

Evolucí k vyšší bezpečnosti jaderných elektráren

Jaderné elektrárny za svých více jak 60 let provozu prošly značnými změnami, které přispívají jednak k efektivnosti výroby elektřiny, ale především k bezpečnosti provozu. Po celém světě dnes probíhá výstavba prvních bloků generace III+, která posouvá bezpečnost opět o kus dále. Prvním provozovaným blokem tohoto typu bude první blok ruské Novovoronežské jaderné elektrárny II, který je vybaven řadou inovativních bezpečnostních systémů. Mnohé z těchto systémů byly použity i v projektu čínské jaderné elektrárny Tchien-wan a indické Kudankulam.

OD PRVNÍCH ELEKTRÁREN K POKROČILÝM TLAKOVODNÍM REAKTORŮM

Za první komerční jadernou elektrárnu je považován reaktor AM-1 v Obninsku, který byl v roce 1954 jako první připojen do veřejné sítě a dodal tak elektřinu pro domácnosti i průmysl. S dalším vývojem ruských jaderných elektráren je velmi těsně spjata Novovoronežská jaderná elektrárna, kde byl v roce 1964 uveden do provozu prototyp reaktoru typu VVER, který později doznal značného rozšíření nejen v zemích bývalého Východního bloku. Zajímavé je, že tato elektrárna souvisí i s budoucností jaderné energetiky, protože jsou zde stavěny první bloky pokročilých reaktorů VVER-1200 patřících do generace III+.

Na dvou blocích této elektrárny, jejichž výstavba je postupně dokončována a probíhá příprava na fyzikální spouštění, najdeme ty nejmodernější bezpečnostní systémy, které podstatně posouvají bezpečnost provozu. Tento projekt je realizován také na ruské Leningradské JE II, na Baltické JE, na běloruské Ostrovecské JE a je plánován ve finském Hanhikivi, maďarské Pakši a tureckém Akkuyu.

Pro ruské projekty je příznačný evoluční vývoj, takže ani reaktory VVER-1200 nejsou skokem do technologií realizovaných prozatím pouze na papíře, ale opírají se o modifikace technologií, s nimiž máme provozní zkušenosti. Většina inovativních systémů, s nimiž se setkáme na reaktorech VVER-1200, tak byla použita v projektu indické jaderné elektrárny Kudankulam a čínské JE Tchien-wan. Ruská společnost Atomstrojexport, která patří do ruské korporace pro atomovou energii Rosatom, postavila v této indické elektrárně dva bloky s reaktory VVER-1000, první z nich byl 31. prosince 2014 předán do ročního garančního provozu a druhý je nyní připravován na energetické spuštění. Výstavba dalších dvou bloků stejného typu má začít na jaře roku 2016.

PASIVNÍ PŘÍSPĚVKY KE ZVÝŠENÍ BEZPEČNOSTI

Na jaderné elektrárně Kudankulam byla posílena role pasivních bezpečnostních systémů, tj. takových, které ke svému spuštění ani provozu nepotřebují elektřinu z vnějšího zdroje a zásah operátora bloku. Spoléhají výhradně na fyzikální principy jako například gravitace, přirozené proudění vody při spodním ohřevu a přenos tepla.

Jedním z těchto bezpečnostních systémů je SBVB, což je systém pro rychlé zastavení řetězové štěpné reakce. Jde o zálohu běžných bezpečnostních systémů, což jsou například



Indická jaderná elektrárna Kudankulam s „korunou“ na střeše reaktorové budovy

havarijní tyče obsahující bor, který velmi dobře absorbuje neutrony, a brání jim tak štěpit další jádra. Pokud by nastala situace, že je nutno jaderný reaktor okamžitě odstavit, ať už automaticky či zásahem obsluhy, dojde k pádu havarijních tyčí do aktivní zóny a po něco málo více jak vteřině i k zastavení řetězové reakce.

Pokud by z nějakého důvodu došlo k tomu, že po čtyřech sekundách od vydání signálu k okamžitému zastavení řetězové štěpné reakce neklesne výkon reaktoru pod 15 %, přichází ke slovu systém SBVB. Tento systém dokáže

během okamžiku vstříknout do primárního okruhu koncentrovaný roztok kyseliny borité, která zastaví řetězovou reakci. Dochází k tomu na pasivním principu, tedy samočinně a bez nutnosti dodávky elektrického proudu.

JADERNÉ ELEKTRÁRNY S KORUNOU

Po zastavení řetězové reakce činnost bezpečnostních systémů nekončí. Reaktor má stále zbytkový výkon, který je natolik velký, že pokud nebude palivo adekvátně chlazeno, může dojít k jeho poškození přehřátím. Zůstává tak



První blok Novovoronežské JE II, na němž je dobře vidět koncová část systému pro pasivní odvod tepla z aktivní zóny



Lapač taveniny na staveništi Novovoronežské JE II

nutné i nadále zajistit oběh vody mezi reaktorem a tepelnými výměníky, což mají na starosti elektrická čerpadla. Jejich napájení je několikanásobně zálohováno bateriemi a dieselgenerátory.

Při zajišťování bezpečnosti jaderných elektráren je nutné uvažovat stylem: „Co by kdyby...“. Konstruktoři reaktorů VVER z projekční kanceláře OKB Hidropress, která patří do Rosatomu, tak uvažovali, co by se stalo, kdyby nastal nejhorší možný scénář a nebyly provozuschopné veškeré zálohy napájení čerpadel. I na tuto krajně nepravděpodobnou eventualitu tedy připravili své reaktory.

Nové reaktory typu VVER tak jsou vybaveny systémem nazývaným SPOT. Jde o zkratku ruských slov, které znamenají systém pro pasivní odvod tepla. Dá se snadno rozpoznat na fotografiích elektrárny, protože jeho koncová část představuje jakousi korunku na střeše reaktorové budovy. Tento systém má za úkol odvádět teplo z primárního okruhu do atmosféry a k jeho spuštění dojde samočinně v případě



První a druhý blok Novovoronežské JE - vývojové verze reaktorů VVER-440, které předcházely komerčním typům

zvýšení tlaku v primárním okruhu nad provozní parametry, které doprovází výpadek aktivních chladicích systémů.

Teplo je z primárního okruhu odebráno v kolektoru parogenerátoru, což je komponenta sloužící k předávání tepla z primárního okruhu do sekundárního, čímž za normálního provozu vzniká pára roztáčející turbínu s elektrogenerátorem. Regulační ventily systému SPOT jsou řízeny samotnou párou, takže v případě potřeby je systém uveden do chodu bez zásahu personálu. Pára je odváděna z parogenerátoru do tepelných výměníků na střeše budovy, kde je chlazená vzduchem a po kondenzaci se vrací zpět do parogenerátoru. Cirkulace páry je vyvolána přirozeným oběhem, není jí tedy nutné hnát pomocí čerpadel, a stejně tak na pasivním principu prochází i vzduch tepelnými výměníky.

Účelem tohoto systému je tedy dochlazení reaktor po odstavení v případě výpadku aktivních bezpečnostních systémů, které to mají na starosti za běžného provozu i při mimořádných situacích. Tím obsluha bloku získá dostatek času pro obnovení funkce aktivních systémů, které pak budou pokračovat v chlazení odstaveného reaktoru.

CO KDYŽ SELŽE VŠE...

Konstruktoři jaderných reaktorů musí také uvažovat variantu, že dojde k totálnímu selhání

všech bezpečnostních systémů a i za těchto okolností minimalizovat následky havárie. Pravděpodobnost havárie natolik závažné, že dojde k poškození paliva, je pro reaktory VVER řádově 10^{-6} (statisticky tedy k takové havárii dojde jednou za přibližně milion let provozu). Pokud nebude po dlouhou dobu zajištěno adekvátní chlazení jaderného paliva v aktivní zóně, může dojít k jeho úplnému roztavení a protavení stěnou reaktoru. Vzniklá tavenina má teplotu přes $2\ 500^{\circ}\text{C}$ a chladne jen velmi pomalu, protože obsahuje radioaktivní štěpné produkty, které se samovolně dále rozpadají a uvolňují další teplo.

Nové jaderné elektrárny ruské konstrukce proto obsahují tzv. lapač taveniny, který je konstruován tak, aby tuto taveninu zachytil, zabránil nahromadění kritického množství, v němž by mohla probíhat řetězová reakce, a zajistil jeho postupné chlazení. I za těch úplně nejkrásnějších okolností je tedy zajištěna bezpečná izolace taveniny od životního prostředí, což podstatně usnadňuje činnost při likvidaci následků havárie. A tím se dostáváme až k poslednímu bezpečnostnímu systému, který slouží jako ta úplně nejzávažnější záloha a který je možné na jaderné elektrárně instalovat.

Vladislav Větrovec,
www.atominfo.cz

Evolution towards greater safety of nuclear power plants

Nuclear power plants for their more than 60 years of operations have undergone considerable changes that contribute both to the efficiency of electricity generation, and also to the safety of the operation. Nowadays, around the whole world the construction of the first blocks of generation III+ is happening, which is increasing safety even further. The first operated block of this type is going to be the block of the Russian Novovoronezh Nuclear Power Plant II, which is equipped with numerous innovative safety systems. Many of these systems have been used in the project of the Chinese nuclear power plant Tchien-wan and also the Indian one Kudankulam.

Постоянное улучшение безопасности атомных электростанций

За 60 лет своего существования атомные электростанции претерпели значительные изменения, которые привели, с одной стороны, к эффективности производства электроэнергии, а с другой - к безопасности эксплуатации. Во всем мире сейчас проходит строительство первых блоков поколения III+, которое продвигает безопасность еще немного вперед. Первым блоком этого типа, введенным в эксплуатацию, будет первый блок русской Нововоронежской атомной электростанции II, который оборудован целым рядом инновационных систем безопасности. Многие из этих систем были использованы в проектах китайской атомной электростанции Тчен-ван и индийской Куданкулам.