بنام نگارنده علم و زیبائی

۱۰۸۳۴۴

۸۷/۱/۱۰۵۵۰۵
۸۷/۱۰/۱۱

دانشگاه شهید بهشتی
دانشکده مهندسی هسته ای
گروه راکتور

پایان نامه کارشناسی ارشد

شبیه سازی حلقه اول نیروگاه VVER-1000 با استفاده از کد RELAP-5 درحالت پایا

۱۳۸۷/۱۰/۶

استاد راهنما: جناب آقای **دکترشیرانی**
استاد مشاور: جناب آقای **دکترمنصوری**

تهیه و تدوین: سعید بیک زاده

زمستان۸۶

۲

۱۰۸۳۴۴

بـــا تقدیروتشـــکرازپـــدرومادرم وتقـــدیم ایـــن اثربـــه ایشـــان کـــه مشـــوق من درهمه مراحل زندگیم بودند.

ازجنـــاب آقـــای **دکترشـــیرانی** بـــه پـــاس همـــه راهنماییهـــا و زحمتهـــایی کـــــه کشـــــیدند کمـــــال تشـــــکروقدردانی را دارم ونیزازجنـــــاب آقـــــای **دکترمنصـــــوری** بـــــه واســـــطه همراهیهـــــا وکمکهـــــای بـــــی دریغشـــــان کمال امتنان را دارم.

مقدمه ۷

فصل اول

معرفی راکتورهای آب سبک تحت فشار ۸

خلاصه فصل ۹

۱-مروری بر سیستم های ۱۰۰۰ – VVER ۱۰

۱-۱- مروری برکل نیروگاه ۱۰

۱-۲- سیستم های موجود در نیروگاه ۱۱

۱-۲-۱- راکتور ۱۲

۱-۲-۱-۱- قلب راکتور ۱۳

۱-۲-۲- پمپ اصلی چرخشی ۱۵

۱-۲-۳- مولدهای بخار ۱۶

۱-۲-۴- سیستم جبران فشار ۱۸

۱-۲-۵- سیستم تغذیه وتخلیه آب و بخار ۲۰

۱-۲-۶- مدار دوم ۲۳

۲- راکتورهای آب تحت فشارازنوع PWR ۲۵

۲-۱- محفظه راکتور ۲۷

۲-۲- مولدهای بخار ۲۷

۲-۳- پمپ خنک کننده راکتور ۲۸

۲-۴-سیستم کنترل شیمیایی وحجم ۲۸

۳- پراکندگی PWR و VVER دردنیا ۳۰

فصل دوم

خلاصه فصل ۳۳

۱- معرفی کد کامپیوتری RELAP ۳۴
۱-۱-تاریخچه ای از توسعه کد ۳۵
۱-۲- دستورالعملهای های کد RELAP ۳۶
۱-۳- مدلهای هیدرودینامیکی در این نرم افزار ۳۶
۱-۳-۱- مدل های تشکیل دهنده ۳۷
۱-۳-۲-مدل های فرآیند مخصوص ۳۸
۱-۳-۳-مدلهای تجهیزات ۳۸
۱-۴-ساختارگرمایی (HEAT STRUCTUR) ۴۱
۱-۴-۱-نحوه وارد کردن اطلاعات درساختارگرمایی ۴۱
۱-۵-سیستم کنترل وتریپ (TRIP AND CONTROL SYSTEM) ۵۳
۱-۵-۱-تریپ سیستم (TRIP SYSTEM) ۵۳
۱-۵-۲-سیستم کنترل(CONTROL SYSTEM) ۵۳
۱-۶-مدل سینیتیک راکتور (POINT REACTOR KINETICS MODEL) ۵۴
۱-۷-روش کلی برای بدست آوردن شرایط پایا ۵۴
۱-۸-اطلاعات مورد نیاز جهت سیستم های نوترونی ۵۵
۱-۹-اطلاعات مورد نیاز جهت سیستمهای هیدرودینامیکی ۵۵
۱-۱۰-اطلاعات مورد نیاز ساختارهای گرمایی ۵۵
۱-۱۱- اطلاعات مورد نیاز جهت سیستم های کنترل ۵۶
۱-۱۲-شماره کارت های مربوط به سیستمهای کنترل وتریپ ۵۷
۱-۱۳-دیگر کار تهای مورد استفاده ۵۷

فصل سوم

انواع افت فشاردرحلقه اول درحالت پایا ۵۹
خلاصه فصل ۶۰
۳-۱--محاسبه افت فشار ۶۱
۳-۱-۱- افت فشارناشی ازتغییردبی جرمی ۶۱
۳-۱-۲- إفت فشارناشی از شتاب ۶۱
۳-۱-۳- افت فشارناشی ازتغییرارتفاع ۶۲
۳-۱-۴- افت فشارناشی ازتغییرسطح مقطع ۶۲
۳-۱-۵- افت فشارناشی ازاصطکاک ۶۳
۳-۱-۶-افت فشارناشی ازSPACERها ۶۴
۳-۱-۷-افت فشار ناشی ازگذرازروی یکسری لوله ۶۵
۳-۲-۱-توضیح در موردفایل تهیه شده درمورد محاسبه افت ۶۸
۳-۲-۲-الگوریتم استفاده ازفایل تهیه شده ۶۹

فصل چهارم

مشخصات هیدرو دینامیکی نیروگاه VVER-1000 وشبیه سازی صورت گرفته بهمراه
نتایج حاصل ازآن..... ۷۱
خلاصه فصل ۷۲
محفظه تحت فشار راکتور..... ۷۳
سیستم خنک کننده ۷۶
مولد بخار..... ۸۱
سایراطلاعات مربوط به سوخت،غلاف،فاصله هوایی میله سوخت و..... ۸۲
مشخصات فولادهای مختلف
شرح مدل ورودی..... ۸۵
مدل محفظه راکتور..... ۸۵
مدل مولد بخار..... ۸۵
مسیرهای جریان ۸۶
نودالیزیشن صورت گرفته ۸۶
نتایج ۸۹
مقایسه نتایج با پارامترهایی که در پروژه انجام شده در دانشگاه شهید بهشتی[۱۰]برای
حالت پایا ارائه شده است ۹۲

مقایسه نتایج با پارامترهایی که دریک موسسه آلمانی[۹] (Forschungszentrum Karlsruhe)
برای حالت پایا صورت گرفته است ۹۲
پیشنهادات ۹۳
مراجع..... ۹۴
پیوست ۹۵
فایل ورودی..... ۹۵

مقدمه

طی بررسیهای انجام شده متداولترین نیروگاههای اتمی که دردنیا پراکنده شده اند نیروگاههایی با راکتورهای آب سبک می باشد واز دو نوع راکتورآب سبک (راکتورآب سبک تحت فشاروراکتورآب سبک جوشان) نوع تحت فشار بیشترین گستردگی را داشته است .

وبا توجه به اهمیت وایمنی که این راکتورها نیازدارندشبیه سازی وبررسی مسائل مختلف آن ازاهم مسائل هرکشوری است که درجهت استفاده ازاین سیستم ها بر می آید.

راکتور نیروگاه اتمی بوشهر ازنوع VVER-1000 است که یک راکتورآب سبک تحت فشار است که در این پروژه به شبیه سازی حالت پایای حلقه اول می پردازیم .

ازبین نرم افزارها و کد های متداول دردنیا ،کد RELAP-5 شاید بهترین وسریعترین کد موجود می باشد

لذا دراین پایان نامه درفصل اول به توضیح راکتورهای آب سبک تحت فشار پرداخته شد ودرادامه کد RELAP-5 که جهت شبیه سازی مورد استفاده واقع شده است درفصل ۲ معرفی می شود.

درفصل سوم به معرفی افت فشارهای که درحالت پایا درحلقه اول ممکن است با آن مواجه شویم توضیح داده شده است ودرنهایت فایلی درمحیطEXCEL جهت محاسبات آن تهیه شده است.

ودرادامه درفصل چهارشبیه سازی صورت گرفته ونتایج حاصل ازآن آمده است.

معرفی راکتور های آب سبک تحت فشار

خلاصه فصل :

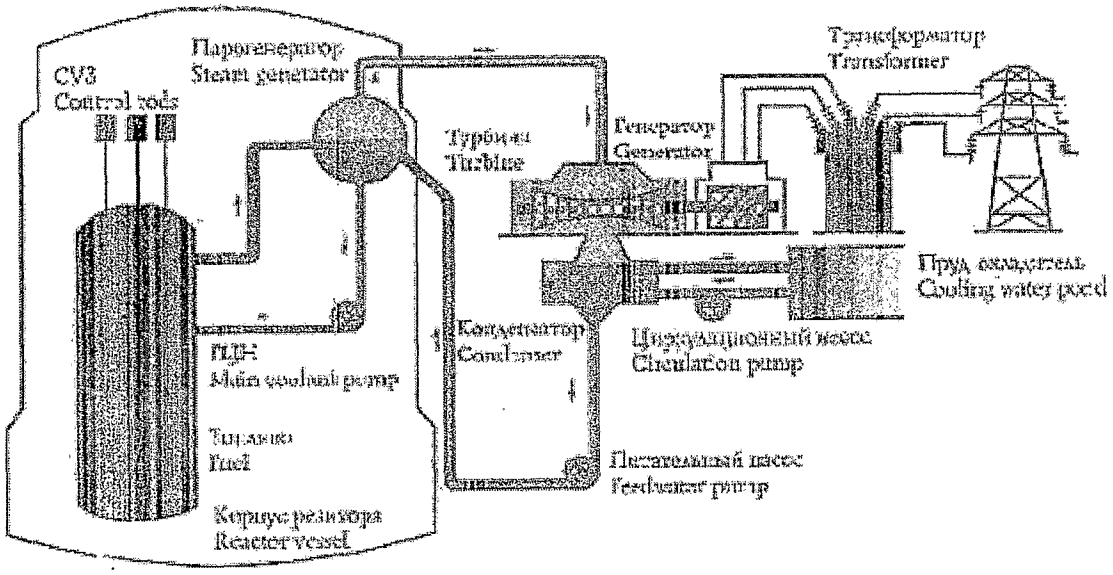
در این فصل ما به معرفی کلی راکتور های آب سبک تحت فشار می پردازیم .معروفترین راکتورهای آب سبک تحت فشار عبارتند از : راکتور VVER که ساخت کشور روسیه می باشد و درصد قابل توجهی از راکتورهای آب سبک تحت فشار دنیا از این نوع می باشد .

ونوع دیگر آن PWR می باشد که شروع ساخت وتوسعه در کشور آمریکاصورت پذیرفته است و شاید بتوان گفت متداول ترین راکتور موجود دنیا می باشد.

ازآنجاکه راکتور نیروگاه اتمی بوشهر نیز از نوع VVER-1000 می باشد در این فصل کلیاتی از راکتورVVER ارائه می گردد . همچنین توضیحاتی درموردراکتور PWR نیز داده می شود.

۱-۱- مروری بر کل نیرو گاه :

کلمهVVER مخفف چهارکلمه روسی وبه معنای راکتور های انرژی آب آب است .
و یک نوع راکتور هسته ای حرارتی با راکتورتحت فشارودارای دومدارخنک کننده است که در آن آب هم به عنوان کند کننده وهم به عنوان خنک کننده درمدار اول و هم به عنوان سیال کاری درمداردوم استفاده شده است . شماره ای که در ادامه کلمه می آید نشاندهنده توان الکتریکی است که تولید می کندبنابراین VVER-1000به عنوان واحدی است که هزارمگاوات الکتریکی تولید می کند .
شکل یک اجزا اصلی یک نیروگاه هسته ای با راکتورمذکور را نشان می دهد .



شکل ۱-۱- شماتیک نیروگاه اتمیVVER

گرما یا حرارتی که در قلب راکتور از شکافت هسته های سوخت تولید می شود توسط خنک کننده برداشت می شود. خنک کننده بعد از ترک راکتور توسط قسمتی ازمدار که leghot نامیده می شود به سمت مولدبخار(generator–steam) می رود .
S.G مبدل حرارتی است که در آن گرمای مدار اول به مدار دوم منتقل می شود . بعد از مولد بخارخنک کننده با عبورازپمپ اصلی مداراول توسط قسمتی ازمدار که cold-leg نامیده می شود به سمت محفظه راکتور بر می گردد .
در مدار اول چهار حلقه داریم و آب توسط پمپهایی که در هر حلقه یک عدد وجود دارد به سمت راکتور پمپ می شود و این پمپها پمپ اصلی چرخش خنک کننده هستند.
بخاری که در مدار دوم تشکیل می شود برای تولید انرژی الکتریکی ،به سمت توربین بخارهدایت می گردد وقسمتی ازبخارازطریق زیرکشهای توربین صرف گرم کردن آب تغذیه درسیستم احیا می گردد.
بعد از توربین ، بخار به سمت کندانسور می رودو تقطیر می شود . آب بعد از کندانسوربا عبوراز گرمکنهای فشار ضعیف به سمت هوازدا جهت حذف گازهای غیر قابل تقطیر هدایت می شود .

بعد از هوازدیی آب از طریق هیترهای فشار قوی به سمت به مولد بخار حرکت می کند.

۱-۲- سیستمهای موجود در نیروگاه :

سیستمهای اصلی که دراین نیروگاه کار می کند عبارتند از :

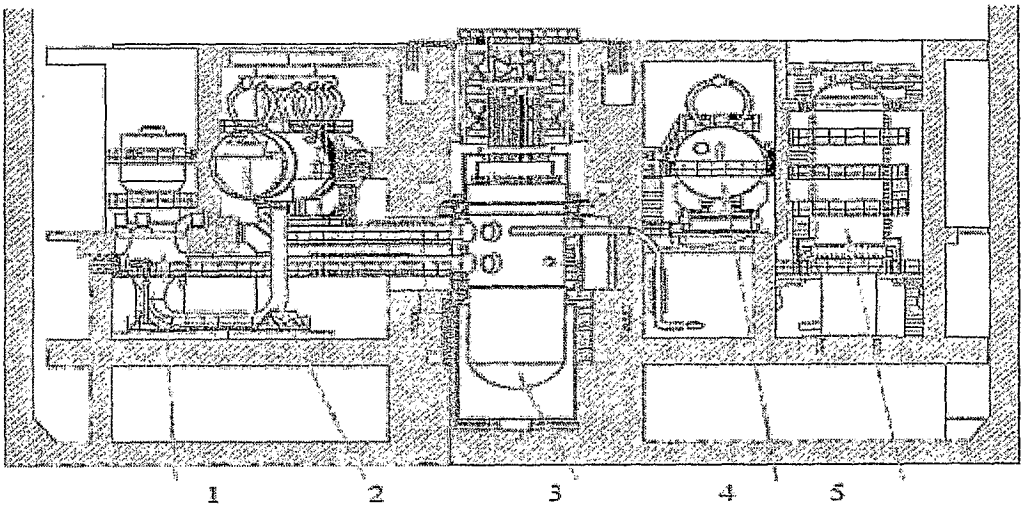
- راکتور
- مدار اولیه: شامل خطوط لوله اصلی آب چرخشی ، پمپ های اصلی چرخشی ,PRESSURISER ،مولدبخار

سایرسیستم های فرعی مرتبط جهت تصفیه آب مداراول وکنترل حجم آب که شامل مخازن مربوط به تزریق بورنیزمی باشد.

- مدار دوم شامل خطوط بخار و خطوط لوله آب تغذیه
- سیستم کنترل و حفاظت
- سیستم های ایمنی

این سیستم ها در این بخش توضیح داده می شود .

نقشه ای از تجهیزات مدار اول در شکل ۲ نشان داده شده است .



۱-پمپ اصلی چرخشی

۲- لوله های مداراول

۳-محفظه راکتور

۴-مولد بخار

۵- PRESSURISER

شکل ۱-۲- نمایی از تجهیزات نیروگاهVVER-1000

۱-۲-۱- راکتور

راکتور VVER-۱۰۰۰ از نوع راکتورتحت فشار که با آب سبک کار می کند و در آن آب تصفیه شده با اسید بوریک موجود در آن بعنوان خنک کننده و کندکننده عمل می کند .

تنظیم توان راکتور و کنترل زنجیره واکنشی شکافت عمدتا توسط دو سیستم تنظیم راکتیویته می باشد:

الف :استفاده از جذب کننده های جامد (سیستم کنترل میله ها (سیستم کنترل و حفاظت))

ب:تزریق سموم درخنک کننده (سیستم تنظیم بورن)

میله های کنترل برای تغییر در راکتیویته و برای کنترل ودرصورت نیاز توقف راکتور در حالتهای نرمال و اضطراری استفاده می شود . سیستم تنظیم بورن برای تغییرات جزئی در راکتیویته استفاده می شود . غلظت بورن در طول سیکل کاری تغییر می کند .

خنک کن موقعی که در بین مجتمع های سوخت عبور می کند بواسطه شکافت هسته ای که در سوخت اتفاق می افتد گرم می شود .

خنک کننده از طریق نازلهای ورودی وارد محفظه راکتورشده و از محلی بین بدنه ردمی شود.وازقسمت پایین ازطریق صفحات مشبک core-baffaleر اکتور و کف وارد مجتمع های سوخت که در قلب راکتور نصب شده است می شود ودرنهایت ازطریق نازلهای خروجی به سمت hot-leg راکتور را ترک می کند .

شکل ا-۳ نمایی از محفظه راکتور VVER-۱۰۰۰ است .

راکتور شامل تجهیزات زیر است:

- قلب
- بدنه راکتور

-تجهیزات نصب شده در بدنه وبلوک بالایی آن upper unit

-مکانیزمهای الکترومغناطیسی سیستم کنترل راکتور.

-تجهیزات اندازه گیری فلاکس نوترون،فشار،دماوغیره

شکل ۱-۳-شمای عمومی راکتورVVER-1000

۱-۲-۱-۱- قلب راکتور

قلب راکتورVVER-۱۰۰۰ ترکیبی از مجتمع های سوخت که شکل شش ضلعی دارند است که روی شبکه شش ضلعی با گام ثابت ۲۳۶میلی متری قرار دارند .تعدادمجتمعهای سوخت در قلب راکتور بستگی به اندازه آنها و توان راکتور دارد .

بیشترین اندازه مجتمع های سوخت با لحاظ مسائل ایمنی به منظور حذف امکان رسیدن به جرم بحرانی و کمترین مقدار آن بعلت مسائل راندمان محدود می شود .

مشخصات اصلی قلب راکتور VVER-۱۰۰۰ عبارتند از :

تعداد نهایی مجتمع های سوخت در قلب ۱۶۳

تعداد مجتمع هایی که میله ای کنترل همراه هستند ۶۱

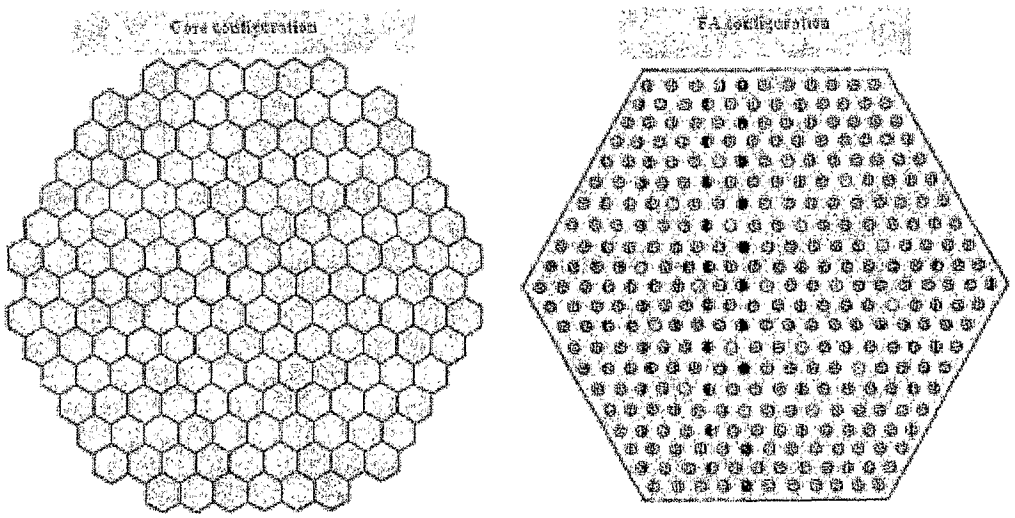
ارتفاع قسمت گرم (در حالت سرد) ۳/۵۳ متر

گام بین مجتمع های سوخت ۰/۲۶۳ متر

مقطع عبوری در قلب در قسمت گرم شونده ۴/۱۷ متر مربع

دبی خنک کننده که از قسمت قلب عبور می کند۱۷۶۵۰ کیلوگرم بر ثانیه

توان نرمال راکتور ۳۰۰۰ MWth



شکل ۱-۴- نمایی از قلب۱۰۰۰ VVER و ترکیبی از مجتمع های سوخت را نشان می دهد .

مجتمع سوخت برای ۱۰۰۰ – VVER شامل شبکه منظمی از میله های سوخت است.

در مکانهای معین میله های سوخت به همراه المانهای غیر سوخت جا سازی شده اند . المانهای غیر سوختی همچون میله های کنترل بعنوان المانهای جذبی (نهایت ۱۸ عدد) و یا میله های جاذب سوختنی هستند .

مشخصات اصلی مجتمع های سوخت عبارتند از :

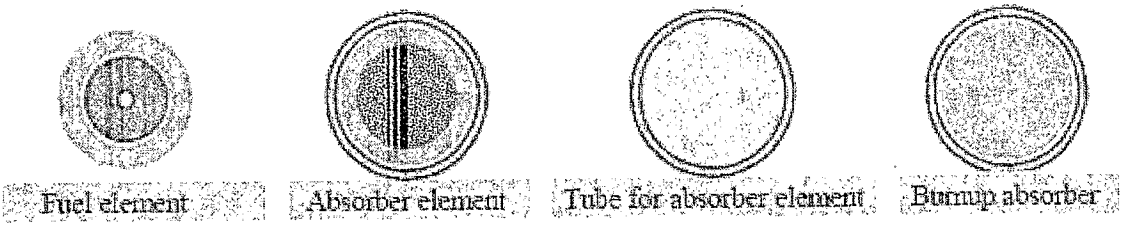
تعداد میله های سوخت ۳۱۱

گام بین میله های سوخت ۱۲/۷۵میلی متر

تعداد لوله ها برای المانهای جذبی ۱۸

ارتفاع بخش فعال مجتمع های سوخت ۳۵۳۰ میلی متر

تعداد شبکه های متفاوت (صفحه نگهدارنده)۱۴



شکل ۱-۵- المانهای اصلی مجتمع های سوخت ۱۰۰۰- VVER را به طور شماتیک نشان میدهد .

مشخصات اصلی میله های سوخت ۱۰۰۰-VVER عبارتند از:

قطر سوخت ۹/۱mm

ضخامت غلاف ۰/۶۹ mm

(جنس) ماده غلاف آلیاژ Zr110

قطر قسمت سوخت ۰/۷۵۲ mm

جنس سوختUo2

قطر سوراخ اصلی در قرص سوخت ۲.۳ mm

دانسیته سوخت ۱۰/۴ kg/cm3

غنای سوخت ۳.۱۳٪و۴.۱۴٪و۳٪و۴٪

۱-۲-۲- : پمپ اصلی چرخشی

پمپ های مداراول عبارتنداز:

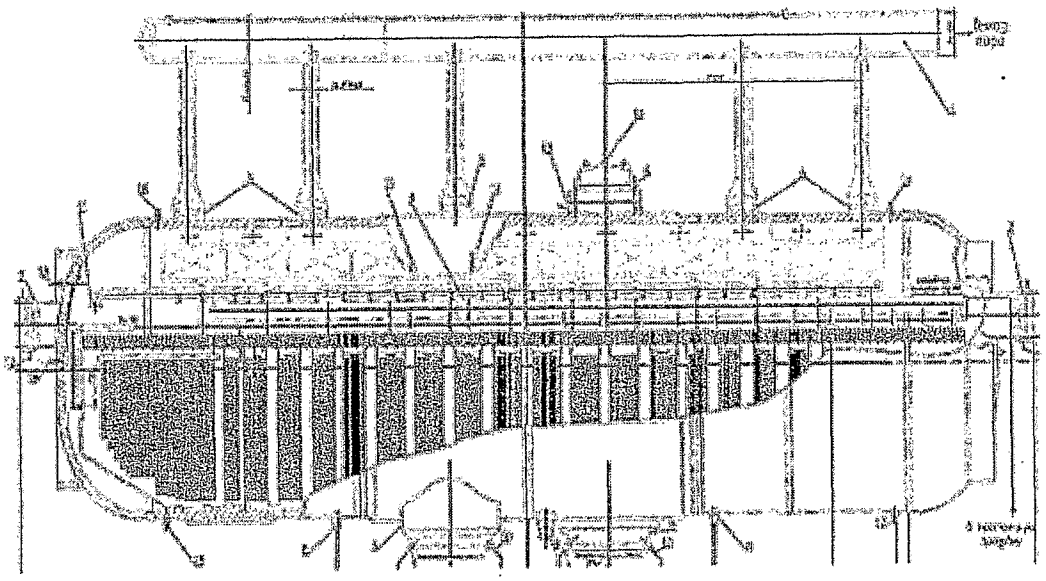
چهار پمپ اصلی که به طور عمودی و به شکل گریز از مرکز کار می کنند و آبندی مکانیکی دارند هر پمپ بوسیله یک موتور الکتریکی که توسط سیستم هوا-آب خنک می شود به گردش در می آید .

قسمت چرخشی این پمپ اینرسی چرخشی زیادی دارد و در مواردی که توان موتور قطع شود دبی خنک کننده کم می شود که نهایتا منجر به توقف راکتور از طریق آن می شود . بعد از توقف کامل این پمپ ها خنک شدن قلب تا حدودی توسط چرخش طبیعی آب تامین می گردد.

۱-۲-۳- مولدهای بخار:

S.G ها برای برداشتن حرارت از سیکل اول و بوجود آوردن بخارآب اشباع در سیکل دوم می باشند . S.G ها در نیروگاه های هسته ای VVER۱۰۰۰ از نوع افقی می باشند .

شکل ۷ برشی از یک S.G را نشان می دهد. آب خنک کن قسمت اول توسط لوله های افقی هدایت می شود. بالای S.G یک کلکتور بخار هست . داخل این کلکتور بخارجمع آوری شده و به سمت هدر اصلی بخار می رود و سپس به سمت توربین هدایت می شود .

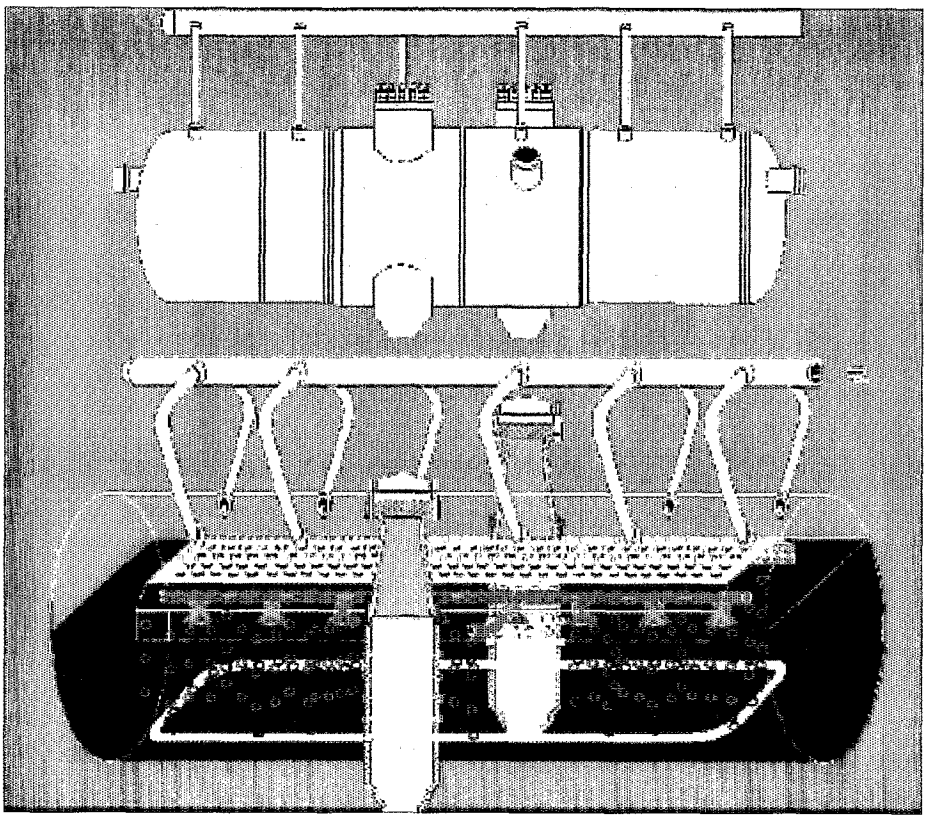


شکل ۱-۶-برشی ازمولد بخار

در حال بهره برداری نرمال پارامتر های زیر را در S.G داریم :

فشار در S.G	(۶/۲۷±۰/۱۹)مگاپاسکال
دمای آب تغذیه	۲۲۰+۵ درجه سانتی گراد
سطح آب	۳۲۰+۵۰ میلی متر

رطوبت بخار درخروجی نباید بیشتر از ۰/۲٪ باشد .



شکل ۱-۷-شمای عمومی ازمولد بخار

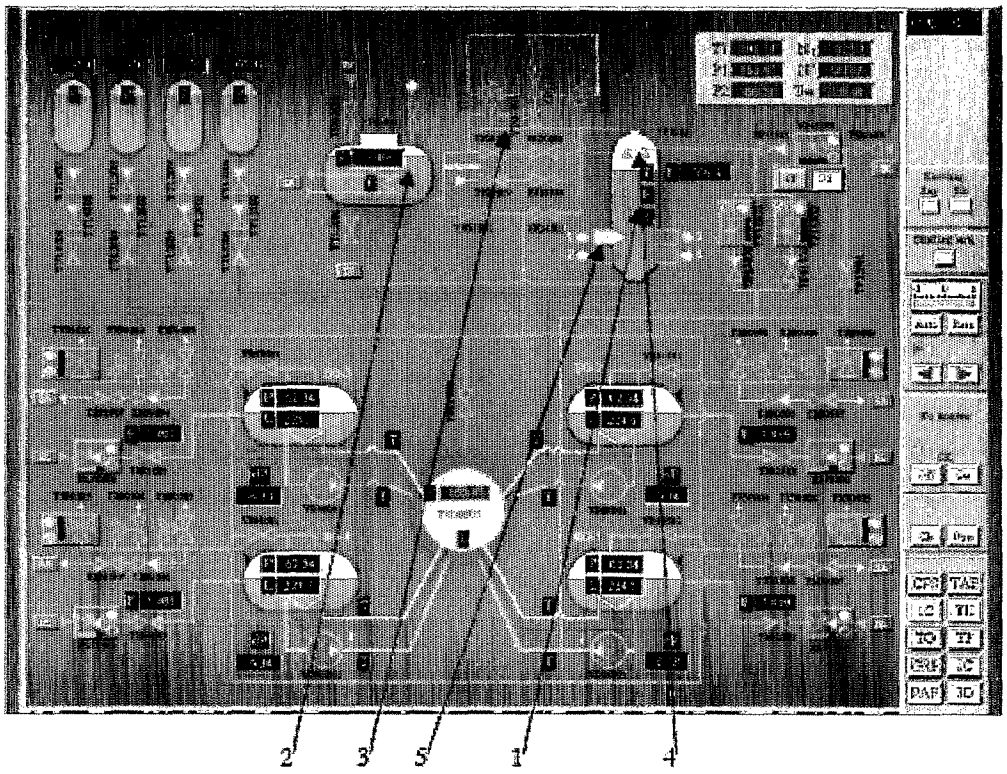
۱-۲-۴-سیستم جبران فشار

اساس جبران فشار در راکتور های VVER در شکل ۱-۸ نشان داده شده است . وظایف سیستم جبران فشارعبارتند از:

-کنترل فشار مدار اول در طول بهره برداری گذرا و دائمی
-حفاظت تجهیزات مدار اول جهت جلوگیری از خارج شدن از فشار های طراحی
-افزایش فشار مدار اول در طول دوره استارت آپ سیستم تهیه بخار
-کاهش فشار مدار اول در طول دوره خنک کاری سیستم تهیه بخار

تجهیزات زیر در سیستم جبران فشار موجود هستند :
-PRESSURISER
-خطوط تخلیه بخار با شیرهای ایمنی ایمپالسی وشیرهای تخلیه
- تجهیزات دیگرخطوط لوله جهت تخلیه مخلوط بخار و گاز ازRESSURISER
-خطوط تزریق

PRESSURISER توسط خطوط لوله به یکی ازبازوهای گرم (HOT-LEG)متصل می شود.



۱-PRESSURIZER

۲-BUBBLER

۳-لوله های مسیر بخاروشیرهای ایمنی سر راه آن

۴-لوله های تزریقی وسیستم پاششی

۵-هیترهای الکتریکی

شکل ۱-۸-تجهیزات کنترل فشارمداراول

فشارنده مخزن عمودی است که به hot-leg که درمدار اول است وصل می شود .و جهت داشتن یک فشار ثابت در مدار اول با یک سیستم پاششی و گرمکن های الکتریکی تجهیز شده است .

سیستم پاششی در بالا تعبیه شده است و جهت تزریق آب داخل بخار به منظور تقطیر بخار و نهایتا بوجود آوردن افت فشار در آن قرار داده شده است .

گرمکن های الکتریکی در قسمت پایین جهت گرم کردن آب و در نهایت افزایش فشار تعبیه شده است . این گرمکن ها همچنین جهت گرم کردن آب خنک کننده در طول دوره روشن شدن راکتور نیز استفاده می شوند .

پارامتر های اصلی عبارتند از :

فشار (۱۵/۷kg/cm2 یا ۱۶۰مگاپاسکال)

دما ۳۴۶ درجه سانتی گراد

حجم نهایی ۷۹ مترمکعب

حجم آب ۵۵ مترمکعب

حجم بخار ۲۴ مترمکعب

توان گرمکن های الکتریکی ۱۹۰±۲۵۲۰ کیلو وات

آب در فشارنده توسط هیتر های الکتریکی گرم می شودوبجوش می آید و بخار تشکیل می شود و در قسمت های بالای فشارنده جمع می شود در این قسمت آب و بخار درحالت اشباع هستند .

در حالت های گذرا که برای سیستم تهیه بخار ممکن است پیش بیاید موقعی که متوسط دمای خنک کن تغییر می کند و در پی آن دانستیه نیز تغییر می کند در این حالت خنک کننده می تواند از طریق لوله های ارتباطی به سمت فشارنده حرکت کند و یا جهت حرکت ازسمت فشارنده به سمت این مسیر باشد .

تغیرات حجم بخاردرفشارنده که معادل با تغییرات سطح آب درآن محفظه است به عنوان عاملی جهت تعدیل فشارمداراول عمل می نماید.

سطح در فشارنده توسط یک سیتیم کنترل اتوماتیک که شامل ورودیهای از سطح جاری و متوسط دمای مدار اول است حفظ می شود . تنظیم توسط یکسری شیرهایی که در سیستم تغذیه و تخلیه است انجام میشود .

فشار نیزتوسط یک سیستم کنترل اتوماتیک که شامل ورودی های از فشار محفظه راکتور است کنترل می شود . تنظیم فشار توسط هیترهای الکتریکی ویکسری شیرکه در مسیر لوله های تزریق قرار دارند انجام می شود .

۱-۲-۵- سیستم تغذیه و تخلیه آب در مدار اول

-این سیستم جهت موارد زیر طراحی شده است :
-کنترل میزان آب خنک کننده مدار اول
-تغییر غلظت بورن در آب خنک کننده مدار اول
-تخلیه نشتی ها از تجهیزات مدار اول
-تصفیه آب مدار اول و برگردان آن .
-رساندن آب جهت آبندی پمپ آب چرخشی اصلی
-رساندن بورن به مدار اول در مواردی که توان الکتریکی نداریم .

این سیستم شامل تجهیزات زیر است (شکل ۱-۹):

-صافی جهت مسیر آب تغذیه برای مداراول
-کنترل اتوماتیک سطح برای فشارنده
-دو تانک ذخیره بر ای آب خنک کننده مدار اول
-هوازدا
-تانک ذخیره بورن
-پمپ تغذیه بورن
-تانک آب تصفیه شده

آب مدار اول توسط شیر های تغذیه و تخلیه کنترل می شود . سطح آب فشارنده وقتی که زیرسطح مقرر باشد نشان میدهد که آب مدار اول کافی نیست و نیاز است که مقداری آب به سیستم از طریق تانک های ذخیره مدار اول جهت