потвърди, че при използване на избраната схема на зареждане се спазват всички определени проектни предели за горивото във всички състояния или че е налице съответствие с всички ключови параметри по безопасност.

Специфични случаи на експлоатация на активната зона

3.119 За различните експлоатационни състояния следва да бъдат предварително анализирани очакваните разпределения на енергоотделянето в активната зона и очакваните истории на температурите, които са определящи за съответните експлоатационни режими (следване на натоварването, изменения на мощността, пуск на реактора и презареждане). Оценяването на тези параметри следва да идентифицира ефектите на съответните цикли по мощност и температура върху термомеханичното поведение на ТОЕ (увеличаването на налягането в ТОЕ поради повишено проникване на газообразни продукти от делене в междината между таблетките и обвивката на ТОЕ, както и умора на материала на обвивката).

3.120 Проектът на активната зона следва да осигурява достатъчна способност за управление на реактивността при следване на натоварването и други изменения на мощността, така че да се гарантира баланс между мощността на активната зона и мощността на турбогенератора, както и достатъчна стабилност на разпределението на енергоотделянето в активната зона.



3.121 Експлоатационните предели на активната зона следва адекватно да отразяват локалните отклонения в нивото на енергоотделянето, възникващи по време на режим на следване на натоварването.

3.122 Проектът на ядрената централа следва да улеснява откриването и идентифицирането на повредени горивни касети (ТОК) и ТОЕ. Освен това следва да бъдат определени процедури за установяване на причината за повреда на ТОК и ТОЕ. Необходимите технически средства следва да бъдат проектирани така, че да позволяват определяне на причините за повреда на ТОК и ТОЕ. След установяване на причината за повредата следва да се определят коригиращи мерки.

3.123 Следва да бъдат изготвени подходящи процедури за работа с повредени ТОК, както и експлоатационни предели за активната зона при наличие на повредени ТОК.

3.124 Експлоатацията на активна зона с повредени ТОЕ следва да е в съответствие с определените предели, свързани с активността на определени изотопи в първи контур.

3.125 Проектът на активната зона и планирането на експлоатацията на ядрената централа следва да определят подходящи процедури и предели за работа на активната зона с повредени ТОК. Целта е ограничаване на експлоатацията с нехерметични ТОЕ, което води до намаляване на дозовото натоварване на персонала.

Влияние на проекта и управлението на горивото върху транспорта и съхранението

3.126 Проектните предели на горивото, описани в точки 3.47 – 3.56, следва да включват и изисквания, чието изпълнение гарантира, че ТОЕ и горивните касети остават в състояние, позволяващо съхранението им в приреакторните басейни за отлежаване на касетите (БОК) след тяхната експлоатация. Ключовите параметри по безопасност, които се контролират в периода на експлоатация в активната зона и които могат съществено да повлияят върху състоянието на ТОЕ и ТОК след експлоатация (облъчване в реактора), включват следните характеристики, които следва да бъдат оценени по подходящ начин:

- повишена оксидация и хидриране на обвивката на ТОЕ и превишаване на критериите, определени в проекта на ТОЕ и ТОК. Това може да доведе до забавено хидридно напукване на обвивката на ТОЕ при манипулации или съхранение, или до повреждане на ТОЕ при авария по време на транспорт. Тези ефекти следва да бъдат ограничени или елиминирани в проекта.
- прекомерното триене (фретинг) между ТОЕ и дистанциониращите решетки – в повечето случаи е невъзможно да се открие прекомерно (над проектния предел) локално повреждане на обвивката на ТОЕ, докато износването не премине през цялата дебелина на стената и обвивката не се пробие. За някои ТОЕ, повредени от фретинг износване, може да настъпи локално намаляване на дебелината на стената, което може да доведе до повреждане на обвивката, напр. вследствие на дълготрайно пълзене при съхранение или напрежения в резултат на авария при транспорт. Тези ефекти следва да бъдат ограничени или елиминирани в проекта.
- достижима дълбочина на изгаряне – проектът на горивото, проектите на горивните зареждания и крайното изгаряне на горивото влияят на неговия изотопен състав и вътрешното налягане в ТОЕ. По-високите стойности на дълбочината на изгаряне могат да увеличат изискванията за лъчезащита и охлаждане на горивото при последващи манипулации и съхранение.



ПРЕСМЯТАНИЯ НА ПОДКРИТИЧНОСТТА ПРИ СЪХРАНЕНИЕ НА ГОРИВОТО

Общи изисквания

3.127 Проектът на ядреното съоръжение и на контейнерите за съхранение следва да осигурят спазването на изискванията за подкритичност при преместване, транспортиране, съхранение и разместване на горивото, като включва адекватни неопределености и запаси за всички видове горивни касети от обхващания горивен инвентар.

3.128 Проектът на ядреното съоръжение и на контейнерите за съхранение следва да отчита изискванията, посочени в т.3.127, така че да се гарантира, че стойността на ефективния коефициент на размножение на неутроните не превишава нормативно определените ограничения.

3.129 Стойността на ефективния коефициент на размножение на неутроните следва да бъде определен за обхващания горивен инвентар с прилагане на консервативен подход, т.е. за дълбочина на изгаряне, която води до максимален коефициент на размножение. При пресмятане на стойността на коефициента на размножение на неутроните следва да се извърши анализ на чувствителността, за да се определят стойностите на всички неопределености (конструктивни, изчислителни, методологични и др.).

3.130 При анализите на безопасността, ефектите от неопределеностите (произтичащи от конструкции, размери и условия на съхранение), които могат да увеличат коефициента на размножение, следва да се отчитат по начин, осигуряващ необходимият консерватизъм с достатъчна достоверност. Възможните отклонения от нормалните условия на съхранение по време на аварии следва да се отчитат в анализите.

3.131 Изотопният състав на ядреното гориво, използван в анализите за безопасност по отношение на подкритичността, следва да бъде определен така, че анализите да обхващат с висока степен на сигурност всички възможни данни за облъчването на ядреното гориво. При извършване на оценки на съоръжения за съхранение и системи за манипулиране, предназначени за отработено ядрено гориво, в анализите за подкритичност може да се отчита измереното реално изгаряне на горивото. За всички останали съоръжения за съхранение следва да се приема такова изгаряне, при което реактивността на ядреното гориво е максимална.

Специфични изисквания за съхранение под вода в горивни стелажи в БОК

3.132 В анализите на безопасността за подкритичност се приема, че целият горивен стелаж или друга разглеждана конструкция е запълнен с ядрено гориво, доколкото това е възможно.

3.133 В анализите на подкритичност в басейните за съхранение се оценява възможността за:

- падане на контейнер от възможно най-голяма височина при повдигане и преместване;
- разполагане на касетите в контейнери, стелажи и опаковки, водещо до увеличение на коефициента на размножение на неутроните;
- изменение на геометричната конфигурация на касетите и ТОЕ вследствие на деформации, огъване и промяна в стъпката на разположение на ТОЕ в касетата, водещи до увеличение на ефективния коефициент на размножение на неутроните;
- промяна в плътността на водата (кипене, пароводна смес и др.), вследствие на което се изменя ефективният коефициент на размножение на неутроните;



РЪКОВОДСТВО
за прилагане на изискванията за безопасност при проектиране
на активната зона на реактори с вода под налягане

- загуба на ефективността на хетерогенни или хомогенни поглътители на неутрони;
- влошаване на радиационната обстановка вследствие на изменение на характеристиките на биологичната защитата.

3.134 Анализът на подкритичността се извършва за максимален коефициент на размножение на неутрони за всички разглеждани състояния и в съответствие с изискванията за подкритичност и следните консервативни изисквания:

- отработеното гориво се разглежда като свежо, ако коефициентът на размножение на неутроните се намалява при изгарянето му, с изключение на случаите, когато са изпълнени едновременно следните условия:
 - достигнатата дълбочина на изгаряне се използва като параметър за обосноваване на безопасността;
 - контролът на достигнатата дълбочина на изгаряне се осъществява чрез специални технически средства;
- при наличие на ОЯГ с различни обогатявания се приема, че съхраняваното гориво е с максимално обогатяване, пресмятанията се правят отчитайки специфичните характеристики на посоченото гориво;
- разглежда се максимален проектен капацитет на запълване на съоръженията;
- отчита се такова количество, разпределение и плътност на забавителя, които водят до максимален коефициент на размножение на неутрони;
- приема се наличие на отражател с най-добри характеристики;
- наличието на поглътители в касетите не се отчита;
- за касети, съдържащи изгарящи поглътители на неутрони се приема, че поглътителите отсъстват;
- за съоръжения с хомогенни поглътители, като борен разтвор, се приема, че те отсъстват;
- при изменение на температурата в условията на нормална експлоатация и при изходни събития се разглежда състоянието, което води до максимален коефициент на размножение на неутрони;
- отчита се изменението на геометрията на касетите или тяхното разположение в резултат на изходните събития;
- отчитат се допустимите грешки на методите за пресмятане на концентрации и изотопен състав на поглътителите, както и отклоненията при тяхното производство.

Специфични изисквания за сухо съхранение в контейнери

3.135 Анализите на подкритичността за контейнерите следва да бъдат извършени за условия на проектни аварии и в условия на оптимално забавяне.

3.136 Анализите на подкритичността следва да бъдат извършени за транспортните контейнери за съхранение на свежо и облъчено ядрено гориво.

3.137 Анализите на подкритичността следва да включват събития, свързани с:

- падане на горивни касети в контейнера;



- запълване с чиста вода с максимална плътност и такова технически възможно разпределение на нейното ниво, което води до максимален коефициент на размножение;
- запълване с пяна;
- възможността за образуване на пароводна смес в транспортните контейнери и последващо увеличаване на коефициента на размножение на неутрони при разхлаждане;
- при сухо съхраняване и превозване се отчита възможността за наличие на кондензирана вода в транспортния контейнер.

4 ВЕРИФИКАЦИЯ И ИЗПИТВАНЕ

Общи положения

4.1 За безопасната експлоатация на активната зона и нейните компоненти, системите за управление и защита и системите за контрол през целия експлоатационен срок е необходимо наличието на адекватни програми за верификация, инспекции и изпитвания в процеса на проектиране и експлоатация на оборудването.

4.2 При експлоатация на модифицирани или нов тип горивни касети е необходимо да бъде изготвена процедура за мониторинг и изпитване на активната зона и/или горивото. Програмата следва да обхваща параметрите, които не могат да бъдат надеждно обосновани по друг начин освен чрез пряко измерване на конструкциите, системите и компонентите на активната зона, като се отчита практическата възможност за извършване на подобни измервания.

4.3 Обхватът на процедурите за мониторинг/изпитване следва да бъдат определени в съответните програми за всеки отделен етап (програма за мониторинг на активната зона, физически изпитвания, програма за изследвания на облъчени компоненти и касети). Програмата за изследвания на облъчени компоненти и касети следва да определя параметрите, които могат да бъдат измерени и използвани за съответния тип горивна касета, като визуални инспекции за горивни касети с открити конструкции (без кожух).

ВЕРИФИКАЦИЯ НА ПРОЕКТА

4.4 Програмата за верификация следва да демонстрира способността на активната зона/горивото надеждно да изпълнява своите функции в определения период, като се отчитат граничните условия и допусканията за съответните експлоатационни условия (условия, свързани с налягане, температура, радиационно натоварване, механично натоварване и вибрации). Експлоатационните условия следва да отчитат очакваните отклонения на параметрите във всички състояния.

4.5 Методите за верификация следва да включват:

- изпитвания на типово оборудване, извършени върху представителни конструкции, системи и компоненти на активната зона, които ще бъдат доставени;
- проверки на доставените конструкции, системи и компоненти на активната зона;
- използване на приложим опит от експлоатацията и данни от експерименти;
- анализи, основани на налични и приложими данни от изпитвания;
- директни измервания върху оборудването в експлоатация (където е възможно);
- комбинация от посочените по-горе методи.



4.6 Верификацията на проекта може да се базира на надлежно документиран опит от експлоатацията с аналогично или подобно гориво, като следва да бъде демонстрирана приложимостта на този опит. Областта и степента на валидност на такъв експлоатационен опит следва да бъде ясно определена, а съответните данни от измерванията при експлоатацията оценени. Следва да се определи стойността на максимално достигната дълбочина на изгаряне на горивото и да се сравнят експлоатационната история, измерените характеристики на поведението на горивната касета с определените проектни критерии за механизмите на повреждане и параметри като радиационно индуцирано нарастване, изкривяване, промяна в геометрията, триене и време за падане на органите за регулиране, фретинг, окисление, хидриране и образуване на отлагания.

4.7 Обхватът и методът за измерване при физичните изпитвания при пуск за потвърждаване на неутроннофизичните характеристики на активната зона следва да бъдат определени преди физическия пуск на ядрения реактор с нов тип горивно зареждане, както при първоначален пуск, така и за всеки следващ. Изпитванията следва да включват измерване на ключови параметри по безопасност на активната зона, които могат да бъдат надеждно проверени/измерени (критична концентрация на H_2O_3 , неутронни характеристики на органите за регулиране на системата за аварийна защита, разпределение на мощността, коефициенти и ефекти на реактивността и др.). Получените резултати от измерванията следва да бъдат сравнени с резултатите, получени по аналитичен път, и със стойностите на съответните проектни критерии.

ИНСПЕКЦИИ

4.8 Проектът на ядрената централа следва да позволява идентификация на всяка горивна касета и на всеки компонент на активната зона, както и да осигурява тяхното правилно разполагане и ориентация в активната зона. След първото зареждане на активната зона и след всяко презареждане следва да бъде проверено правилното разположение и ориентация на всяка горивна касета и на всеки компонент на активната зона.

4.9 Средствата за измерване и инспекции на компонентите на активната зона следва да се поддържат в изправно състояние. Проектът на измервателните средства следва да определя експлоатационния им срок, начина на поддръжка и обслужването. Проектът на измервателните средства следва да се основава на най-новите достижения на науката и техниката към момента на проектиране.

4.10 Средствата за измерване и инспекции на компонентите на активната зона следва да бъдат периодично проверявани, за да се гарантира, че точността и приложимостта на измерванията са достатъчни. Измервателната апаратура следва да се поддържа в съответствие с най-новите достижения на науката и техниката.

4.11 Програмата за мониторинг и изпитвания на горивото следва да отчита проектните пределни стойности за горивната касета и горивния елемент, и да определя начини за извършване на контрол (скорост на окисляване и хидриране, деформации на горивната касета и ТОЕ, наличие на външни тела и увреждане на херметичността на ТОЕ и целостта на горивната касета).

4.12 Преди зареждането на горивните касети в контейнерите следва да се извърши проверка за херметичност на ТОЕ .

4.13 Преди зареждането на горивните касети в контейнерите следва да бъдат определени, посредством пресмятания (отчитайки реалната експлоатационна история), измервания или комбинация от тях, за всяка горивна касета:

- дълбочина на изгаряне, определена в съответствие с експлоатационната история на горивната касета;



- количеството дялящи се материали;
- вътрешното налягане в ТОЕ;
- остатъчното топлоотделяне на горивната касета.

ИЗПИТВАНЕ НА ПРОТОТИПИ И ПИЛОТНИ ГОРИВНИ КАСЕТИ (LTA)

4.14 При изпитването на прототипи и LTA-горивни касети в активна зона следва да бъде изготвен график за експлоатация и програма за мониторинг и изпитване на съответната горивна касета и/или компонент на активната зона. За прототип се приема горивна касета или компонент на активната зона, който не е бил експлоатиран до момента в същия тип ядрена централа, т.е. липсват приложим експлоатационен опит и експериментални данни от измервания за неговото поведение.

4.15 Програмата за мониторинг и изпитване на горивни касети/компоненти на активната зона следва да бъде разработена в обем, позволяващ да се провери поведението на горивната касета/компонент при експлоатация в активната зона. Примерно съдържание на подобна програма е даден в Приложение 2 на ръководството. Програмата следва да определи измерванията и методите, които ще бъдат използвани за измерване на параметрите, подлежащи на сравнение с отделните критерии за приемливост. Необходимо е да бъдат определени стойности на очакваните резултати от измерванията и да бъдат сравнени с реално измерените.

4.16 Програмата за мониторинг и изпитване на горивните касети/компоненти на активната зона следва да бъде оценявана след всяка горивна кампания. Оценката на програмата следва да включва сравнение на очакваните (пресметнати) стойности и измерените стойности на наблюдаваните параметри, както и тяхното сравнение със съответните критерии за приемливост. След завършване на дейностите по програмата следва да бъде изготвена цялостна оценка на резултатите, която включва, но не се ограничава до:

- какви са окончателните запаси спрямо критериите за приемливост;
- представителност и обхват на приложимост на получените резултати;
- начина за отчитане на изводите от програмата по отношение на условията за по-нататъшна експлоатация на горивните касети/компоненти на активната зона, тяхната конструкция, изработка, осигуряване на качеството, експлоатация, съхранение и преместване.

Обобщена оценка на програмата за мониторинг и изпитване на горивната касета/компонент на активната зона (LTA, програма за изследвания на облъчени касети и др.) следва да бъде извършена непосредствено след изпълнение на програмата. Оценката следва да включва:

- сравнение на очакваните изменения на стойностите на наблюдаваните параметри с данните от измерванията и стойностите на критериите;
- представителност и приложимост на получените резултати в сравнение с реалните експлоатационни условия;
- изводи относно резултатите от изпитванията и съответствието им с целите на програмата;
- обратна връзка от експлоатационния опит и последващи мерки за безопасност, включително препоръките за продължаване на експлоатацията или изпитванията.

4.17 Преди всяко първо зареждане на активната зона с нов тип горивни касети или компонент на активната зона, съответният прототип или избраната група пилотни касети (LTA) следва да бъдат подложени на измерване на началното им състояние в обем,



необходим за изпълнение на целите на изпитването (т.нар. предварителна характеристика – измерване на масата, геометрията, както е посочено в проектната документация и документацията, предоставена след транспортиране до ядрената инсталация). Следва да бъдат определени и неутроннофизичните, термохидравличните и механичните условия, при които съответният прототип или ЛТА/КСК ще бъдат експлоатирани през следващата кампания. След всяка кампания действителните експлоатационни условия за ЛТА/КСК следва да бъдат оценени и сравнени с очакваните експлоатационни условия. В случай на съществени разлики следва повторно да бъде оценена валидността на допусканията на програмата за изпитване или да бъде променен съответният график за експлоатация, така че да бъдат изпълнени целите на програмата за мониторинг и изпитване.

4.18 Проектът на прототипа на горивната касета или на компонента на активната зона следва да предвижда мониторинг, изпитвания и инспекции, с цел да се демонстрира, че активната зона, горивната касета, компонентите на активната зона, вътрешнокорпусните устройства и системите за управление и аварийна защита са способни да изпълняват своите проектни функции и функциите на безопасност през целия им срок на експлоатация.

4.19 Изпитванията и измерванията на прототипите на горивните касети/компонентите на активната зона извън реактора (в изпитателни стендове, в изпитателни контури, в басейна за отлежаване на касетите и в горещи камери) следва да се извършват, когато това е практически възможно, с цел определяне на действителните им характеристики (механични, термохидравлични и др.). Това включва следните видове изпитвания:

- измерване на натоварването на дистанциониращите решетки;
- механични и функционални измервания на подвижността на органите за управление;
- конструктивни механични изпитвания на горивната касета (латерална, аксиална и усукваща твърдост, измерване на честоти, амплитуда и характеристики на затихване на вибрациите);
- измерване на хидравличните характеристики на горивната касета (хидравлично съпротивление, общи и локални хидравлични загуби, проверка на валидността на корелациите за критичен топлинен поток, подедни сили, хидродинамични вибрации и фретинг на органите за управление, вибрации на горивната касета, фретинг на горивните елементи с отчитане на очакваната релаксация на контактните пружини в дистанциониращите решетки, износване и оценка на общия срок на служба на горивната касета/компонент на активната зона, сеизмична устойчивост, устойчивост на напречен поток и др.)

4.20 По време на изпитванията в условия на облъчване, постигнатата дълбочина на изгаряне следва да бъде в съответствие с проектната дълбочина на изгаряне, флуенса или експлоатационната история за новия тип горивни елементи (горивни касети) или компонент на активната зона. По време на изпитванията следва да бъдат измервани следните параметри:

- радиационно индуцирано нарастване и промени във външния диаметър на ТОЕ и компонентите на активната зона;
- окисление и хидриране на ТОЕ, дистанциониращите решетки, направляващите тръби и др.;
- фретинг между дистанциониращата решетка и ТОЕ;
- нарастване, изкривяване и завъртане на горивната касета;
- аксиално нарастване и изкривяване на ТОЕ;



- външни признаци на механично взаимодействие между таблетките и обвивката на ТОЕ;
- нехерметичност или външни повреди на обвивката на ТОЕ;
- релаксация на притискащите пружини на горивната касета и на контактните пружини на дистанциониращите решетки;
- фретинг и отказ на направляващите тръби на горивната касета.

4.21 Когато не е възможно да се извършат изпитванията на нов тип горивна касета или компонент на активната зона в реактора или на изпитателен стенд, специално внимание следва да се обърне на аналитичните методи за оценка на съответните проектни критерии и на последващите планове за мониторинг и инспекция на горивото, така че да се осигури съответствие с функционалните изисквания и изискванията на безопасност за горивните касети/компоненти на активната зона.

4.22 Активната зона, в която са разположени ЛТА-горивни касети, се счита за смесена активна зона и следователно са приложими изискванията за смесена активна зона.

5 ИЗИСКВАНИЯ ЗА СМЕСЕНАТА АКТИВНА ЗОНА

ОБЩИ ПОЛОЖЕНИЯ

5.1 Модификациите на горивни касети следва да бъдат обосновани с приложими анализи, експериментални изследвания и наличен експлоатационен опит. Следва да се вземат предвид потенциалните ефекти на ЛТА гориво върху анализите на безопасността на ядреното съоръжение. При извършване на съществена модификация на използвания тип гориво следва да се извърши подробен преглед на проектната документация, отнасяща се до модификацията, и да се извършат необходимите сравнителни анализи, както и да се оцени влиянието на модификацията върху поведението на ядреното гориво. Необходимо е да се осигури съвместимостта на модифицираното гориво с реактора и останалите системи на централата. Следва да се анализират и потенциалните ефекти на модификацията върху анализите на безопасността на централата.

5.2 Ограничен брой ЛТА горивни касети, които не са преминали представително изпитване, могат да бъдат разположени в нелимитиращи области на активната зона. Пилотните горивни касети се ограничават до такива конфигурации на горивото, които са анализирани с приложими валидирани и верифицирани кодове и методи, и за които чрез изпитвания или анализи е показано съответствие с всички проектни основи за безопасност на горивото. Представително изпитване означава изпитване, необходимо за пълно характеризиране на свойствата и поведението на облъчените материали. Съответно, ЛТА касети могат да включват характеристики с различни механични или материални проектни спецификации в сравнение с одобрените за неограничено използване съвместно разположени горивни касети.

5.3 Наличието на ЛТА горивни касети в активната зона не следва да води до промени в пределите, съдържащи се в отчета за анализ на безопасността и технологичния регламент на съответния блок, да оказва неблагоприятно въздействие върху поведението на съвместно експлоатираните горивни касети или да възпрепятства способността на системите, конструкциите и компонентите, важни за безопасността, да изпълняват предназначения си функции. При необходимост следва да се прилага достатъчен запас до криза на топлообмена с необходимите ограничения, за да се отчетат допълнителните неопределености, свързани с очакваното поведение на ЛТА горивните касети. Тези ограничения следва да отчитат съществуващите регулаторни изисквания и проектни



критерии, наличния запас спрямо тези критерии, както и всяка неопределеност, произтичаща от липсата на експлоатационен опит в реактора.

5.4 Определените нелимитиращи области на активната зона следва да бъдат потвърдени с помощта на оценка, която да демонстрира, че разположението на ЛТА горивни касети в активната зона с отчитане на техните експлоатационни параметри (например плътност на мощността), осигурява по-големи термохидравлични и механични запаси до съответните проектни и експлоатационни предели в сравнение с останалото гориво при нормална експлоатация, очаквани експлоатационни събития и постулирани аварии. Оценката следва да покаже, че поведението на ЛТА горивни касети няма да оказва влияние върху функционирането на свързаните с безопасността конструкции, системи и компоненти (т.е. върху способността им да изпълняват предназначенияте функции по безопасност). Тази оценка следва да демонстрира, че при експлоатационни състояния и аварии без стопяване на гориво (включително аварии със загуба на топлоносител) поведението на ЛТА горивни касети няма да оказва неблагоприятно въздействие върху поведението на останалото гориво и да потвърди, че проектните основи, включително анализите за безопасност, пределите и приложимите условия, ограничения и изисквания, остават приложими и ограничаващи.

5.5 За обосноваване на безопасността на проектните основи на ЛТА горивни касети следва да се използват утвърдени методи, когато това е възможно. В случаи, че не съществуват утвърдени методи (напр. специфични за ЛТА горивна касета корелации за критичен топлинен поток) следва да бъде извършена консервативна оценка на ЛТА, като се използва обоснована инженерна преценка и аналитични кодове и методи, отразяващи утвърдени инженерни принципи. Анализите на безопасността на проектните основи на ЛТА гориво следва да демонстрират, че ЛТА касети няма да превишат проектните предели след последния си експлоатационен цикъл.

5.6 С цел постигане на ограниченията в отчета за анализ на безопасността на съответния блок, оценката за експлоатация на ЛТА горивни касети следва да потвърди, че лимитиращите анализи на безопасността, включително за радиологичните последствия, остават приложими и ограничаващи.

5.7 Зареждането на ЛТА горивни касети с отчитане на очакваните им характеристики не следва да водят до съществени изменения в отчета за анализ на безопасността или в пределите, определени в технологичния регламент на съответния блок.

5.8 Проектът на ЛТА горивни касети следва да дава достатъчна увереност, че регулаторните изисквания, свързани с поведението на горивото при очаквани експлоатационни събития и аварии, са изпълнени с достатъчен запас, като се отчита ограниченият експлоатационен опит в реактора или пропуски в степента на характеризиране на свойствата и характеристиките на облъчените касети. В подобни случаи може да се достигне до необходимост от осигуряване на по-голям запас до криза на топлообмена и/или намаляване на броя на зарежданите ЛТА горивни касети.

АНАЛИЗИ НА ПРОЕКТНИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА СМЕСЕНАТА АКТИВНА ЗОНА

5.9 За всички използвани в активната зона типове гориво, дори когато доставчиците на горивото са различни, следва да се проведе пълен набор от анализи съгласно изискванията на т. 2.42, освен ако не е демонстрирано (например чрез усъвършенстван метод, основан на по-нови и по-точни експерименти) и обосновано друго.

5.10 Проектът на смесената активна зона следва да включва пресмятане на преразпределението на пада на налягането между новия и текущия тип горивна касета,



което се използва за определяне на силата, приложена върху притискащата пружина на горивната касета. Притискащите сили на пружините следва да бъдат проектирани така, че да предотвратяват повдигане на горивната касета и в същото време да не причиняват увреждане на геометричната стабилност на горивната касета (загуба на устойчивост при натиск).

5.11 Проектът на смесената активна зона следва да предотвратява прекомерни деформации на геометрията на горивните касети и да не допуска превишаване на предварително определената проектна разлика в хидравличното съпротивление на горивните касети от различни типове (по-специално на новия тип горивна касета, разположена до текущия тип горивна касета).

5.12 Проектът на новия тип горивна касета следва да включва оценка на зависимостта на вибрациите на отделните компоненти от изгарянето, зависимостта на фретинга от интензивността на вибрациите, като се вземат предвид условията в смесената активна зона. ЛТА горивни касети не следва да се експлоатират извън одобрения предел по изгаряне на горивото (или флуенс), определен в лицензионната основа.

5.13 Обхващащото зареждане на смесената активна зона следва да включва пресмятания на потока на топлоносителя около отделните горивни елементи. Потокът следва да бъде охарактеризиран чрез разположението на горивната касета и разпределението на потока на топлоносителя в активната зона. Пресмятанията на потоците следва да обхващат най-неблагоприятните възможни варианти на разпределение на потока на топлоносителя в активната зона и около ТОЕ, осигурявайки достатъчен консерватизъм.

5.14 Обхващащото зареждане следва да включва пресмятания за определяне на големината на възбуждащите сили, прилагани към отделните типове горивни касети, разположени заедно в активната зона. Резултатите от пресмятанията, извършени за всички типове горивни касети, разположени в активната зона, следва да бъдат потвърдени чрез експериментални измервания на честотите на горивните касети.

5.15 Различният брой смесващи и дистанциониращи решетки в новия тип горивна касета в сравнение с текущия тип предизвиква промяна в големината и разпределението на хидравличното съпротивление, което води до изменение на разпределението на напречния поток на топлоносителя в активната зона и на потоците в самата горивна касета. Голяма разлика в хидравличното съпротивление може да доведе до съществено намаляване на дебита, по-специално на локалните потоци при отделните типове горивни касети, което намалява стойността на запаса до криза на топлообмена. Дебитът на потоците и напречният поток следва да бъдат експериментално проверени, анализирани и оценени. За целите на пресмятането на запаса до криза на топлообмена, при липса на експериментални данни за локалните стойности на потоците през смесената активна зона, дебитите следва да бъдат определени чрез консервативен подход или пресметнати с използване на валидиран компютърен код. Въздействието на преразпределението на скоростите на потоците върху запаса до криза на топлообмена следва да бъде оценено, като тази оценка следва да включва изисквания към режима на експлоатация на реактора (в този случай обикновено така наречените корекционни коефициенти за пределите на мощността на ТОЕ), които да осигуряват съответствие с критериите за запаса до криза на топлообмена за смесената активна зона.

5.16 Ако типовете горивни касети, експлоатирани едновременно в смесената активна зона, имат различна структурна якост, проектът следва да включва пресмятания на силите върху горивната касета в условията на авария и да определи степента на деформация на геометрията на горивната касета, както и да демонстрира изпълнението на фундаменталните функции по безопасност. Комбинацията от изкривявания на отделните



типове горивни касети не следва да ограничава възможността за падане на работните органи на системата за аварийна защита на реактора или да причинява тяхното засядане в направляващата тръба. Анализите или експерименталните данни следва да демонстрират, че геометричните размери на горивната касета не се компрометират и че фундаменталните функции по безопасност се изпълняват.

5.17 Задържащите сили на пружините на горивната касета следва да бъдат определени така, че да притискат достатъчно всички типове горивни касети към опорната плоча, с цел осигуряване защита срещу повдигане на горивната касета във всички състояния. Едновременно с това тези сили не следва да причиняват изкривяване на горивните касети от всички типове, разположени в активната зона, водещо до нарушаване на фундаменталните функции по безопасност.

5.18 За целите на анализа на безопасността при аварии със загуба на топлоносител, е необходимо да се включат нехомогенностите, произтичащи от смесената активна зона, за най-неблагоприятната конфигурация.

НЕУТРОННОФИЗИЧНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА СМЕСЕНАТА АКТИВНА ЗОНА

5.19 Проектът на активната зона следва да отразява всички изменения в геометрията, материалите и експлоатацията, свързани с внедряването на нов тип гориво. Например, промяна в конструкцията на горивната касета или на горивния елемент може да доведе до промяна във водно-урановото съотношение, изменяйки (изкривявайки) неутронния поток на границата между различните типове гориво.

5.20 Пресмятанията следва да включват по адекватен начин всички нехомогенности на границите на отделните типове гориво, които могат да доведат до неочаквана промяна в плътността на неутронния поток и в разпределението на енергоотделянето в активната зона или до загуба на валидността на използваните изчислителни методи. Проектът на активната зона следва адекватно да отчита ефектите от използването на различни типове и разположения на изгарящи погълтители, конструкционни материали и различно термохидравлично поведение на каналите върху разпределението на температурите. В частност, следва да бъдат отчетени влиянията върху проектните неопределености на критичните параметри.

5.21 Ако в проекта на горивното зареждане се използват изгарящи погълтители, моделите следва да отразяват хода на тяхното изгаряне и въздействието му върху съседните горивни касети и цялата активна зона. Едновременно с това, ефектът от високия градиент на неутронния поток, предизвикан от наличието на изгарящ погълтител, следва да бъде включен в неопределеностите на вътрешнокорпусните измервания.

5.22 Ефектите на смесената активна зона, описани по-горе следва да бъдат доказуемо отчетени в моделите и за коефициентите на неравномерност и техните неопределености, използвани в системите за мониторинг на разпределението на енергоотделянето.

5.23 Ако конструкцията на новия тип горивна касета се различава от другите типове гориво по височината на горивния стълб от таблетки в горивния елемент и по размера на аксиалния бланкет (горивния стълб от таблетки уранов оксид, произведени от природен уран), което води до промяна на допусканията за аварийните анализи, новите горивни касети следва да бъдат зареждани поетапно и с ограничен брой в активната зона. С това се цели да се минимизират аксиалните нехомогенности, причинени от зареждането на такива различни ТОК.



5.24 При пресмятанията, извършвани в рамките на анализите, следва да се използват подходящи компютърни кодове и доказани библиотеки, които отчитат новите типове ТОК. Анализите следва да включват оценка на изчислителните неопределености, използваните методи на компютърните кодове и анализ на чувствителността. Използваните компютърни кодове и библиотеки следва да бъдат валидирани и верифицирани.

5.25 Проектът на смесената активна зона следва да включва анализи, извършени за всички състояния на ядрено съоръжение, които определят максималните стойности на ключовите параметри по безопасност в зависимост от типа гориво и, при необходимост, да ограничават стойността на глобалната и локалната плътност на енергоотделянето в активната зона.

ТЕРМОХИДРАВЛИЧНИ СВОЙСТВА НА СМЕСЕНАТА АКТИВНА ЗОНА

5.26 Термохидравличните характеристики на новия тип горивна касета или горивен елемент следва да бъдат максимално идентични до експлоатираните ТОК и ТОЕ.

5.27 Общото хидравлично съпротивление на новите ТОК следва да минимизира неблагоприятното въздействие върху входните параметри за изчисленията в оценката на безопасността на настоящите ТОК. Всяка промяна в хидравличното съпротивление на новата ТОК в сравнение с настоящата ТОК, която влошава входните параметри за изчисленията в анализите на безопасността, следва да бъде подробно анализирана и оценена.

5.28 Подемните сили следва да бъдат изчислени за новия тип ТОК при най-тежките хидравлични условия, т.е. при повишаване на оборотите (честотата на въртене) на главните циркуляционни помпи в студено състояние, горещо състояние, минимално контролируемо ниво на мощност и номинални параметри.

5.29 При хидравлично съпротивление на новия тип горивни касети, различно от това на настоящите касети, термохидравличните анализи следва да отчетат преразпределението на потока на топлоносителя в активната зона (изчисляване на запаса до криза на топлообмена, векторите на дебита на топлоносителя и разпределението на енталпията на топлоносителя).

5.30 Анализът на безуплътнителните (seal-free) конструкции на ТОК следва да включва изчисления на напречния поток между отделните ТОК от различни типове. Анализите следва да демонстрират достатъчно охлаждане на отделните ТОЕ и че механичните натоварвания върху ТОЕ и ТОК не се увеличават до ниво, което надвишава проектните граници. Изчисленията на напречните потоци следва да бъдат подкрепени с експериментални данни, получени от изпитване на новата пилотна ТОК.

5.31 Ефектът на хидравличните натоварвания следва да бъде оценен за всички типове горивни касети, разположени в активната зона. Методологията за изпитване и изборът на условия следва да осигурят съответствие с проектните предели за всяка ТОК, разположена в активната зона, със запас, гарантиращ, че проектните предели не се превишават за всички ТОК, разположени съвместно в активната зона.

СИСТЕМИ ЗА АВАРИЙНО СПИРАНЕ НА ЯДРЕНИЯ РЕАКТОР И СИСТЕМИ ЗА УПРАВЛЕНИЕ И МОНИТОРИНГ НА АКТИВНАТА ЗОНА

5.32 Системите за мониторинг и управление на активната зона следва да бъдат настроени така, че да могат да измерват и идентифицират всички промени във важните параметри за всички типове горивни касети, разположени в активната зона с цел да се гарантира, че проектните предели за горивото не се превишават. Освен това следва да бъде оценен



РЪКОВОДСТВО
за прилагане на изискванията за безопасност при проектиране
на активната зона на реактори с вода под налягане

ефектът от различните типове горивни касети и горивни елементи върху точността на измерването и върху способността за идентифициране на всяка промяна на важните параметри.

5.33 При първо зареждане на смесена активна зона, съществуващата програма за физически пускови изпитвания следва да бъде преразгледана по отношение на това дали нейният обхват е достатъчен или се налага промяна (разширение).



6 ПРЕПРАТКИ, ИЗПОЛЗВАНИ ДОКУМЕНТИ

- [1] Закон за безопасно използване на ядрената енергия (ЗБИЯЕ);
- [2] Наредба за осигуряване безопасността на ядрените централи;
- [3] Наредба за осигуряване безопасността при управление на отработено ядрено гориво;
- [4] Наредба за реда за издаване на лицензии и разрешение за безопасно използване на ядрената енергия;
- [5] International Atomic Energy Agency, Safety Standards for protecting people and the environment, Safety of Nuclear Power Plants: Design, Specific Safety Requirements, No. SSR-2/1 (Rev. 1), IAEA, Vienna (2016);
- [6] International Atomic Energy Agency, Design of the Reactor Core for Nuclear Power Plants, IAEA Specific Safety Guide No. SSG-52, IAEA, Vienna (2017);
- [7] International Atomic Energy Agency, Operation and Licensing of Mixed Cores in Water Cooled Reactors, IAEA TECDOC Series TECDOC No. 1720, IAEA, Vienna (2013);
- [8] WENRA Safety Reference Levels for Existing Reactors 2020, WENRA RHWG, 17th February 2021;
- [9] Ръководство „Детерминистичен анализ на безопасността на ядрени централи с реактори с вода под налягане“, РР-5/2022;
- [10] Design of the Pressurized Water Reactor Core, SÚJB Safety guides, BN-JB-3.2 (Rev. 0.1), 2017.



7 ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Обхващащо зареждане	Зареждане на активната зона, което е най-консервативно в дадения контекст измежду всички възможни варианти и с чиито параметри се извършват анализи на безопасността (т.е. зареждането е достатъчно консервативно, за да обхване всички очаквани реални зареждания)
Обхващащ горивен инвентар	Инвентар от горивни касети, който е най-консервативен в дадения контекст по отношение на безопасността при съхранение и транспорт на ядрено гориво
Коефициент на реактивността	Изменение на реактивността, отнесено към единично изменение на избран параметър на състоянието на реактора (напр. температура или плътност на даден компонент на реакторната среда и т.н.) при постоянство на всички останали параметри, с възможно отчитане на измененията на параметри, технологично свързани с изчисленията.
Ефект на реактивността	Изменение на реактивността, причинено от дадено изменение на избран параметър на състоянието на реактора (напр. температура или плътност на даден компонент на реакторната среда и т.н.) при постоянство на всички останали параметри, с възможно отчитане на измененията на параметри, технологично свързани с изчисленията.
Експлоатационни състояния	Експлоатационни състояния са състоянията на нормална експлоатация и очаквани експлоатационни събития
Криза на топлообмена	Явление, при което ефективността на преноса на топлина рязко спада, когато топлинният поток превиши определена критична стойност, наричана критичен топлинен поток.
Фретинг износване	Локално износване, причинено от повтарящо се осцилаторно движение с малка амплитуда между повърхности, които нормално са в покой.
Фретинг корозия	Фретинг износване ускорено или модифицирано от химическа реакция с околната среда.



8 ИЗПОЛЗВАНИ СЪКРАЩЕНИЯ

АЕЦ	Атомна електроцентрала
АЯР	Агенция за ядрено регулиране
БОК	Басейн за отлежаване на касетите
КСК	Конструкции, системи и компоненти
НОБЯЦ	Наредба за осигуряване безопасността на ядрените централи
МААЕ	Международна агенция за атомна енергия
ОР СУЗ	Орган за регулиране от системата за управление и защита на реактора
РР	Регулиращо ръководство
СУЗ	Система за управление и защита на реактора
ТОЕ	Горивен елемент
ТОЕГ	Горивен елемент с изгарящ поглътител
ТОК	Горивна касета
LTA	Lead Test Assemblies / Пилотни касети



ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Въпроси, които следва да бъдат обхванати при проектирането на ТОЕ, ТОК, работните органи на системата за аварийна защита на реактора, неутронни източници, хидравлични тапи и други компоненти на активната зона (напр. кластери на ОР СУЗ)

Проектът на горивния елемент следва да включва анализи за:

Обвивките на ТОЕ

- Фретинг и вибрации на ТОЕ (фретинг между ТОЕ и дистанциращата решетка);
- Механичните свойства на обвивката на ТОЕ след облъчване;
- Материалните и химичните свойства;
- Напреженията от корозия;
- Цикличните напрежения и умората на материала;
- Геометричната и химичната стабилност на обвивката на ТОЕ след облъчване.

Материали на таблетките, работните органи и изгарящите погълтители

- Геометричната стабилност на облъчените таблетки;
- Температурното уплътняване на таблетките (кинетика и скорост на уплътняване);
- Химичните взаимодействия между обвивката на ТОЕ и таблетките;
- Количеството на газообразните продукти на делене и тяхното разпределение в таблетката;
- Кинетиката на освобождаване на газообразните продукти на делене;
- Плавното набъбване;
- Термо-механичните свойства след облъчване;
- Микроструктурните изменения като функция от облъчването.

Свойства на ТОЕ

- Температурите и температурното разпределение в таблетката и в обвивката на ТОЕ;
- Кинетиката и хлабините между таблетката и обвивката на ТОЕ;
- Ефектите от облъчването върху поведението на ТОЕ (напр. пренареждане на фрагментите на таблетките, напукване на таблетките, набъбване на твърдите и газообразните продукти на делене, освобождаване на газообразни продукти на делене и повишаване на налягането в ТОЕ, влошаване на топлообмена през обвивката на ТОЕ);
- Изкривяването на ТОЕ;
- Удължаването (растежа) на ТОЕ.
- Анализите следва да бъдат извършвани с използване на валидирани аналитични модели и/или експериментални данни (получени от изследователски съоръжения или от експлоатационен опит, напр. ЛТА-горивни касети). Моделите следва да позволяват симулиране на изгарянето на горивото.

Проектът на работните органи на системата за аварийна защита на реактора следва да включва анализи на следното:



РЪКОВОДСТВО
за прилагане на изискванията за безопасност при проектиране
на активната зона на реактори с вода под налягане

- Вътрешното налягане и свързаните с него напрежения в обвивката на поглъщащия елемент при експлоатационни състояния и при аварии без стопяване на гориво;
- Термичното разширение и набъбването вследствие на облъчване;
- Измененията в поглъщащия материал и в обвивката на поглъщащия елемент вследствие на облъчване;
- Ефектите от фретинга върху якостта на обвивката на поглъщащия елемент.

Проектът на неутронните източници следва да включва анализи на следното:

- Ефектите от облъчването;
- Ефективността, включително ефектите от засенчване от периферните горивни касети;
- Външни въздействия (напр. земетресение);

Проектът на хидравличните тапи и на кластери на ОР СУЗ следва да включва анализи на следното:

- Взаимодействията с направляващите тръби вследствие на термично разширение или набъбване от облъчване;
- Ефектът от фретинга върху якостта на направляващите тръби.



Програма за мониторинг и изпитване

- Сравнение на прогнозните и измерените експлоатационни характеристики на ТОЕ/ТОК при пуск на блока (по време на пусковите физични експерименти) и през цялата текуща кампания (през не повече от 10 ефективни денонощия).
- При изпитване на спускането на работните органи – регистриране на хода и общото време на спускане на всички работни органи, като по този начин се верифицира изпълнението на функцията по безопасност на горивната касета и работните органи, коректното функциониране на индикатора за положение и геометричната стабилност на направляващите тръби.
- Гама-спектрометричен анализ на топлоносителя по време на кампанията и след спиране на блока с цел откриване на наличие на разхерметизирани ТОЕ.
- Изпитване на триенето на работните органи при демонтаж и повторен монтаж на реактора.
- Онлайн сипинг и/или офлайн контрол на херметичността на обвивката на ТОЕ за откриване на нехерметични горивни касети, които впоследствие могат да бъдат допълнително проверени или изпитани (напр. чрез ултразвуков контрол).
- Регистриране на усилията, прилагани от презареждащата машина при зареждане на гориво и по време на манипулиране на горивните касети и компонентите на активната зона, с цел защита на горивните касети и компонентите на активната зона от повреди при манипулиране (фретинг, заклиняване, разкъсване и др.) и с цел откриване на всякакви прекомерни деформации на горивните касети и компонентите на активната зона.
- Проверка на съответствието на проектните допускания с действителното поведение на горивната касета и ТОЕ в активната зона. Тази проверка може да бъде извършена например чрез:
 - Инспектиране на нехерметични горивни касети с цел определяне на причините и степента на повреда на ТОЕ (фретинг, производствени дефекти и др.) чрез визуален контрол с камера, ултразвуков контрол или друг наличен метод за определяне на местоположението и идентифициране на механизма на повреда на нехерметичния ТОЕ;
 - Идентифициране на горивни касети, представителни за всеки от типовете горивни касети, експлоатирани в активната зона, чрез последващо измерване на тяхната геометрия след изваждане от активната зона. В частност това включва измерване на усукването, изкривяването и аксиалното удължаване на ТОЕ и горивната касета;
 - Инспектиране на горивните касети за установяване на наличие и степен на хидриране и окисляване на обвивката на ТОЕ чрез визуален контрол или с използване на други налични методи;
 - Изпитване на съединението на окачващия/вмъкнатия прът с органите за управление.