БЕЛОЯРСКАЯАТОМНАЯСТАНЦИЯ

Направахрукописи

КОЗМАНОВЕвгенийАлександрович

ОБОСНОВАНИЕРЕСУРСНЫХХАРАКТЕРИСТИКЭЛЕМЕНТОВ

АКТИВНОЙЗОНЫПОРЕЗУЛЬТАТАМИХЭКСПЛУАТАЦИИВ

РЕАКТОРЕБН

СпециальностьЯдерныеэнергетическиеустановки

включаяпроектированиеэксплуатациюивыводизэксплуатации

Диссертациянасоисканиеученойстепеникандидататехническихнаук

Научныйруководитель Доктортехническихнаук

д профессорАИКарпенко

Заречный

Оглавление

Стр

Списоксокращений 

Введение 

ГлаваУсловияработыэлементовактивнойзоныреактораБНЗадачи

послереакторныхисследований И

ЛОсобенностиэксплуатациибыстрогореактораиусловияработыэлементов

активнойзоны 

 Развитиереакторныхтехнологий У 

 Целиизадачипослереакторныхисследований 

Выводыиосновныерезультатыглавы 

ГлаваИсследованиеконструкционныхматериаловиэлементовактивнойзоны

быстрыхреакторов 

ЛМетодическоеиаппаратурноеобеспечениепервичныхпослереакторных

исследованийнаБелоярскойАЭС 

 Базаданныхсоставструктурафункционирование 

АрхитектураИнформационнопоисковойсистемы 

Структураинформационнойбазы 

Возможностиобработкиипредставленияданных 

радиационныхизмененияхвсталяхвнейтронномполебыстрогореактора

 Способыконтроляресурсныххарактеристик 

 Критериипредельногосостоянияимодельрасчетнойоценкиостаточного

ресурса 

 Направленностьметодикпослереакторныхисследований 

Визуальныйконтроль 

ГеометрическийобмерсбороквБВ 

ГеометрическийобмерэлементоввГК 

Гаммасканирование 

Электропотенциальныйметод 

КоррозионныенаблюдениявБВ 

Выводыиосновныерезультатыглавы 

ГлаваЭксплуатационныесвойстваэлементовреактораБН 

ШтатныеиэкспериментальныеТВС 

 Чехловаятруба 

 Оболочкатвэл 

з

 Смешанноеуранплутониевоетопливо 

СтержниигильзыСУЗ 

 РесурсныеитехнологическиехарактеристикиоргановСУЗ 

 ШтатныестержниСУЗ 

КомпенсирующиестержнисбВ 

РегулирующиестержнисбА 

Стержниаварийнойзащитысбсб 

 СтержниСУЗновогопоколения 

 СтержниАЗсрефабрицированнымкарбидомбора Ь 

 ГильзыСУЗ 

 Послереакторноехранение 

Выводииосновныерезультатыглавы 

ГлаваПовышениеэкономичностиэксплуатацииактивнойзоны 

 Основныенаправления 

Повышениевыгораниятоплива 

Надежностьиинтенсивностьпроцессаэксплуатации 

Обслуживаниерадиоактивныхотходов ■

 ПродлениересурсанаправляющихтрубиисполнительныхмеханизмовСУЗ

НаправляющиетрубыСУЗ 

ИсполнительныемеханизмыСУЗ 

 Обсуждениерезультатов 

Выводыиосновныерезультатыглавы 

Заключение 

Списоклитературы 

СПИСОКСОКРАЩЕНИЙ

РУреакторнаяустановка

БВбассейнвыдержки

БРбыстрыйреактор

ТВСтепловыделяющаясборка

эфсуткиэффективныесутки

снасмещениенаатом

СУЗсистемауправленияизащиты

татяжелыхатомов

МКмикрокампания

ОТВСотработавшаятепловыделяющаясборка

ЭТВСэкспериментальнаятепловыделяющаясборка

СтерженьАЗстерженьаварийнойзащиты

СтерженьАЗПстерженьаварийнойзащитыпетлевой 

КСкомпенсирующийстержень

регулирующийстержень

Введение

ВСтратегииразвитияатомнойэнергетикиРоссиивпервойполовиневекаотмечаетсячтотолькобыстрыереакторыпозволятразвиватьядернуюэнергетикубольшогомасштабабезограниченияпотопливнымресурсамБыстрыереакторыимеюточеньважныепреимуществавсохраненииокружающейсредыносдругойсторонынеудовлетворительныестоимостныепоказателиМожновыделитьследующиенаправленияпокоторымбыстрыереакторыполучатдополнительныйимпульссвоегоразвитияповышениебезопасностиулучшениетехникоэкономическиххарактеристикиспользованиеуранплутониевоготопливаиотработкатехнологиизамкнутоготопливногоцикласвыжиганиемрадиотоксичныхмладшихактинидовизотработавшеготопливатепловыхреакторовЧастьзадачпоэтимнаправлениямвозложенанареакторБНвпланесовершенствованияпроектапрототипабыстрогореакторановогопоколения

РеакторБНуспешноэксплуатируетсянаэнергоблоке№БелоярскойАЭСужевтечениелетОднойизважнейшихсоставныхчастейреакторнойустановкиявляетсяактивнаязонавомногомопределяющаябезопасностьиэкономичностьееработыНапервомэтапеэксплуатацииТВСстержниигильзыСУЗнеобеспечивалипроектныхпоказателейпонадежностииресурсуработыпопричинеинтенсивногорадиационногораспуханияидеградациимеханическихсвойствматериаловконструкцииРесурсработыпришлосьснижатьдляТВСвразаивразадлястержнейигильзСУЗ

ЗавремяэксплуатацииактивнаязонареактораБНпретерпелатримодернизациикоторыебылисвязанысоптимизациейрежимовэксплуатациидлясоответствияпроектнымтребованиямЭтиработыпозволилиреализоватьвштатномрежимеконцепциюэксплуатацииактивнойзоныМстаблеточнымурановымтопливомсмаксимальнымвыгораниемтопливатаОбеспечениеэтогорежимаэксплуатациипроведенозасчетустановленноговпроцессепослереакторныхисследованийрезерватехнологическиххарактеристикматериалаоболочечныхичехловыхтруббезпринципиальныхизмененийконструкцииТВСПараллельнобылизавершеныработыпоувеличениюресурсастержнейигильзСУЗ

ДлясовершенствованияконструкционныхматериаловиуспешнойэксплуатацииактивнойзонытребуютсянадежныеэкспериментальныеданныеповлияниюнаэлементыактивнойзоныстационарныхипереходныхрежимовэксплуатацииСэтойцельюпроводятсяреакторныеиспытанияспоследующейоценкойработоспособностицелогорядаэкспериментальныхимодернизированныхэлементовреактораСамымпростымиинформативнымспособомопределениявлиянияфакторовэксплуатациинасвойстваматериаловивнутриреакторныхконструкцийбылоиостаётсяпроведениемассовыхнеразрушающихпослереакторныхисследований

ПрактикапоказываетнеобходимостьразработкикритериевиалгоритмовотбораматериаловактивнойзоныБРиоценкиихсвойствНеобходиморазрабатыватьсредстваиметодыисследованийкоторыепозволяютвоптимальныесрокиобеспечитьрезультатыпроцессаэволюционногоразвитияреакторныхизделийтаккакнасегодняпроцессвнедренияновыхматериаловтребуетвременисравнимогососрокомслужбыреактора

АктуальностьработыопределяетсязадачамиразвитиятехнологииБР

УСозданиебазыконструкционныхматериаловактивнойзонычтовключаетвсебя

 критериииалгоритмыотбораматериалов

 постановкареакторныхиспытаний 

 средстваиметодыпослереакторныхисследований

 контрольсостояниявнутриреакторныхэлементов

УПовышениенадежностииэкономичностиэксплуатацииреакторнойустановки

УПовышениересурсныххарактеристиквнутриреакторныхэлементов

ДляполноценногоуправленияресурснымихарактеристикамидолженбытьреализованвсестороннийконтрольсостоянияэлементовПовышениевыгораниятопливаявляетсянаиболееэффективнымспособомулучшенияэкономическихпоказателейреакторааувеличениесрокаслужбывнутриреакторныхэлементовспособствуетэкономическойэффективностииэкологическойчистотепроизводствазасчетсниженияобъемарадиоактивныхотходовисокращениявремениремонтныхработиперегрузочныхопераций

ОптимизацияреакторнойтехнологиипозволитзакрепитьзастроящимсяреакторомБНрепутациюнадежногоэкономичногоиэкологическисостоятельногореактора

ЦельюдиссертационнойработыявляетсяизучениеизмененийэксплуатационныхсвойствматериаловиконструкцийвусловияхреактораБНдляопределениязапасаработоспособностиивозможностиповышенияресурсаэлементовактивнойзоны

Вэтойсвязиавторомбыливыполненыследующиеработы

 разработаныисозданыизмерительныеустановкииметодикипервичныхпослереакторныхисследований

 проведенмониторингтехнологическиххарактеристикконструкционныхматериаловактивнойзоныБР

 созданабазаданныхпоусловиямэксплуатацииирезультатампослереакторныхисследованийэлементовактивнойзоны

 установленымеханизмыиэксплуатационныефакторывлияющиенаработоспособностьТВСоргановСУЗидругихэлементовреактора

подготовленэкспериментальныйматериалнаоснованиикоторогообоснованоповышениересурсаэксплуатацииТВСстержнейигильзСУЗнаправляющихтрубиисполнительныхмеханизмовСУЗ

Научнаяновизнарезультатовполученныхвдиссертационнойработезаключаетсяв

следующем

 ПолученисистематизированматериаловлияниинейтронныхитемпературныххарактеристикоблучениянарадиационноераспуханиеконструкционныхсталейвреальныхусловияхБРПолученыданныеоформоизменениичехловыхиоболочечныхтрубвсоставеэлементовактивнойзоныреактораБНсучетомпараметровоблученияконструкционногоматериалаиособенностейконструкции

 Выявленынедостаткиконструкцийэлементовактивнойзоныограничивающихихресурс

 ВпервыевотечественнойпрактикеБРповышениеназначенногоресурсастержнейгильзинаправляющихтрубСУЗпроведеночерезустановлениекритериевпредельногосостоянияирасчетноэкспериментальноеопределениезапасаработоспособностиисходяизусловийэксплуатациидействующегореактора

Практическаяценность

 Внедреныэкспериментальныеустановкииметодикиотвечающиеспецификеихприменениянадействующемэнергоблоке

 Результатыпроведеннойработыиспользованы

• вразработкеиобоснованиитрехмодернизацийактивнойзоныреактораБНцослекоторыхмаксимальноевыгораниетопливабылоувеличеновразаивразасокращеногодовоепотреблениеТВСактивнойзоны

• приувеличенииресурсастержнейАЗсдоэфсуток

• приразработкеивнедрениистержнейСУЗновогопоколениясресурсомэфсуток

• приувеличенииресурсагильзСУЗсдоэфсуток

• приувеличениисрокаслужбынаправляющихтрубСУЗсдолетаисполнительныхмеханизмовСУЗсдолет

 Врезультатеподъемаресурсавнутриреакторныхэлементовпочтивдвоесниженобъемвысокорадиоактивныхотходовсокращенапродолжительностьработприперегрузкереактора

Назащитувыносятся

•методикииизмерительныеустройстваразработанныедляисследованиярадиационныхсвойствконструкционныхматериаловвсоставевнутриреакторныхэлементовреактораБН



• базаданныхикритерииинформационногопоискапорезультатамэксплуатацииипослереакторныхисследованийвгорячейкамереибассейневыдержкиреактораБН

• методическийподходпооценкересурсавнутриреакторныхэлементовнаосновекритериевпредельногосостоянияустанавливаемыхпорезультатамкомплексныхпослереакторныхисследований

• рекомендациииобоснованиеувеличенияназначенногоресурсаТВСстержнейАЗгильзСУЗнаправляющихтрубиисполнительныхмеханизмовСУЗ

Личныйвкладавторазаключаетсяв



• Проектированииивнедренииизмерительныхустановок

• Автоматизациипроцессовизмеренияиобработкиданных

• ПроведенииизмеренийобработкеисистематизациихарактеристикэлементовреактораБН

• Созданииинформационнопоисковойсистемыбазыданных

• Отработкеметодическогоподходакоценкеостаточногоресурсаэлементовактивнойзонынаосновекритериевпредельногосостояния

• Разработкепрограммипроведениикомплексныхэкспериментальныхианалитических

исследованийпорезультатамкоторыхподготовленыматериалыдляобоснованияповышенияназначенногоресурсастержнейАЗгильзСУЗнаправляющихтрубиисполнительныхмеханизмовСУЗ 

ОсновныеположенияирезультатыработыдоложенынаойРоссийскихконференцияхпореакторномуматериаловедениюгДимитровградггомМежнациональномсовещанииРадиационнаяфизикатвердоготелагСевастополь гМеждународнойнаучнотехническойконференцииОпыт

конструированияпроизводстваиэксплуатацииоргановрегулированияядерныхреакторовгМосквагРоссийскойконференцииМатериалыядернойтехникигАгойггюбилейныхнаучнотехническихконференцияхБелоярскойАЭСгЗаречныйггнаучнотехническойконференцииСвердловскомуядерномунаучномуцентрулетгЗаречный гКоординационномСоветеМинатомаРФпо

поглощающимматериаламизамедлителямгМосквагг

Потемедиссертацииопубликованостатьииоколотезисовдокладоввкоторыхотраженоосновноесодержаниедиссертационнойработы

ОсновнойапробациейявляетсяиспользованиерезультатовработыприоформлениипроектнойиэксплуатационнойдокументацииТВСстержнейигильзСУЗатакжеобоснованиибезопаснойэксплуатациисверхназначенногоресурсанаправляющихтрубиисполнительныхмеханизмовСУЗ

ДиссертациясостоитизвведениячетырехглавзаключенияиспискаиспользованныхлитературныхисточниковизнаименованияРаботаизложенаналистахвключаятаблицирисунков

ВпервойглавеописаныэлементыактивнойзоныопределяющиерабочийциклреактораБНиявляющиесяпредметомрассмотрениявданнойработеПриведенкругвопросов

связанныхсработоспособностьюиресурснымихарактеристикамиэлементовреактора



ПеречисленыосновныеэтапыразвитиятехнологииэксплуатацииреактораБНкоторыесопровождалиськардинальнымиизменениямирежимныхиинтегральныххарактеристикэксплуатацииэлементовОпределенызадачипослереакторныхисследованийнапутиизучениязакономерностейизменениясвойствконструкционныхматериаловивыявлениярезервоввнутриреакторныхэлементоввповышенииихресурсаэксплуатации

ВтораяглавапосвященаинструментальномуиметодическомуобеспечениюпервичныхпослереакторныхисследованийпроводимыхвГКиБВтретьегоблокаБелоярскойАЭСОтдельноотмеченытребованиякоторымдолжнысоответствоватьоборудованиеиметодикииспользуемыевсоставедействующегоэнергоблокаПроведенобзораналитическихпредставленийиэкспериментальнойинформацииораспуханииконструкционныхматериаловвБРОпределеныпутиконтроляресурсныххарактеристикэлементовреактораиприменяемыеметодикипослереакторныхисследованийПриведенызадачиархитектураисоставБазыданныхсозданнойдлясистематизацииихранениябольшогообъемаинформациипоступающейприпослереакторныхисследованиях

ВтретьейглавепредставленырезультатыполученныесучастиемавторавходепервичныхпослереакторныхисследованийкоторыеобеспечилиэкспериментальноеобоснованиеработпооптимизациитехникоэкономическихпоказателейреактораБНПриэтомсобранаинформацияпоэксплуатационнымсвойствамТВСвключаяматериалыдлячехловиоболочекстержнейигильзСУЗПриведенынаиболеезначимыерезультатыпроведеннойработы

ЧетвертаяглавапосвященаэкономическойсоставляющейитоговпроведеннойработыпоповышениюресурсныххарактеристикОсновнымипутямиповышенияэкономичностиактивнойзоныявляютсяповышениевыгораниятопливаиповышениенадежностиработыТВСатакжесокращениевременипроведенияремонтныхработзасчетуменьшенияколичестваперегружаемыхвнутриреакторныхэлементовприувеличенииихресурсаэксплуатацииПредставленырезультатыработпопродлениюресурсанаправляющихтрубиисполнительныхмеханизмовСУЗПриводитсяитоговаястатистикарезультатовработпоизменениюресурсныххарактеристикэлементовреактораБНкоторыеявляютсяплодомколлективноготрудаисследователейконструкторовфизиковэксплуатационниковпредприятийБелоярскойАЭСОКБМФЭИВНИИНМидр

Взаключенииприводятсяосновныерезультатыработы

АвторвыражаетблагодарностьспециалистамструктурныхподразделенийБелоярскойАЭСспециалистамФГУПОКБМФГУПВНИИНМГПМЗПГНЦРФФЭИГНЦРФНИИАРпринимавшимучастиевобсужденииивнедрениирезультатовдиссертациивпрактикупроектированияиэксплуатацииреактораБН 

АвторблагодаренвсемуколлективулабораторииТВСзавниманиенеоценимуюпомощьитворческоеучастиеприсовместномпроведенииработвБВигорячейкамере

ОсобуюблагодарностьзапомощьинепосредственноеучастиевпрактическомвоплощениерезультатовпроведенныхисследованийавторвыражаетнаучномуруководителюдокторутехническихнаукпрофессоруАИКарпенко

Заключение

Основныерезультатыработыивытекающиеизнихвыводысводятсякследующему

 ОпределенынаправленияиметодыисследованийвсоответствиистребованиямипредъявляемымикэлементамактивнойзоныБРпоформоизменениюмеханическимхарактеристикамипослереакторномухранению

 РазработаныивнедреныизмерительныеустановкииметодикидляпроведенияпослереакторныхисследованийОрганизованкомплекспослереакторныхисследованийосновукоторогосоставилиприспособлениявизуальногоосмотраустановуобмераТВСиоргановСУЗвБВпрофилометриигаммасканированияиэлектросопротивлениявГК

 ПолученыдознотемпературныезависимостираспуханиявсегорядакандидатныхконструкционныхматериаловБРвреальныхусловиях

 ПроведенмониторингэксплуатационныххарактеристикэлементовактивнойзоныреактораБНПолученыданныеоформоизменениичехловыхиоболочечныхтрубвсоставереальныхэлементовактивнойзоныреактораБНсучетомпараметровоблученияконструкционногоматериалаиособенностейконструкцииНасегодняосновнымиматериаламиприповышенныхпараметрахоблучениявТВСиорганахСУЗявляютсястальЭПвкачествематериалачехловойтрубыистальЧСхдвкачествематериалаоболочкиВтожевремяостаютсявозможностиобоснованногоподходакоптимальномуиспользованиюдругихсталей

 СозданабазаданныхиинформационнопоисковаясистемапоусловиямэксплуатацииирезультатампослереакторныхисследованийтвэловиТВСреактораБН

 ВпервыевотечественнойпрактикеБРповышениеназначенногоресурсастержнейгильзинаправляющихтрубСУЗпроведеночерезустановлениекритериевпредельногосостоянияирасчетноэкспериментальноеопределениезапасаработоспособностиисходяизусловийэксплуатациидействующегореактора

 Подготовленыматериалыиспользованные

 приобоснованиипроектныххарактеристикивнедрениивэксплуатациюТВСтрехмодификацийактивнойзоныреактораБНврезультатечегомаксимальноевыгораниетопливаувеличенодотаатопливнаякампаниядоэфсуток

 приувеличенииназначенногоресурсастержнейаварийнойзащитысбсдоэфсуток

 приразработкеивнедрениистержнейСУЗновогопоколениясбсбсбсбсресурсомэфсуток

 приреакторныхиспытанияхстержнейАЗспоглотителемизрефабрицированного

карбидабораиобоснованииресурсаэксплуатациивэфсуток

 приувеличенииназначенногоресурсагильзСУЗсбсбсбсдоэфсуток

 приувеличениисрокаслужбынаправляющихтрубСУЗсдоЕлетдонаборафлюенсанейтроновЕМэВнсм

 припродлениисрокаэксплуатацииисполнительныхмеханизмовСУЗдотысч

ОсновнымиестественнымипутямиповышенияэкономичностиактивнойзоныявляютсяповышениеглубинывыгораниятопливаиповышениенадежностиработыТВСВрезультатеподъемаресурсаТВСиоргановСУЗмаксимальноевыгоранйетопливабылоувеличеновразаивразасокращеногодовоепотреблениеТВСактивнойзоныпочтивразаувеличенсрокслужбыэлементоворгановСУЗЭтопозволяетснизитьнедовыработкуэлектроэнергиииззаразгерметизацииоболочектвэловснизитьзатратынахранениеипереработкуотработавшегоядерноготопливасократитьсрокипроведенияплановыхинспекцийоборудованияиперегрузкитоплива