

Mgr inż. EWA FISZER
Politechnika Śląska

CHŁODZIWA REAKTOROWE

W reaktorze jądrowym w wyniku rozszczepienia jąder atomowych paliwa wydzielą się energia cieplna. Wobec tego reaktor musi posiadać odpowiedni układ chłodzenia zapewniający ciągłe odprowadzanie ciepła i zabezpieczający reaktor przed przegrzaniem.

W przypadku reaktorów o małej mocy, reaktorów doświadczalnych, w których nie wykorzystuje się wytwarzanego ciepła, układ chłodzenia może być stosunkowo prosty, a i wymagania stawiane zarówno czynnikom chłodzącym jak i materiałom konstrukcyjnym są mniejsze. W wypadku jednak reaktorów energetycznych, gdzie występują duże gęstości mocy i gdzie w celu ekonomicznego wytwarzania energii temperatura robocza powinna być jak najwyższa, są większe trudności z doбором odpowiedniego chłodziwa i materiałów konstrukcyjnych. Obiegi cieplne reaktorów energetycznych są też bardziej skomplikowane.

Proces odbioru ciepła przez chłodziwo od elementu paliwowego zależy od:

- 1) wymiarów i kształtu kanału roboczego,
- 2) temperatury paliwa i koszulek elementów paliwowych oraz kształtu elementów paliwowych,
- 3) fizycznych własności i natężenia przepływu chłodziwa.

Dobre chłodziwo reaktorowe powinno posiadać następującą charakterystykę:

- 1) dobre własności cieplne, tj. duże ciepło właściwe i znaczną przewodność cieplną,
- 2) niewielkie zużycie mocy na pompowanie,
- 3) niskie ciśnienie nasycenia przy wysokich temperaturach i niską temperaturę topnienia,
- 4) odporność na wysoką temperaturę i na promieniowanie,

- 5) niską agresywność chemiczną względem materiałów konstrukcyjnych,
- 6) mały przekrój czynny na pochłanianie neutronów,
- 7) niską radioaktywność nabytą po przejściu przez strefę aktywną reaktora,
- 8) niewielki koszt.

Wymienione wyżej wymagania nie są w pełni realizowane przez żadne z dotychczas stosowanych chłodziw. Wybór chłodziwa w określonym przypadku stanowi kompromis między krańcowo różnymi wymaganiami.

W technice reaktorowej stosuje się następujące chłodziwa:

- 1) woda zwykła i ciężka,
- 2) gazy,
- 3) ciekłe metale,
- 4) substancje organiczne.

Woda zwykła i ciężka

Podstawową zaletą stosowania wody jako chłodziwa w reaktorze jest jej niski koszt i dostępność. Woda spełnia w reaktorze równocześnie rolę chłodziwa i moderatora. Woda zwykła charakteryzuje się jednak stosunkowo dużym przekrojem czynnym na pochłanianie neutronów termicznych. Tej cechy ujemnej nie posiada natomiast woda ciężka D_2O . Poprawienie ekonomii neutronów pozwala na osiągnięcie stanu krytycznego reaktora z ciężką wodą przy znacznie mniejszej masie materiału rozszczepialnego oraz umożliwia użycie uranu naturalnego jako paliwa. Wysoki koszt otrzymywania D_2O powoduje, że była ona stosowana jedynie w reaktorach laboratoryjnych, w których całkowita objętość potrzebnej ciężkiej wody nie jest duża.

Chłodziwa gazowe

Chłodziwa gazowe mogą mieć zastosowanie w cyklu z turbiną gazową lub w dwubiegowym systemie z wodą w obiegu energetycznym.

W pierwszym przypadku można otrzymać bardzo wysoką sprawność ale potrzebne jest utrzymanie bardzo wysokich temperatur, co prowadzi do trudności konstrukcyjnych tak w samym reaktorze jak i na zewnątrz reaktora. W obu przypadkach niezbędne jest

stosowanie wysokich ciśnień, bo gazy mają przy niskich ciśnieniach małą pojemność cieplną i niskie współczynniki wnikania i przewodzenia ciepła.

Cechą dodatnią chłodziw gazowych, charakteryzujących się niskim wychwytem neutronów jest możliwość zastosowania uranu naturalnego jako paliwa reaktorowego. Oprócz tego gazy odznaczają się stosunkowo stałymi własnościami w szerokim zakresie temperatur, odpornością na promieniowanie, pasywnością chemiczną i zapewniają duże bezpieczeństwo pracy reaktora. Gazami mogącymi spełniać rolę chłodziwa reaktorowego są: powietrze, azot, hel i dwutlenek węgla, przy czym najszersze zastosowanie znalazło powietrze i CO₂. Powietrze jest stosowane w wielu reaktorach pracujących przy małych gęstościach mocy, zaś sprężony dwutlenek węgla został zastosowany w angielskich reaktorach energetycznych.

Ciekłe metale

Ciekłe metale mogą być stosowane przede wszystkim jako chłodziwa w reaktorach o dużym strumieniu cieplnym i wysokich temperaturach roboczych. Mają one doskonałe własności cieplne: dużą przewodność, małą prężność par, a metale o mniejszym ciężarze atomowym jak sód i lit mają stosunkowo duże ciepło właściwe i dużą objętościową pojemność cieplną. Ciekłe metale wykazują również dużą odporność na działanie wysokich temperatur oraz promieniowania.

Główną wadę ciekłych metali stanowi trudność posługiwania się nimi oraz działanie korodujące występujące w wysokich temperaturach, w których jednak nie może być już stosowana żadna inna ciecz. Istotną wadą ciekłych metali jest to, że napromieniowane neutronami stają się silnie radioaktywne co stwarza duże trudności eksploatacyjne i konstrukcyjne. Z drugiej strony jednak niektóre metale np. Hg posiadają znacznie mniejszy przekrój czynny na pochłanianie neutronów prędkich, co pozwoliło stosować je jako chłodziwo w reaktorach prędkich. Dobra rozpuszczalność uranu w Bi zwróciła uwagę na możliwość budowy reaktorów z płynnym paliwem. Srebro branych pod uwagę chłodziw metalicznych takich jak bizmut, ołów, sód, potas, lit, rtęć, oraz stopy Na-K, Pb-Bi, wydaje się, że sód jest najbardziej odpowiedni^a do zastosowania go w charakterze chłodziwa reaktorowego. Zasadniczą jego wadę stanowi niebezpieczeństwo pożaru i wybuchu przy zetknięciu z wodą. W celu uniknięcia zetknięcia sodu z wodą stosu-

je się pętlę pośrednią między sodowym obiegiem pierwotnym i wodnym obiegiem energetycznym.
W Pętli pośredniej może krążyć ten sam płynny metal co i w obiegu pierwotnym.

Substancje organiczne

Jako chłodziwa reaktorowe są również brane pod uwagę substancje organiczne takie jak izopropyl, dwufenyl oraz mieszaniny izomerów terfenylu (meta, orto, para) znane pod nazwą Santowax-R, Santowax-OM, Santowax-OMP. Czynniki te wykazują dużą trwałość termiczną, ulegają tylko nieznacznej aktywacji przy przepływie przez rdzeń reaktora, mają niską aktywność chemiczną w stosunku do materiałów konstrukcyjnych oraz dobre własności moderowania neutronów. Budowę reaktorów z chłodziwem organicznym uktwiają wysokie temperatury nasycenia pary przy niskich ciśnieniach. Np. w przypadku Santowaxu R ciśnieniu 1 ata odpowiada temperatura nasycenia $t_s = 371^{\circ}\text{C}$, a przy podwyższeniu ciśnienia do $p = 14$ ata temperatura nasycenia urasta do $493,5^{\circ}\text{C}$. Główną wadą chłodziw organicznych jest ich częściowa polimeryzacja pod wpływem promieniowania i wysokich temperatur w reaktorze, co powoduje konieczność ciągłego oczyszczania chłodziwa w czasie eksploatacji.

Produkty polimeryzacji są składnikami wysokowrzącymi. Ich obecność wybitnie pogarsza własności cieplne substancji organicznych w wyniku czego powoduje wzrost mocy przetłaczania chłodziwa przez układ.

Wpływ temperatury na tworzenie się ciężkich polimerów jest mniejszy od wpływu promieniowania, jednak po przekroczeniu charakterystycznych temperatur, tzw. temperatur progowych, przy jednoczesnym napromieniowaniu, związki organiczne ulegają przyspieszonemu rozkładowi.