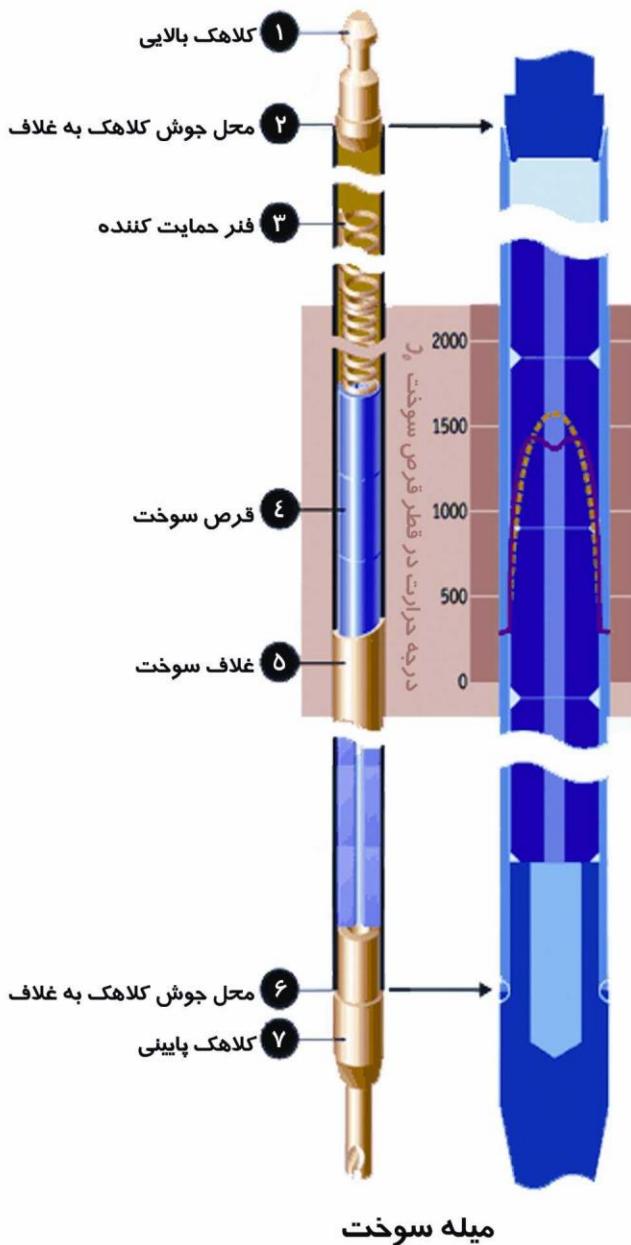


شرح فرایند عملیاتی



علیرغم پیچیدگی تکنولوژیکی یک نیروگاه هسته‌ای از نوع نیروگاه بوشهر، فرایند عملیاتی نیروگاه کاملاً ساده است. فرایند تولید انرژی الکتریکی در نیروگاه هسته‌ای را می‌توان به طور ساده به سه مرحله کاملاً مجزا تقسیم نمود که در سه مدار مستقل شامل مدار اول، مدار دوم و مدار خنک کننده انجام می‌پذیرد.

مدار اول

شکافت اورانیوم غنی شده در راکتور منبع تولید انرژی به صورت گرمایی است. این انرژی گرمایی توسط آب مدار اول که دریک مسیربسته (چهار حلقه) جریان دارد به مولدات بخار منتقل می‌شود. مولد بخار یک مبدل حرارتی است که آب مدار اول درون لوله‌های U شکل فولادی آن جریان دارد و آب مدار دوم در یک سیکل کاملاً مجزا با گردش در اطراف این لوله‌ها، ضمن برداشت حرارت به بخار تبدیل می‌شود. آب مدار اول پس از خروج از مولد بخار توسط پمپ مدار اول برای برداشت مجدد گرما به راکتور بازگردانده می‌شود.

مدار دوم

در مدار دوم، بخار تولید شده در مولد بخار به توربین هدایت شده و در آن جا به انرژی مکانیکی تبدیل می‌شود (چرخش توربین به طور مستقیم ژنراتور نیروگاه را به حرکت در آورده، که منجر به تولید انرژی الکتریکی می‌شود). سپس بخار خروجی از توربین، به وسیله کندانسور به آب تبدیل شده و مجدد برای تکمیل و تکرار این چرخه به مولد بخار بازگردانده می‌شود.

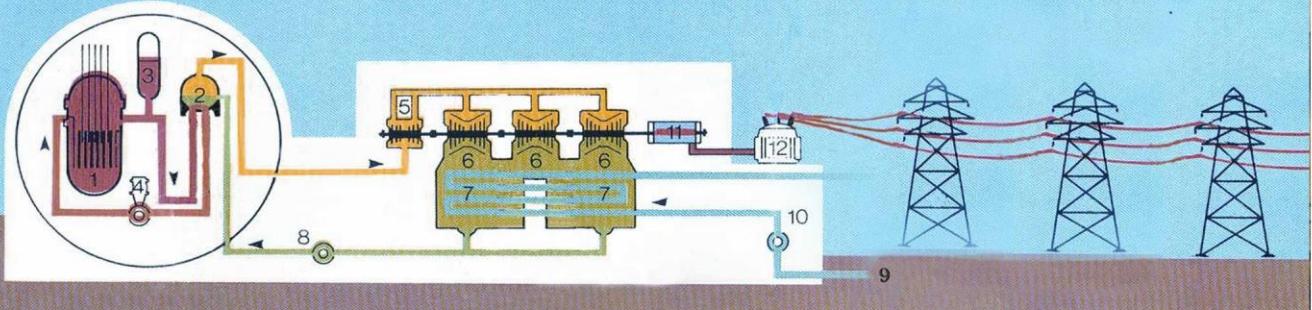
مدار خنک کننده

برای چگالش بخار خروجی از توربین، آب دریا به عنوان خنک کننده، در یک مدار کاملاً مجزا از مدار دوم توسط پمپ های سیرکولاژیون به کندانسور هدایت می‌شود و پس از برداشت گرما، از طریق یک کانال روباز به طول ۴۰۰ متر و به دنبال آن چهار تونل ۱۲۰۰ متری در زیر بستر دریا، در عمق ۷ متری به دریا باز می‌گردد.

۹. ورودی آب خنک کننده (دریا)
۱۰. پمپ سیرکولاژیون آب دریا
۱۱. ژنراتور
۱۲. ترانسفورماتور

۵. توربین فشار قوی
۶. توربین فشار ضعیف
۷. کندانسور
۸. پمپ آب کندانس

۱. راکتور
۲. مولد بخار (۴ عدد)
۳. تنظیم کننده فشار و حجم
۴. پمپ مدار اول (۴ عدد)



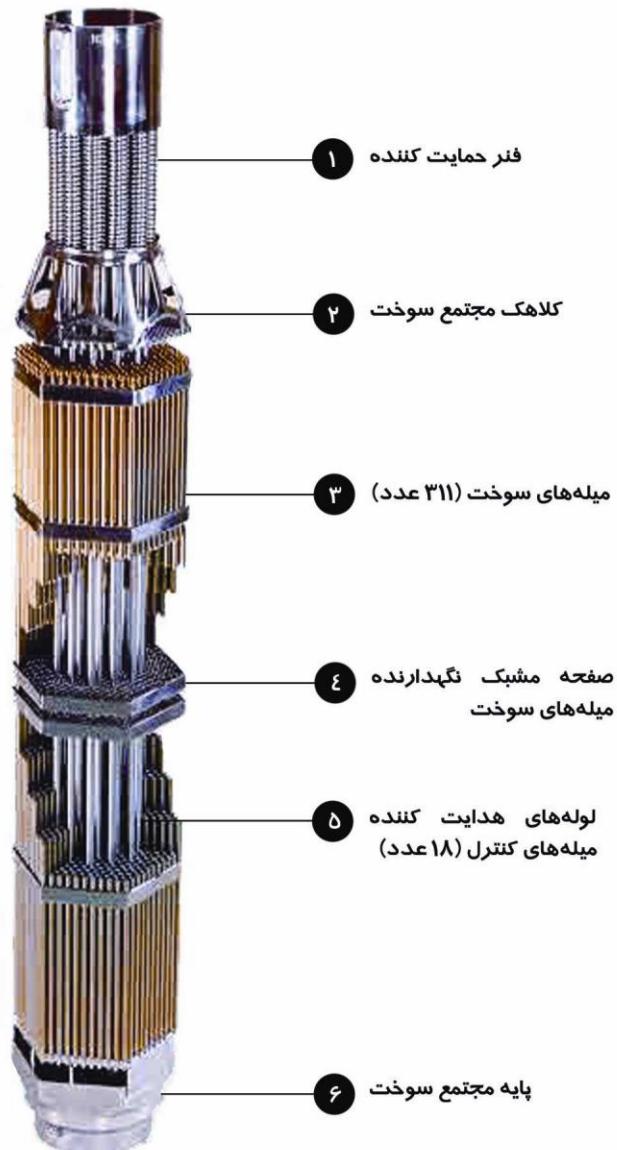
شکافت هسته‌ای

نقش اصلی راکتور در نیروگاه هسته‌ای تولید انرژی گرمایی است. فرایندی که در این راکتور سبب تولید گرما می‌شود شکافت هسته‌ای نام دارد. شکافت، فرایندی است که در طی آن یک هسته اتم سنگین به دو یا چند هسته کوچکتر تبدیل می‌شود و ضمن این عمل مقداری انرژی به صورت گرما و تابش ساطع می‌گردد.

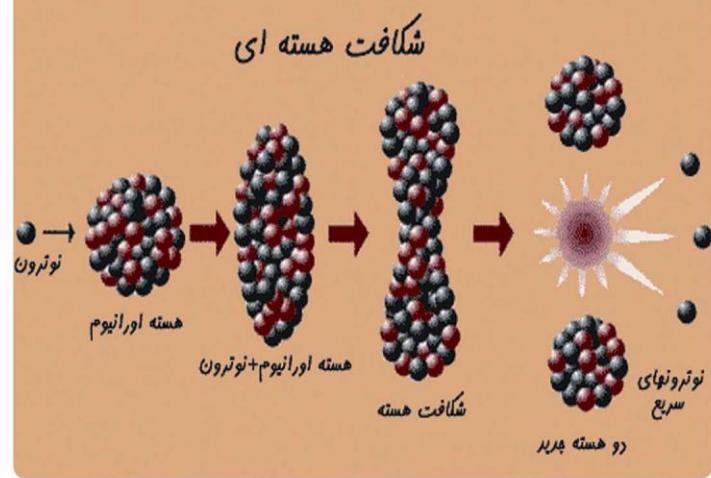
در نیروگاه هسته‌ای با آب سبک، فرایند شکافت غالباً توسط نوترون‌های حرارتی انجام می‌گیرد. هسته اورانیوم ۲۳۵ پس از جذب نوترون ناپایدار شده، به دو یا چند جز به نام شکافپاره تقسیم می‌شود. علاوه بر شکافپاره‌ها، دو تا سه نوترون بعلاوه مقداری انرژی و ذرات آلفا، بتا و تابش گاما نیز در هر شکافت بهدست می‌آید (نوترون‌های آزاد شده به طور متوسط دارای انرژی 2MeV بوده که برای انجام شکافت هسته اورانیوم ۲۳۵ باقیستی انرژی جنبشی خود را از دست داده، با اتم‌های محیط خود به تعادل حرارتی دست یابند؛ یعنی انرژی آنها به چند صدم eV برسد. این عمل در نتیجه برخورد های متواالی نوترون با هسته اتم‌های هیدروژن مولکول‌های آب درون راکتور صورت می‌گیرد). به این طریق، یک عمل شکافت می‌تواند منجر به شکافت‌های دیگری شود که آنها هم به نوبه خود شکافت‌های دیگری را به دنبال خواهند داشت. به این واکنش که به صورت تسلسلی شکل ادامه می‌یابد، واکنش شکافت زنجیره‌ای گویند. لازم به ذکر است که پایدار ماندن واکنش زنجیره‌ای در قلب راکتور مستلزم وجود جرم بحرانی در قلب راکتور می‌باشد.

انرژی آزاد شده از فرایند شکافت به گرما تبدیل می‌شود. حرارت تولید شده توسط آب مدار اول برداشت شده، به آب مدار دوم انتقال می‌یابد و در مدار دوم برای تولید بخار و چرخاندن توربین مورد استفاده قرار می‌گیرد.

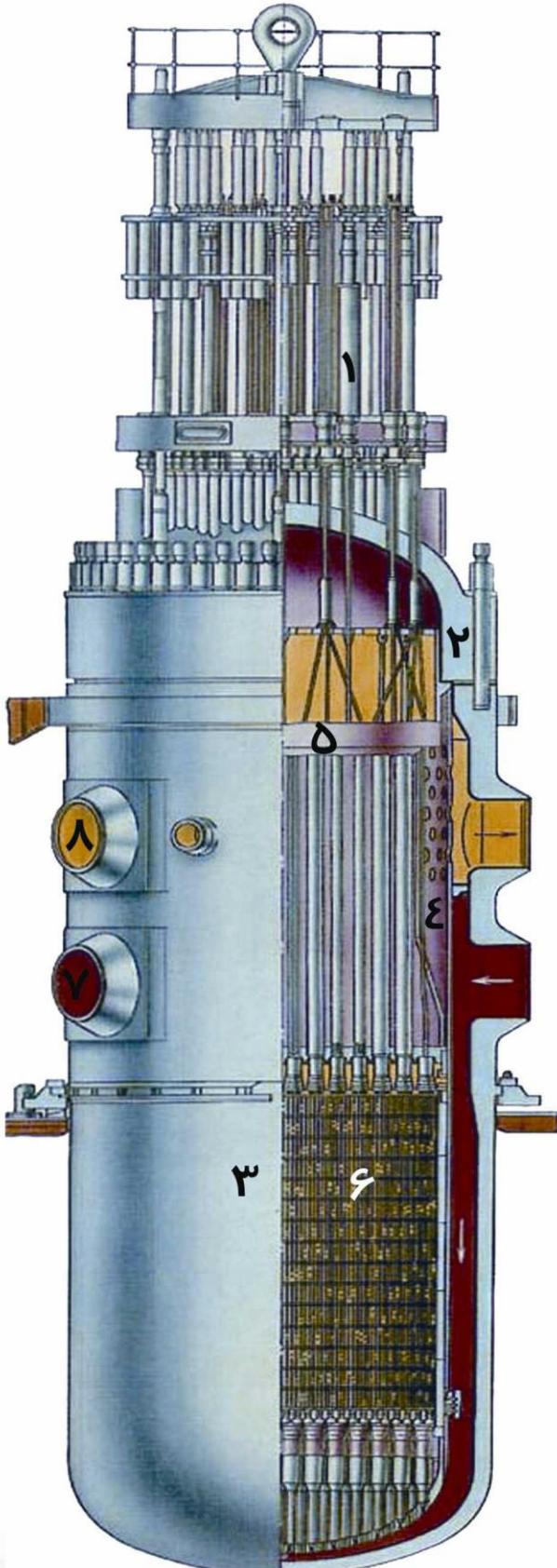
تنظیم مقدار انرژی آزاد شده در یک راکتور هسته‌ای با تعداد شکافت‌هایی که اتفاق می‌افتد، کنترل می‌گردد. این عمل با کنترل کردن تعداد نوترون‌هایی که برای انجام عمل شکافت موجود می‌باشد صورت می‌گیرد. هر چه تعداد چنین نوترون‌هایی کمتر باشد، تعداد شکافت‌ها نیز کمتر است. یکی از روش‌های رسیدن به چنین کنترلی، این است که ماده‌ای را در راکتور قرار دهند که به اسانی نوترون‌ها را جذب کند. بنابراین با تنظیم مقدار این ماده در راکتور، تعداد نوترون‌های موجود برای عمل شکافت می‌تواند به میزان مطلوب تنظیم شود.



مجتمع سوخت



راکتور



راکتور نیروگاه هسته‌ای بوشهر از نوع آب سبک تحت فشار می‌باشد که توان تولید (t) ۳۰۰۰ Mw ارژی گرمایی را داشته و متشکل از یک پوسته از جنس فولاد کربنی است که با فولاد ضد زنگ پوشش داده شده است و درون آن قلب راکتور (Core)، سیر حرارتی و نوترونی (Core baffle)، نگهدارنده قلب (Protective barrel)، محافظ کانال‌های هادی (Core barrel) Tube Unit (Upper) قرار گرفته و توسط درپوش راکتور (Unit) بسته می‌شود. آب که به عنوان کندکننده نوترون و خنک کننده استفاده می‌شود، توسط پمپ‌های مدار اول با فشار ۱۵۷ bar و حرارت ۱۵۷°C از طریق ۴ نازل خط سرد (Cold Leg) وارد راکتور می‌شود و پس از برداشت حرارت از قلب راکتور با حرارت ۲۱۰°C از طریق ۴ نازل خط گرم (Hot Leg) به سمت مولدهای بخار هدایت شده، و در آنجا با تبادل حرارت با آب مدار دوم بخار تولید می‌شود.

منبع تولید گرما، سوخت هسته‌ای از نوع دی‌اکسید اورانیوم غنی شده با غنای ۰٪، ۲/۴٪، ۶/۲٪، ۴/۲٪، ۶/۱٪ می‌باشد. سوخت هسته‌ای به صورت قرص‌های استوانه‌ای به قطر ۵/۷ و ارتفاع ۱۲ میلی‌متر ساخته شده که درون میله‌های سوخت قرار دارد.

تعداد ۳۱۱ میله سوخت با آرایش شش ضلعی، یک مجتمع سوخت را می‌سازند و تعداد ۱۶۳ مجتمع سوخت در کنار هم قلب راکتور را تشکیل می‌دهند. مکانیزم تولید گرما، واکنش هسته‌ای شکافت اورانیوم و تبدیل آن به پاره‌های شکافت سبک‌تر است که همراه با افزاد شدن انرژی و تولید نوترون برای ادامه این زنجیره است.

کنترل واکنش هسته‌ای و در نتیجه کنترل راکتور به کمک اسیدبوریک محلول در آب، به همراه میله‌های کنترل که به محرك‌های سیستم کنترل و حفاظت متصل است، انجام می‌شود.

اجزای راکتور

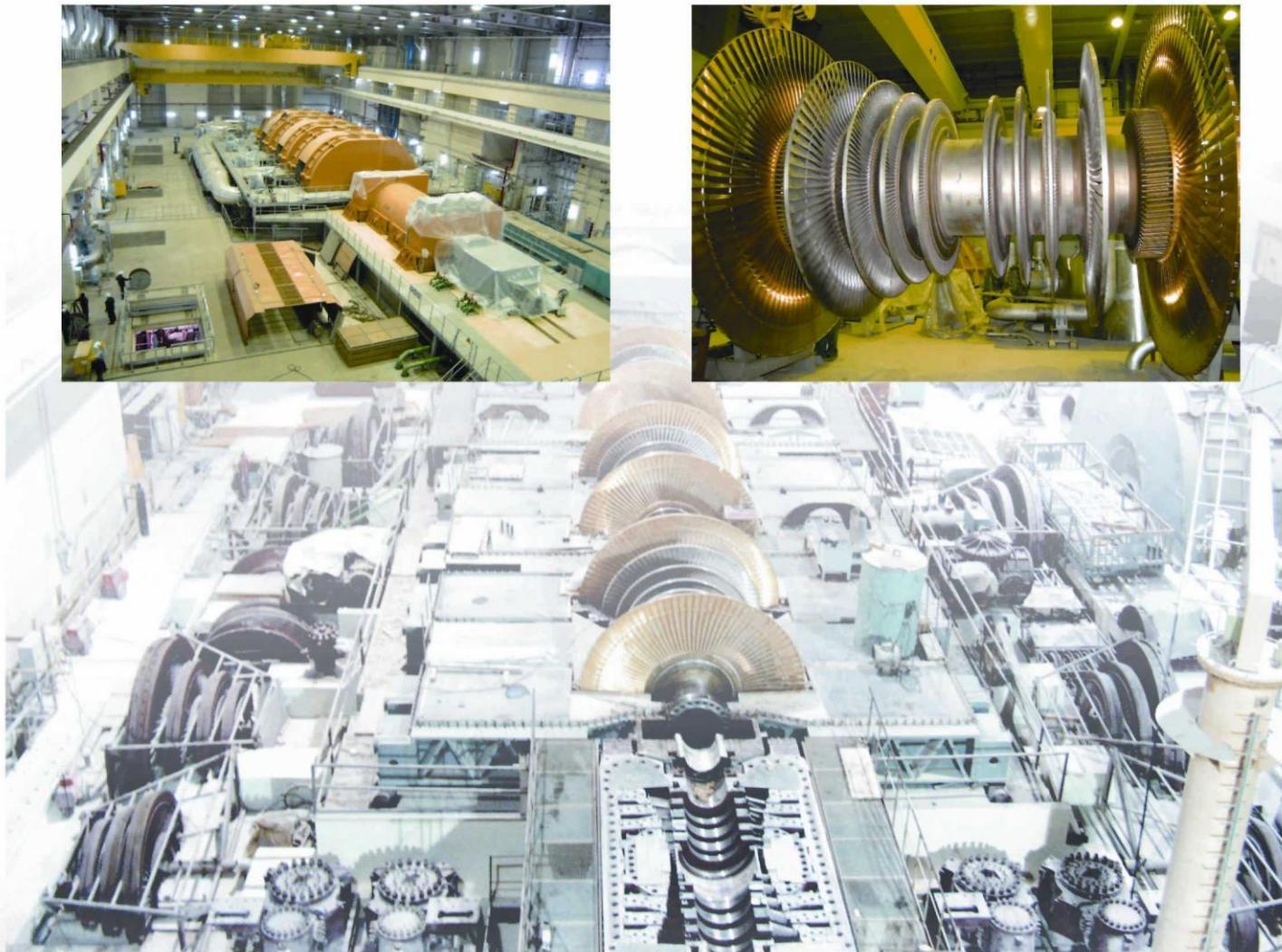
- ۱ - محرك ميله های کنترل
- ۲ - درپوش راکتور
- ۳ - پوسته اصلی راکتور
- ۴ - نگهدارنده قلب راکتور
- ۵ - محافظ کانال‌های هادی
- ۶ - قلب راکتور
- ۷ - ورودی خنک کننده
- ۸ - خروجی خنک کننده



مجموعه توربین بخار - ۳- ۱۰۰۰ - ۶۰/۳۰۰۰ K با قدرت نامی ۱۰۰۰ مگاوات و سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه جهت به حرکت درآوردن ژنراتور جریان متناوب به کار می‌رود. ژنراتور به همراه مجموعه توربین بر روی یک سازه بتنی سوار شده که این سازه به صورت مجزا از سازه اصلی ساختمان توربین، بر روی فنرهای مخصوصی (جهت خشی کردن ارتعاشات ناشی از دورهای بحرانی) قرار گرفته است. توربین نیروگاه اتمی بوشهر شامل چهار توربین از جمله یک توربین فشار بالا و سه توربین فشار پایین می‌باشد. مجموعه توربین مذکور تکمحوری و هر چهار توربین از نوع دو طرفه متقارن است که در هر طرف دارای پنج ردیف پره می‌باشند. روتور توربین‌های فشار پایین و فشار بالا به روش آهنگری و به صورت یکپارچه و بدون سوراخ مرکزی ساخته می‌شود که این کار باعث کاهش تمرکز تنفس در روتور خواهد شد.

سیکل آب و بخار نیروگاه اتمی بوشهر این‌گونه است که بخار تولید شده در مولدات بخار به ساختمان توربین هدایت و با حداکثر، رطوبت٪ ۲۰ و فشار ۵۸/۸bar وارد توربین فشار قوی شده و پس از انجام کار به علت کاهش فشار و حرارت اولیه مرتبط می‌شود. برای این که این رطوبت به پرهای توربین فشار ضعیف آسیب نرساند، بخار خشک و مجدداً گرم می‌شود تا به پارامترهای مطلوب دست یابد و پس از آن با فشار ۶/۸bar به توربین فشار ضعیف هدایت می‌شود، به دنبال آن در کندانسور تغییر حالت داده، طی مراحلی احیا شده (پیش گرم و گاززادایی گردیده و تا ۲۲۲°C) و مجدداً به مولدات بخار باز می‌گردد.

واحد توربین نیروگاه اتمی بوشهر دارای مدار پیشرفتی احیاء از جمله چهار مرحله هیتر فشار بالا و پمپ انتقال کندانس بخار گرم کننده است. تمام هیترهای فوق به غیر از دئراتور که از نوع مخلوطی است، از نوع تبادل حرارت سطحی می‌باشند. تمام هیترهای احیاء کننده غیر از هیتر فشار پایین شماره چهار و دئراتور، شامل دو پوسته می‌باشند و در دو خط موازی قرار دارند.





زنرатор:

زنرатор نیروگاه اتمی بوشهر از نوع سنکرون سه فاز می‌باشد که سیم پیچ استاتور آن با آب خنک می‌گردد. خنک‌کننده روتور و هسته استاتور آن نیز هیدروژن می‌باشد. قدرت خروجی آن ۱۰۰۰ مگاوات و دارای دو قطب بوده و با مارک صنعتی T2 - ۲ / ۲۷ - ۱۰۰۰ - TBB معرفی می‌گردد. ولتاژ خروجی استاتور آن نیز ۲۷kv می‌باشد.

سیستم کنترل:

اگر راکتور را قلب یک نیروگاه اتمی بدانیم، بدون شک سیستم کنترل و ابزار دقیق، مغز و شبکه عصبی این تأسیسات مهم و گستردگی می‌باشد. سیستم کنترل و ابزار دقیق نیروگاه اتمی بوشهر یکی از پیشرفته‌ترین سیستم‌های اتوماسیون موجود در جهان و به صورت یک سیستم کنترل توزیع شده (DCS) بوده، که از نظر لایه‌های کنترلی به سه سیستم سطح بالا (TLSU)، میانی (TPTS) و پایین (سنسورها و عملگرها) تقسیم می‌شود.

(Top Level System of the power Unit) TLSU از یک شبکه کامپیوتری با سرعت ۱۰۰ MBit/s تشکیل شده است که بالاترین لایه کنترلی نیروگاه به حساب می‌آید، اطلاعات را از سطح میانی دریافت کرده، آنها را بر روی ایستگاه‌های کاری نشان داده و امکان کنترل مرکزی را ایجاد می‌کند. تابلوهای از چندین SHC (Software Hardware Complex) تشکیل شده که وظیفه نظارت و کنترل سیستم‌ها و تجهیزات فنی را بر اساس دستورالعمل‌های جاری بهره‌برداری نیروگاه اتمی بوشهر عهده‌دار است. TLSU از طریق TPTS به Gateway متصل شده و تبادل داده می‌نماید.



امروزه از انرژی هسته‌ای به عنوان یکی از رهیافت‌های زیست محیطی برای مقابله با افزایش دمای کره زمین و کاهش آبودگی محیط زیست یاد می‌شود. در حال حاضر نیروگاه‌های هسته‌ای جهان با ظرفیت نصب شده فعلی توانسته‌اند سالانه از انتشار ۸ درصد از گازهای گلخانه‌ای در فضا جلوگیری کنند. ساخت و بهره‌برداری از تأسیسات هسته‌ای در هر کشور عضو آژانس بین‌المللی انرژی اتمی، مشمول ضوابط و مقررات ویژه ایمنی هسته‌ای و نظارت مستمر قانونی بر کلیه فعالیت‌ها در مراحل انتخاب محل، طراحی، ساخت قطعات و تجهیزات، احداث، راهاندازی، بهره‌برداری و از کاراندازی تأسیسات فوق الذکر است. لازم به ذکر است در نیروگاه‌های اتمی تمام خروجی‌ها (گازها و مایعات) به محیط اطراف از نقطه‌نظر اکتیویته و شیمیایی کنترل می‌شوند و ملزم به رعایت نرم‌ها و استانداردهای لازم می‌باشد، به طوری که در مسیر خروجی آب و گاز به محیط اطراف فیلترهای مختلفی وجود دارد که در آنها اکتیویته به صورت خودکار و پیوسته و همچنین به صورت دستی و دوره‌ای کنترل می‌شوند و تا اکتیویته آنها به حد مجاز قابل خروج نرسد، در محیط رهاسازی نمی‌شوند.

نرم مجاز برای آب‌های خروجی ۱۰-۱۱ کوری بر لیتر و برای گازهای بی‌اثر خروجی از هواکش نیروگاه ۵۰ کوری در شباهه‌روز می‌باشد. دُر مجاز دریافتی سالانه پرسنل گروه A (پرسنل راکتور) ۲۰ میلی‌سیورت و دُر دریافتی سالانه مردم منطقه از نیروگاه در حدود ۱/۰ میلی‌سیورت می‌باشد. در حالی که دز دریافتی سالانه مردم از منابع پرتوzای طبیعی، اشعه کیهانی، استفاده‌های پزشکی و انجرارات اتمی حدود ۲/۳ میلی‌سیورت می‌باشد. مقدار دُر مجاز دریافتی ساکنین اطراف نیروگاه‌های هسته‌ای بسیار کمتر از مقدار مجاز آن می‌باشد و در مقایسه با دُر دریافتی آنان از دیگر منابع پرتوza بسیار اندک است.



نمودار ایمنی

- | | |
|--------------------------------|----------------------|
| ۹. سیستم خنک کنندۀ اضطراری قلب | ۱. راکتور |
| ۱۰. پمپ تزیریق اضطراری | ۲. مولد بخار |
| ۱۱. مخزن ذخیره محلول اسیدبوریک | ۳. پمپ اصلی مدار اول |
| ۱۲. تأسیسات تهویه | ۴. حفاظ بیولوژیکی |
| ۱۳. تأسیسات فیلتراسیون | ۵. محوطه تردد |
| ۱۴. سیستم دفع گرمای پسماند | ۶. کره فولادی |
| ۱۵. سیستم کنترل خلاء | ۷. پوشش بتنی |
| ۱۶. محفظه آب آلوده کره فولادی | ۸. هواکش |

در حال حاضر در سراسر دنیا ایمنی نیروگاه‌های هسته‌ای بر پایه "دفاع در عمق" بنا نهاده می‌شود. چنین دیدگاهی طراحان را بر آن وامی دارد تا سلسله‌ای از حایلهای فیزیکی را به صورت پشت سر هم در مسیر انتشار مواد رادیواکتیو به محیط مدنظر قرار دهند. وجود چند لایه حایل فیزیکی از آثار سوء مواد رادیواکتیو به پرستل بهره‌بردار، محیط پیرامون نیروگاه و مردمی که در اطراف نیروگاه زندگی می‌کنند، جلوگیری می‌نماید. این حایلهای به ترتیب عبارتند از: شبکه سرامیکی قرص‌های سوخت، غلاف میله‌های سوخت، تجهیزات مدار اول، کره فولادی و در نهایت کره بتونی. لازم به ذکر است که بیش از ۹۸٪ محفولات شکافت (مواد رادیواکتیو) در داخل شبکه سرامیکی قرص‌های سوخت محبوس می‌گردند.

واحد اول نیروگاه هسته‌ای بوشهر از راکتور آب تحت فشار نوع VVER-۱۰۰۰ مدل V-۴۴۶ تشکیل یافته که از نظر ساختاری و اساس کار، کاملاً با نیروگاه هسته‌ای غربی با راکتور PWR می‌باشد و متناظر با نیروگاه‌های هسته‌ای ذاتی هستند، بدین معنی که با افزایش قدرت که دارای ایمنی ذاتی هستند، دمای آب در آن افزایش یافته که این نیز به نوبه خود باعث کاهش قدرت نیترونی و مهار واکنش زنجیره‌ای شکافت پایا در قلب راکتور می‌گردد.

در صورت بد خطر افتادن نیروگاه و پایین آمدن شاخص‌های ایمنی آن، طبق دستورالعمل‌های بهره‌برداری نیروگاه، قدرت راکتور تا سطح لازم کاهش داده شده، یا اساساً خاموش می‌گردد تا ایمنی راکتور به سطح مورد نظر رسانده شود. در صورت بروز احتمالی حادثه، سیستم‌های چهار کاتاله ایمنی، وظیفه خاموش کردن راکتور و برداشت انرژی حرارتی پس‌ماند قلب راکتور را به عهدده دارند. وجود یک کانال و عملکرد درست آن در هنگام بروز حادثه کاملاً کفایت می‌کنند و وجود سه کانال دیگر جهت بالا بردن ضریب اطمینان عمل سیستم در نظر گرفته شده است. این کاتاله‌ها کاملاً از هم‌دیگر جدا بوده و مستقل عمل می‌کنند.

وظیفه سیستم‌های ایمنی در هنگام بروز احتمالی حادثه:

- ۱- متوقف کردن واکنش زنجیره‌ای شکافت هسته‌ای پایا
- ۲- خنک کردن راکتور ۳- محدود نمودن آثار حادثه می‌باشد.

این سیستم‌ها مجهز به دیزل ژنراتورهای خاص خود بوده که در صورت قطعی کامل برق در نیروگاه، می‌توانند به کار خود ادامه دهند.

ساختمان راکتور در مقابل برخورد مستقیم هوایی‌مای غول پیکر بوینگ ۷۴۷، هوایی‌ماهی جنگی و زلزله‌ای به شدت ۸ ریشتر مقاوم بوده و در صورت بروز چنین سوانحی هیچ صدمه‌ای به تأسیسات راکتور و قلب آن وارد نمی‌شود و سیستم کنترل و حفاظت خودکار نیروگاه به راحتی آن را خاموش و به وضعیت ایمن می‌رساند.

