

TỔNG LUẬN THÁNG 04/2011

**LỘ TRÌNH PHÁT TRIỂN CÔNG NGHỆ
NĂNG LƯỢNG HẠT NHÂN VÀ DỰ BÁO
TRIỂN VỌNG TRONG TƯƠNG LAI**

CỤC THÔNG TIN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ QUỐC GIA

Địa chỉ: 24, Lý Thường Kiệt. Tel: 8262718, Fax: 9349127

Ban Biên tập: TS. Tạ Bá Hưng (Trưởng ban), ThS. Cao Minh Kiểm (Phó trưởng ban), ThS. Đặng Bảo Hà, Nguyễn Mạnh Quân, ThS. Nguyễn Phương Anh, Phùng Anh Tiến.

MỤC LỤC

	<i>Trang</i>
LỜI GIỚI THIỆU	1
I. NĂNG LƯỢNG HẠT NHÂN: MỘT SỐ KHÁI NIỆM CƠ BẢN	3
1. Năng lượng hạt nhân: tổng hợp, phân hạch hạt nhân	3
2. Công nghệ lò phản ứng hạt nhân, chu trình	6
3. Chất thải	8
4. An toàn hạt nhân, sự cố hạt nhân và phóng xạ	10
5. Điều phối quốc tế về năng lượng hạt nhân	18
II. SỰ PHÁT TRIỂN CÔNG NGHỆ NĂNG LƯỢNG HẠT NHÂN	22
1. Công nghệ lò phản ứng hạt nhân thế hệ I, II và III	22
2. Công nghệ năng lượng hạt nhân thế hệ IV và lộ trình phát triển	33
3. Công nghệ chu trình nhiên liệu hạt nhân	48
III. HIỆN TRẠNG VÀ DỰ BÁO TRIỂN VỌNG NĂNG LƯỢNG HẠT NHÂN THẾ GIỚI	51
1. Hiện trạng năng lượng hạt nhân thế giới	51
2. Dự báo về triển vọng năng lượng hạt nhân toàn cầu	56
KẾT LUẬN	61
TÀI LIỆU THAM KHẢO	64

LỜI GIỚI THIỆU

Dân số thế giới được cho là sẽ tăng từ 6 tỷ người hiện nay lên mức 9 tỷ vào năm 2050, và mọi người đều ra sức nỗ lực để có được chất lượng cuộc sống tốt hơn. Dân số trên trái đất tăng lên, cùng với đó là nhu cầu về năng lượng cũng như những ích lợi mà nó mang lại. Tuy nhiên, việc gia tăng sử dụng năng lượng đơn thuần chỉ dựa vào các nguồn năng lượng đang được sản xuất hiện nay sẽ tiếp tục gây những tác động bất lợi đến môi trường và có thể dẫn đến những hậu quả lâu dài từ sự biến đổi khí hậu toàn cầu. Để thỏa mãn nhu cầu của dân số ngày càng tăng trên toàn cầu, chúng ta cần tăng sử dụng các nguồn năng lượng sạch, an toàn, và hiệu suất cao. Năng lượng hạt nhân là nguồn cung ứng năng lượng sạch, thu hút được nhiều sự chú ý.

Hiện nay trên thế giới có hơn 440 lò phản ứng hạt nhân thương mại đang hoạt động tại 30 nước với tổng công suất là 377.000 MW điện, cung cấp khoảng 14% sản lượng điện thế giới, chiếm tỷ trọng lớn nhất trong số các nguồn năng lượng không phát thải khí nhà kính. Việc sử dụng năng lượng hạt nhân dẫn đến một sự suy giảm đáng kể tác động môi trường từ việc sản xuất điện hiện nay. Để tiếp tục lợi ích này, cần có các hệ thống năng lượng hạt nhân mới thay thế cho các nhà máy cũ đã gần hết thời hạn hoạt động. Cho đến nay thế giới đã trải qua ba thế hệ phát triển công nghệ năng lượng hạt nhân, với thế hệ đầu tiên được triển khai trong những năm 1950 và 1960 của thế kỷ trước. Thế hệ thứ II bắt đầu từ những năm 1970 và nhiều nhà máy điện hạt nhân thương mại vẫn còn hoạt động cho đến nay. Thế hệ thứ III được phát triển gần đây hơn trong những năm 1990 với một số tiến bộ về độ an toàn và kinh tế. Thế hệ III tiên tiến hay còn gọi là thế hệ III+ là những mẫu thiết kế đã được triển khai và đang được cân nhắc xây dựng tại nhiều nước. Các nhà máy mới được xây dựng từ nay đến năm 2030 nằm trong số các hệ thống thuộc thế hệ này. Sau năm 2030, triển vọng về những tiến bộ đổi mới thông qua các hoạt động R-D tiên tiến đang thu hút mối quan tâm trên phạm vi toàn thế giới về một thế hệ thứ IV các hệ thống năng lượng hạt nhân.

Các hệ thống năng lượng hạt nhân thế hệ IV được kỳ vọng là những hệ thống năng lượng tiên tiến, đáp ứng được các yêu cầu về độ an toàn, độ tin cậy, giải quyết được vấn đề chất thải và chống phổ biến vũ khí hạt nhân, cũng như các mối quan tâm khác. Nhiều quốc gia trên thế giới đang tích cực xúc tiến các hoạt động NCPT và hợp tác quốc tế nhằm hiện thực hóa những ích lợi mà các hệ thống thuộc thế hệ thứ IV có thể mang lại trong vòng vài thập kỷ tới. Năng lượng hạt nhân nếu được sử dụng vì mục đích hòa bình, vận hành theo cách an toàn, tin cậy thì có thể mang lại lợi ích to lớn cho tất cả mọi người thuộc các quốc gia phát triển cũng như đang phát triển. **CỤC THÔNG TIN KH&CN QUỐC GIA** biên soạn tổng quan mang tên: "**LỘ TRÌNH PHÁT TRIỂN CÔNG NGHỆ NĂNG LƯỢNG HẠT NHÂN VÀ DỰ BÁO TRIỂN VỌNG TRONG TƯƠNG LAI**" nhằm giới thiệu với các độc giả về quá trình phát triển năng lượng hạt nhân, cùng với sự tiến bộ không ngừng về thiết kế mẫu mã và công nghệ lò phản ứng hạt nhân, cũng như triển vọng năng lượng hạt nhân được dự báo trong tương lai.

Xin trân trọng giới thiệu.

CỤC THÔNG TIN KH&CN QUỐC GIA

I. NĂNG LƯỢNG HẠT NHÂN: MỘT SỐ KHÁI NIỆM CƠ BẢN

1. Năng lượng hạt nhân: tổng hợp, phân hạch hạt nhân

Năng lượng hạt nhân là việc sử dụng phản ứng phân hạch hạt nhân được duy trì liên tục để sản sinh ra nhiệt sử dụng cho các mục đích hữu ích. Các nhà máy điện hạt nhân, tàu thủy và tàu ngầm hải quân sử dụng năng lượng hạt nhân có kiểm soát để đun sôi nước và tạo ra hơi, bên cạnh đó trong vũ trụ năng lượng hạt nhân phân rã tự nhiên từ một nguồn phát sinh nhiệt điện đồng vị phóng xạ. Phương pháp duy nhất được sử dụng hiện nay để tạo ra năng lượng là phân hạch hạt nhân, mặc dù các phương pháp khác có thể bao gồm tổng hợp hạt nhân và phân rã phóng xạ. Các nhà khoa học đang thử nghiệm năng lượng tổng hợp cho thế hệ tương lai, nhưng những thử nghiệm này cho đến nay vẫn chưa sản sinh ra được năng lượng hữu ích.

Vào thời điểm năm 2005, năng lượng hạt nhân cung cấp 6,3% năng lượng thế giới và 15% lượng điện của thế giới, với Hoa Kỳ, Pháp và Nhật Bản gộp lại chiếm tới 56,5% lượng điện hạt nhân được sản xuất ra. Trong năm 2007, theo báo cáo của IAEA (Cơ quan năng lượng nguyên tử quốc tế) cho biết, cả thế giới có 439 lò phản ứng hạt nhân hoạt động tại 31 quốc gia. Vào thời điểm tháng 12 năm 2009, thế giới có 436 lò hoạt động. Theo số liệu được cập nhật đến tháng 2 năm 2011 của WNA (Hiệp hội hạt nhân thế giới) cho biết, cả thế giới có 56 lò phản ứng hạt nhân phục vụ nghiên cứu dân sự, 440 lò phản ứng thương mại hoạt động tại 30 quốc gia với tổng công suất lắp đặt đạt trên 377.000 MWe. Có hơn 60 lò phản ứng hạt nhân đang trong quá trình xây dựng tương đương 17% công suất hiện tại, hơn 150 lò đang được lên kế hoạch tương đương 46% công suất hiện tại.

Hoa Kỳ là nước sản xuất nhiều năng lượng hạt nhân nhất, với năng lượng hạt nhân đang cung cấp đến 19% lượng điện tiêu thụ tại nước này, trong khi Pháp là nước có tỷ trọng năng lượng điện sản xuất từ các lò phản ứng hạt nhân cao nhất - đạt 80% vào năm 2006. Trong toàn bộ khu vực EU, năng lượng hạt nhân cung cấp 30% sản lượng điện. Các quốc gia thuộc EU có các chính sách năng lượng hạt nhân khác nhau, và một số nước như Áo, Estonia và Ailen không có các nhà máy điện hạt nhân hoạt động. Tại Hoa Kỳ, trong khi ngành than đá và khí đốt được dự đoán đạt trị giá 85 tỷ USD vào năm 2013, các máy phát điện hạt nhân được dự đoán sẽ có trị giá 18 tỷ USD.

Nhiều tàu quân sự và dân dụng (như tàu phá băng) sử dụng động cơ đẩy hạt nhân hàng hải. Một vài tàu vũ trụ không gian được phóng có sử dụng các lò phản ứng hạt nhân với đầy đủ chức năng, như loạt tên lửa của Liên Xô RORSAT và SNAP-10A của Hoa Kỳ.

Trên phạm vi toàn cầu, việc hợp tác nghiên cứu quốc tế đang tiếp tục triển khai để nâng cao độ an toàn của việc sản xuất và sử dụng năng lượng hạt nhân như các nhà máy an toàn thụ động (passive nuclear safety), sử dụng phản ứng tổng hợp hạt nhân, và sử dụng nhiệt bổ sung từ các quy trình như sản xuất hydro để khử muối nước biển, và sử dụng trong các hệ thống sưởi khu vực.

a) Tổng hợp hạt nhân

Trong lĩnh vực vật lý hạt nhân, tổng hợp hạt nhân là quá trình trong đó hai hoặc nhiều hạt nhân nguyên tử hợp nhất với nhau để tạo thành một nhân đơn nặng hơn. Quá trình này thường kèm theo sự giải phóng hay hấp thụ những lượng năng lượng lớn. Các quy trình tổng hợp nhiệt hạch quy mô lớn, với sự tham gia của nhiều hạt nhân hợp nhất cùng một lúc có thể xảy ra trong vật chất ở điều kiện mật độ và nhiệt độ rất cao.

Trường hợp tổng hợp hydro đơn giản nhất, đó là hai proton được đưa lại gần với nhau đủ để lực hạt nhân yếu chuyển hóa cả hai proton đồng nhất thành một neutron tạo nên chất đồng vị hydro đơteri. Trong các trường hợp tổng hợp ion nặng phức tạp hơn với sự tham gia của hai hay nhiều hạt nhân, cơ chế phản ứng có khác nhưng phát sinh cùng một kết quả, tức là hợp nhất các nhân nhỏ hơn thành các nhân lớn hơn.

Tổng hợp hạt nhân xảy ra tự nhiên ở tất cả các ngôi sao phát sáng. Tổng hợp nhân tạo do kết quả tác động của con người đã đạt được nhưng quá trình này vẫn chưa được kiểm soát một cách toàn diện để được khai thác như một nguồn năng lượng hạt nhân. Trong phòng thí nghiệm, đã thực hiện thành công nhiều thử nghiệm vật lý hạt nhân liên quan đến sự tổng hợp nhiều hạt nhân khác nhau, nhưng lượng năng lượng đạt được không đáng kể trong các nghiên cứu này. Trên thực tế, nguồn năng lượng cần thiết để thực hiện quy trình luôn vượt quá lượng năng lượng giải phóng ra. Nhưng sự kết hợp của các hạt nhân nguyên tử nhẹ, để tạo ra các nhân nặng hơn và giải phóng 1 neutron tự do, sẽ phóng thích nhiều năng lượng hơn năng lượng nạp vào lúc đầu khi hợp nhất hạt nhân. Điều này dẫn đến một quá trình phóng thích năng lượng có thể tạo ra phản ứng tự duy trì (Tuy nhiên, từ hạt nhân Fe trở đi, việc tổng hợp hạt nhân trở nên thu nhiệt nhiều hơn tỏa nhiệt). Việc cần nhiều năng lượng để khởi động thường đòi hỏi phải nâng nhiệt độ của hệ thống lên cao trước khi phản ứng xảy ra. Chính vì lý do này mà phản ứng hợp hạch còn được gọi là phản ứng nhiệt hạch.

Các phản ứng tổng hợp hạt nhân có tiềm năng an toàn hơn và tạo ra ít chất thải phóng xạ hơn so với quá trình phân hạch. Các phản ứng này có khả năng diễn ra ổn định, mặc dù rất khó khăn về mặt kỹ thuật và hiện nay vẫn chưa đạt được mức độ quy mô có thể sử dụng như một nhà máy điện chức năng. Năng lượng tổng hợp hạt nhân đã được tập trung nghiên cứu về mặt lý thuyết và thực nghiệm từ những năm 1950.

Nghiên cứu về tổng hợp hạt nhân có kiểm soát với mục đích khai thác năng lượng tổng hợp để sản xuất điện, đã được tiến hành từ hơn 50 năm. Tuy gặp nhiều khó khăn về khoa học và công nghệ nhưng nghiên cứu cũng đạt được một số tiến bộ. Hiện tại, các phản ứng tổng hợp có kiểm soát vẫn chưa thể tạo ra các phản ứng tổng hợp có kiểm soát tự duy trì (self-sustaining). Các mẫu thiết kế lò phản ứng mà về mặt lý thuyết có thể cung cấp nguồn năng lượng tổng hợp cao hơn gấp 10 lần so với lượng năng lượng cần thiết để nung nóng plasma lên nhiệt độ yêu cầu ban đầu được dự kiến sẽ đưa vào hoạt động vào năm 2018, tuy nhiên kế hoạch này đã bị trì hoãn và thời hạn vẫn chưa được chỉ rõ.

Việc sản xuất điện từ năng lượng tổng hợp hạt nhân ban đầu được cho là có thể đạt được, tuy nhiên do những yêu cầu về điều kiện khắc nghiệt để duy trì phản ứng liên tục và chứa plasma đã khiến các kế hoạch bị trì hoãn trong nhiều thập kỷ, đã hơn 60 năm trôi qua kể từ khi các nỗ lực ban đầu được thực hiện, sản xuất năng lượng thương mại được cho là chỉ có thể trở thành hiện thực sau năm 2040.

Tính đến tháng 7/2010, JET (Dự án thử nghiệm thiết bị từ trường hình xuyên chung châu Âu - Joint European Torus) được coi là thí nghiệm vật lý nhân tạo lớn nhất giam giữ plasma bằng từ đã được thực hiện. Thiết bị này được đặt tại Anh, mục đích chính của nó là để mở đường cho tương lai các lò phản ứng tổng hợp hạt nhân. Năm 1997, JET đã đạt đỉnh cao nhất khi tạo ra được 16,1 megawatt năng lượng tổng hợp (bằng 65% lượng năng lượng đầu vào), lượng năng lượng tổng hợp trung bình đã đạt được trên 10 MW duy trì trong hơn 0,5 giây. Tháng 6/2005, thiết bị kế nhiệm của nó là ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) một chương trình thí nghiệm tokamak quốc tế đặt tại Pháp. Dự án này thu hút sự tham gia của 7 quốc gia: Hoa Kỳ, Trung Quốc, EU, Ấn Độ, Nhật Bản, Liên bang Nga và Hàn Quốc. Lò phản ứng ITER được thiết kế để chứng tỏ tính khả thi xét trên phương diện khoa học cũng như kỹ thuật của một lò phản ứng năng lượng nhiệt hạch hoàn chỉnh. ITER là thí nghiệm lớn cuối cùng trước khi một nhà máy điện nhiệt hạch chính thức được xây dựng trên thế giới. Đề án này không có tham vọng giải quyết tất cả các vấn đề năng lượng của trái đất nhưng nó sẽ chứng minh rằng có thể sản xuất được lượng năng lượng rất lớn xuất phát từ phản ứng tổng hợp hạt nhân nhiệt hạch. Phương tiện này được bắt đầu xây dựng năm 2008 và hy vọng lần đầu tiên có thể duy trì được trạng thái plasma vào năm 2018.

DEMO (tên viết tắt của DEMOnstration Power Plant) là một nhà máy điện tổng hợp hạt nhân thao diễn được dự kiến xây dựng dựa trên sự thành công được mong đợi của lò phản ứng tổng hợp hạt nhân thử nghiệm ITER. Trong khi mục tiêu của ITER là sản xuất được 500 megawatt năng lượng tổng hợp trong ít nhất là 500 giây, thì mục tiêu của DEMO sẽ là sản sinh được ít nhất là gấp bốn lần lượng nhiệt tổng hợp đó dựa trên một cơ sở liên tục. DEMO được dự kiến sẽ là lò phản ứng tổng hợp đầu tiên sản sinh ra điện. Để đạt được mục tiêu này, DEMO cần có kích thước lớn hơn khoảng 15% so với ITER và mật độ plasma phải lớn hơn của ITER khoảng 30%. Một lò phản ứng tổng hợp DEMO thương mại nguyên mẫu đầu tiên có thể làm cho năng lượng tổng hợp trở thành hiện thực vào năm 2033. Nếu công viện tiến triển theo đúng kế hoạch các lò phản ứng tổng hợp thương mại sẽ có giá thành chỉ bằng một phần tư chi phí DEMO.

b) Phân hạch hạt nhân

Phản ứng phân hạch hạt nhân, còn gọi là phản ứng phân rã nguyên tử là quá trình trong đó hạt nhân nguyên tử bị phân chia thành hai hoặc nhiều hạt nhân nhỏ hơn và vài sản phẩm phụ khác. Các sản phẩm phụ bao gồm các hạt neutron, photon tồn tại dưới dạng các tia gama, tia beta và tia alpha. Các đồng vị nhất định của một số nguyên tử có khả năng phân tách và sẽ giải phóng năng lượng của chúng dưới dạng nhiệt. Sự phân

tách này được gọi là sự phân hạch. Nhiệt giải phóng trong sự phân hạch có thể dùng để giúp phát điện trong các nhà máy điện.

Uranium 235 (U-235) là một trong các đồng vị dễ dàng phân hạch. Trong khi phân hạch, các nguyên tử U-235 hấp thụ các neutron chậm. Sự hấp thụ này làm cho U-235 trở nên không bền và phân tách thành hai nguyên tử nhẹ gọi là các sản phẩm phân hạch.

Tổng khối lượng của các sản phẩm phân hạch nhỏ hơn khối lượng của U-235 ban đầu. Sự suy giảm khối lượng xảy ra vì một phần vật chất đã chuyển hóa thành năng lượng. Năng lượng được giải phóng dưới dạng nhiệt. Hai hoặc ba neutron được giải phóng kèm theo với nhiệt. Các neutron này có thể va chạm với những nguyên tử khác, gây ra nhiều sự phân hạch hơn.

Một chuỗi phân hạch liên tiếp được gọi là phản ứng dây chuyền. Nếu có đủ lượng uranium được đưa đến gần với nhau dưới những điều kiện nhất định, thì sẽ xảy ra một phản ứng dây chuyền liên tục. Hiện tượng này gọi là phản ứng dây chuyền tự duy trì. Một phản ứng dây chuyền tự duy trì sinh ra lượng nhiệt rất lớn, có thể dùng để giúp phát điện.

Nhà máy điện hạt nhân phát điện theo kiểu giống như các nhà máy điện hơi nước khác. Nước được đun nóng và hơi nước bốc lên từ nước sôi làm quay tuabin và phát điện. Sự khác biệt chủ yếu ở các loại nhà máy điện hơi nước là nguồn sinh nhiệt. Trong nhà máy điện hạt nhân, nhiệt phát ra từ phản ứng dây chuyền tự duy trì làm sôi nước. Còn trong các nhà máy khác, người ta đốt than đá, dầu lửa hoặc khí thiên nhiên để đun sôi nước.

Ngoài phát điện, công nghệ hạt nhân còn giữ vai trò quan trọng trong y khoa, nghiên cứu khoa học, thực phẩm và nông nghiệp. Ví dụ các bác sĩ sử dụng các đồng vị phóng xạ để nhận dạng và nghiên cứu các nguyên nhân gây bệnh. Họ còn dùng chúng để tăng liều pháp điều trị y khoa truyền thống. Trong công nghiệp, các đồng vị phóng xạ được dùng để đo những chiều dày vi mô, dò tìm những dị thường trong vỏ bọc kim loại và kiểm tra các mối hàn. Các nhà khảo cổ sử dụng kỹ thuật hạt nhân để xác định niên đại các vật thời tiền sử một cách chính xác và định vị các khiếm khuyết ở các tượng đài và nhà cửa. Bức xạ hạt nhân được dùng để bảo quản thực phẩm. Nó giữ được nhiều vitamin hơn so với đông hộp, đông lạnh hoặc sấy khô.

2. Công nghệ lò phản ứng hạt nhân, chu trình

Lò phản ứng hạt nhân là thiết bị khởi đầu và điều khiển một phản ứng dây chuyền hạt nhân tự duy trì. Việc sử dụng các lò phản ứng hạt nhân phổ biến nhất là để sản xuất điện và cung cấp năng lượng cho các con tàu sử dụng năng lượng nguyên tử.

Cũng giống như nhiều nhà máy nhiệt điện thông thường sản xuất điện bằng nhiệt năng giải phóng từ việc đốt nhiên liệu hóa thạch, các nhà máy năng lượng hạt nhân biến đổi năng lượng giải phóng từ hạt nhân nguyên tử thông qua phản ứng phân hạch.

Khi một hạt nhân nguyên tử dùng để phân hạch tương đối lớn (thường là uranium 235 hoặc plutonium-239) hấp thụ neutron sẽ dẫn đến sự phân hạch nguyên tử. Quá trình

phân hạch tách nguyên tử thành 2 hay nhiều hạt nhân nhỏ hơn kèm theo động năng (hay còn gọi là sản phẩm phân hạch) và cũng giải phóng tia phóng xạ gamma và neutron tự do. Một phần các neutron tự do này sau đó được hấp thụ bởi các nguyên tử phân hạch khác và tiếp tục dẫn đến nhiều sự phân hạch hơn và giải phóng nhiều neutron hơn. Đây là phản ứng tạo ra neutron theo cấp số nhân.

Phản ứng dây chuyền hạt nhân này có thể được kiểm soát bằng cách sử dụng chất hấp thụ neutron và chất làm chậm neutron (neutron moderator) để thay đổi tỷ lệ neutron tham gia vào các phản ứng phân hạch tiếp theo. Hầu hết các lò phản ứng hạt nhân đều có các hệ thống vận hành bằng tay và tự động để tắt phản ứng phân hạch khi phát hiện các điều kiện không an toàn.

Một hệ thống làm lạnh chuyên lượng nhiệt phát sinh từ lõi lò phản ứng và vận chuyển đến bộ phận khác thuộc nhà máy, nơi có thể sử dụng nguồn nhiệt năng này để sản sinh điện hoặc sử dụng cho những mục đích hữu dụng khác. Đặc biệt là chất làm lạnh bị làm nóng lên (hot coolant) sẽ được sử dụng như một nguồn nhiệt cho nồi hơi, và hơi nén từ nồi hơi đó sẽ làm quay một hay nhiều tuabin vận hành các máy phát điện.

Có nhiều kiểu lò phản ứng khác nhau sử dụng các nguyên liệu, chất làm lạnh và áp dụng các cơ chế vận hành khác nhau. Một số mẫu được thiết kế để đáp ứng yêu cầu đặc biệt. Ví dụ như lò phản ứng dùng trong các tàu ngầm hạt nhân và các tàu hải quân lớn, thường sử dụng nhiên liệu uranium được làm giàu rất cao. Việc lựa chọn loại nhiên liệu này sẽ làm tăng mật độ công suất của lò phản ứng và chu trình nạp nhiên liệu hạt nhân khả dụng, nhưng giá thành đắt hơn và có nguy cơ dẫn đến phổ biến vũ khí hạt nhân cao hơn so với một số loại nhiên liệu hạt nhân khác.

Các mẫu thiết kế mới lò phản ứng dùng cho các nhà máy máy điện hạt nhân, được gọi chung là các lò phản ứng hạt nhân thế hệ IV, hiện đang là đối tượng nghiên cứu và có thể được sử dụng cho các nhà máy phát điện trong tương lai. Một vài trong số các mẫu mới này được thiết kế đặc biệt để đạt được các lò phản ứng phân hạch sạch hơn, an toàn hơn và/hoặc ít có nguy cơ dẫn đến phổ biến vũ khí hạt nhân. Các nhà máy điện an toàn thụ động (như loại lò phản ứng ESBWR) đã sẵn sàng để xây dựng và các mẫu thiết kế khác được cho là có độ tin cậy rất cao (fool-proof) đang được tiến hành. Các lò phản ứng hợp hạch có thể trở thành hiện thực trong tương lai sẽ giảm bớt hoặc loại bỏ hoàn toàn những rủi ro liên quan đến phân hạch hạt nhân.

Chu trình năng lượng hạt nhân

Lò phản ứng hạt nhân là một phần trong chu trình năng lượng hạt nhân. Quá trình bắt đầu từ khai thác mỏ. Các mỏ uranium nằm dưới lòng đất, được khai thác theo phương thức lộ thiên, hoặc đãi tại chỗ. Trong bất kỳ trường hợp nào, khi quặng uranium được chiết tách, nó thường được chuyển thành dạng ổn định và nén chặt thành bánh, và sau đó vận chuyển đến nhà máy. Ở đây, nguyên liệu này được chuyển đổi thành urani hexaflorua, loại này sau đó được làm giàu sử dụng các phương pháp khác nhau. Tại thời điểm này, uranium được làm giàu chứa hơn 0,7% U-235 tự nhiên,

được sử dụng để tạo thành các thanh nhiên liệu có thành phần và hình dạng phù hợp đối với từng loại lò phản ứng cụ thể. Các thanh nhiên liệu sẽ trải qua khoảng 3 chu kỳ vận hành (tổng cộng khoảng 6 năm) bên trong lò phản ứng, thường là cho đến khi có khoảng 3% lượng uranium đã phân hạch, sau đó chúng sẽ được chuyển tới bể chứa nhiên liệu đã sử dụng, ở đây các chất đồng vị có tuổi thọ ngắn được tạo ra từ phản ứng phân hạch sẽ phân rã. Sau khoảng 5 năm lưu giữ trong bể chứa nhiên liệu đã sử dụng, lúc này nhiên liệu đã sử dụng sẽ đủ nguội và giảm tính phóng xạ đến mức có thể vận chuyển được, và chúng được chuyển đến các kết cấu khô hoặc đem tái xử lý.

3. Chất thải

a) Chất thải phóng xạ

Việc lưu giữ và chôn hủy chất thải hạt nhân an toàn vẫn còn là một thách thức và chưa có một giải pháp thích hợp. Chất thải quan trọng nhất phát sinh từ các nhà máy năng lượng hạt nhân là nhiên liệu đã qua sử dụng. Một lò phản ứng công suất 1000 MWe tạo ra khoảng 20 mét khối (khoảng 27 tấn) nhiên liệu đã qua sử dụng mỗi năm, nhưng nếu được tái chế thì chỉ còn 3 mét khối. Thành phần chủ yếu gồm uranium không chuyển hóa cũng như một lượng khá lớn các actinid có tính phóng xạ cao (phần lớn là plutonium và curium). Ngoài ra còn có khoảng 3% là các sản phẩm phân hạch từ các phản ứng hạt nhân. Các chất actinid (uranium, plutonium, và curium) có tính phóng xạ kéo dài, trong khi các sản phẩm phân hạch có tính phóng xạ ngắn hơn.

Chất thải phóng xạ cao

Sau khi khoảng 5% một thanh nhiên liệu đã phản ứng bên trong lò phản ứng hạt nhân thì thanh nhiên liệu đó không thể sử dụng làm nhiên liệu được nữa (do sự tích tụ các sản phẩm phân hạch), vì vậy ngày nay các nhà khoa học đang thí nghiệm để tái sử dụng các thanh nhiên liệu này nhằm giảm lượng chất thải và sử dụng các actinid còn lại làm nhiên liệu (tái chế quy mô lớn hiện đã thực hiện ở nhiều nước).

Ban đầu, nhiên liệu đã qua sử dụng có tính phóng xạ rất cao vì vậy phải rất thận trọng trong khâu vận chuyển hay tiếp xúc với nó. Tuy nhiên, tính phóng xạ sẽ giảm cùng với thời gian. Sau 40 năm, thông lượng bức xạ thấp hơn 99,9% so với thời điểm nhiên liệu chấm dứt hoạt động. Tuy nhiên 0,1% còn lại vẫn có mức độ phóng xạ nguy hiểm. Theo tiêu chuẩn của Cục Bảo vệ môi trường Hoa Kỳ, sau 10.000 năm phân rã phóng xạ, nhiên liệu hạt nhân đã sử dụng mới không còn là mối đe dọa đối với sự an toàn và sức khỏe cộng đồng.

Sau khi được tách ra, các thanh nhiên liệu đã qua sử dụng được chứa trong các bồn chứa có vỏ bọc (bể chứa nhiên liệu đã sử dụng), thường ở ngay tại nhà máy. Nước được sử dụng để làm lạnh các sản phẩm phân hạch vẫn còn phân rã và cũng là vỏ chắn tia phóng xạ ra môi trường. Sau một khoảng thời gian (thường là 5 năm đối với các nhà máy tại Hoa Kỳ) nhiên liệu đã trở nên lạnh hơn và ít phóng xạ hơn sẽ được chuyển đến nơi bảo quản khô, ở đây nhiên liệu được chứa các côngtenơ bằng thép và bê tông.

Hầu hết các chất thải phóng xạ của Hoa Kỳ hiện vẫn được bảo quản tại nơi phát sinh, trong khi các phương pháp chôn hủy vĩnh viễn thích hợp vẫn đang được bàn luận.

Lượng chất thải mức độ cao có thể giảm thiểu bằng nhiều cách, đặc biệt là thông qua tái chế hạt nhân. Tuy nhiên, lượng chất thải còn lại vẫn có độ phóng xạ đáng kể sau ít nhất 300 năm ngay cả khi đã loại bỏ các actinid, và kéo dài đến hàng ngàn năm nếu chưa loại bỏ các actinid. Thậm chí nếu đã tách được tất cả các actinid và sử dụng các lò phản ứng tái sinh nhanh (fast breeder) để phá hủy bằng biến đổi các nguyên tố không thuộc nhóm actinid có tuổi thọ dài hơn, các chất thải vẫn cần được cách ly với môi trường từ một đến vài trăm năm, cho nên chất thải này được xếp vào nhóm có tác động lâu dài. Các lò phản ứng hợp hạch cũng có thể làm giảm thời gian chất thải cần được bảo quản. Có lập luận cho rằng giải pháp tốt nhất đối với chất thải hạt nhân là lưu giữ tạm thời trên mặt đất do công nghệ phát triển rất nhanh và lượng chất thải này có thể trở nên có giá trị trong tương lai.

Chất thải phóng xạ thấp

Ngành công nghiệp hạt nhân cũng tạo ra một lượng lớn các chất thải phóng xạ cấp thấp ở dạng các công cụ bị nhiễm phóng xạ như quần áo, dụng cụ cầm tay, chất keo làm sạch nước, máy lọc nước, và chính các vật liệu xây lò phản ứng. Tại Hoa Kỳ, Ủy ban điều phối hạt nhân (Nuclear Regulatory Commission) đã thử xem xét để cho phép coi các vật liệu phóng xạ mức thấp giống như chất thải thông thường như chất thải ở các bãi rác, có thể tái chế. Hầu hết chất thải mức thấp có độ phóng xạ rất thấp và bị coi là chất thải phóng xạ là do lịch sử xuất xứ của chúng.

b) So sánh chất thải phóng xạ và chất thải công nghiệp độc hại

Ở các quốc gia có năng lượng hạt nhân, chất thải phóng xạ chiếm chưa đến 1% trong tổng lượng chất thải công nghiệp độc hại. Nhìn chung, nếu so sánh về khối lượng năng lượng hạt nhân tạo ra ít chất thải hơn so với các nhà máy điện chạy bằng nhiên liệu hóa thạch. Các nhà máy đốt than đặc biệt tạo ra những khối lượng lớn tro độc hại và có độ phóng xạ mức nhẹ do sự cô đặc các kim loại xuất hiện tự nhiên và các vật liệu phóng xạ nhẹ có trong than. Một báo cáo của Phòng thí nghiệm quốc gia Oak Ridge của Hoa Kỳ đã kết luận rằng, mức độ phóng xạ thải ra môi trường từ các nhà máy điện chạy bằng than cao hơn so với vận hành nhà máy điện hạt nhân, tính bình quân liều lượng phóng xạ ảnh hưởng đến dân số từ các nhà máy điện sử dụng than cao gấp 100 lần so với các nhà máy điện hạt nhân hoạt động theo đúng tiêu chuẩn. Thực tế là tro than có mức độ phóng xạ thấp hơn nhiều so với chất thải hạt nhân, nhưng tro lại được thải trực tiếp vào môi trường, trong khi các nhà máy điện hạt nhân sử dụng các biện pháp cách ly bể lò phản ứng, bể chứa các thanh nhiên liệu và chất thải phóng xạ ngay tại nhà máy để bảo vệ môi trường.

c) Chôn lấp chất thải

Chôn lấp chất thải hạt nhân được coi là điểm yếu của ngành công nghiệp này. Hiện tại, chất thải chủ yếu vẫn được bảo quản tại nơi xây dựng các nhà máy điện hạt nhân và có

hơn 430 địa điểm trên thế giới, nơi có vật liệu phóng xạ vẫn đang tiếp tục tích tụ. Các chuyên gia đều nhất trí rằng các chỗ chôn tập trung dưới mặt đất được quản lý, canh phòng và giám sát tốt sẽ là một sự cải thiện to lớn. Mặc dù có một sự đồng thuận nhất trí cao về tính thích hợp của việc bảo quản chất thải hạt nhân tại các chỗ chôn sâu dưới lòng đất, nhưng hiện nay vẫn chưa có quốc gia nào trên thế giới xây dựng được một nơi như vậy.

Tái chế

Việc tái chế có khả năng thu hồi được đến 95% lượng uranium và plutonium còn lại trong nhiên liệu hạt nhân đã sử dụng, để trộn vào hỗn hợp nhiên liệu mới. Công đoạn này làm giảm lượng phóng xạ có thời gian phân rã lâu ở chất thải còn lại, do trong thành phần chủ yếu chỉ còn các sản phẩm phân hạch có thời gian tồn tại ngắn, về khối lượng có thể giảm đến hơn 90%. Tái xử lý nhiên liệu dân dụng từ các lò phản ứng hạt nhân hiện đã được thực hiện với quy mô lớn ở Anh, Pháp và Nga (trước đây), sắp tới là Trung Quốc và có thể cả Ấn Độ, Nhật Bản đang tiến hành với quy mô ngày càng tăng. Việc tái xử lý vẫn chưa đạt được đầy đủ tiềm năng do nó cần có các lò phản ứng tái sinh, là loại lò chưa được thương mại hóa. Pháp được xem là quốc gia khá thành công trong việc tái xử lý chất thải hạt nhân, nhưng trong số 28% lượng nhiên liệu tái chế sử dụng hàng năm trên thế giới, Pháp chỉ chiếm 7% và 21% được sử dụng ở Nga.

Tái chế chất thải hạt nhân không được phép ở Hoa Kỳ. Chính quyền của Tổng thống Obama không cho phép tái chế chất thải hạt nhân do những lo ngại liên quan đến phổ biến vũ khí hạt nhân. Tại Hoa Kỳ, nhiên liệu hạt nhân đã sử dụng hiện tất cả đều được coi là chất thải.

4. An toàn hạt nhân, sự cố hạt nhân và phóng xạ

An toàn hạt nhân bao gồm các hành động nhằm ngăn chặn các sự cố bức xạ và hạt nhân hoặc để hạn chế hậu quả do các sự cố này gây ra. An toàn hạt nhân là vấn đề quan tâm của các nhà máy điện hạt nhân cũng như tất cả các cơ sở hạt nhân khác và còn bao gồm cả việc vận chuyển vật liệu hạt nhân, sử dụng và lưu giữ các vật liệu hạt nhân để sử dụng trong ngành y tế, ngành điện lực, ngành công nghiệp và quân sự.

Ngành công nghiệp điện hạt nhân đã chú trọng nâng cao độ an toàn và hiệu suất của các lò phản ứng và đã đề xuất nhiều mẫu thiết kế lò phản ứng tiên tiến với mức độ an toàn nâng cao, nhưng chưa được thử nghiệm. Vì nhiều lý do, an toàn vũ khí hạt nhân cũng như sự an toàn của nghiên cứu quân sự liên quan đến các vật liệu hạt nhân nhìn chung được quản lý bởi các cơ quan khác nhau từ các cơ quan giám sát an toàn dân sự kể cả bảo mật.

Cơ quan năng lượng nguyên tử quốc tế (IAEA) phối hợp với các nước thành viên và nhiều đối tác trên toàn thế giới để thúc đẩy các công nghệ hạt nhân an toàn, tin cậy và hòa bình. IAEA đề xuất các tiêu chuẩn về an toàn, khuyến khích phát triển năng lượng hạt nhân và cũng giám sát việc sử dụng hạt nhân; đây là tổ chức duy nhất trên toàn cầu

giảm sát ngành công nghiệp năng lượng hạt nhân nhưng cũng phải kiểm tra sự tuân thủ Hiệp ước Không phổ biến vũ khí hạt nhân (NPT).

Nhiều quốc gia sử dụng năng lượng hạt nhân có các cơ quan chuyên giám sát và quản lý an toàn hạt nhân. An toàn hạt nhân dân sự ở Hoa Kỳ do Ủy ban điều phối hạt nhân quy định. Sự an toàn của các nhà máy hạt nhân và vật liệu hạt nhân được kiểm soát bởi Chính phủ Hoa Kỳ, việc nghiên cứu, sản xuất vũ khí và các tàu hải quân chạy bằng năng lượng hạt nhân không do Ủy ban này quản lý. Ở Anh, an toàn hạt nhân được quy định bởi Cơ quan quản lý hạt nhân (ONR) và Cơ quan quản lý an toàn hạt nhân quốc phòng (DNSR). Cơ quan bảo vệ bức xạ và an toàn hạt nhân Ôxtrâyliia (ARPANSA) là cơ quan trực thuộc Chính phủ liên bang có trách nhiệm giám sát và xác định các nguy cơ bức xạ mặt trời và bức xạ hạt nhân ở nước này. Đây là cơ quan đầu ngành xử lý bức xạ ion hóa và không ion hóa và xuất bản tài liệu liên quan đến chống bức xạ.

a) Các hệ thống an toàn hạt nhân

Các hệ thống an toàn hạt nhân có ba mục tiêu chủ yếu, đó là làm ngừng hoạt động lò phản ứng, duy trì nó ở trong tình trạng ngừng hoạt động và ngăn chặn rò rỉ vật liệu phóng xạ trong các trường hợp xảy ra sự cố. Các mục tiêu này được thực hiện bằng cách sử dụng nhiều loại thiết bị, là bộ phận của các hệ thống khác nhau, trong đó mỗi hệ thống thực hiện những chức năng cụ thể.

Hệ thống bảo vệ lò phản ứng (RPS)

Một hệ thống lò phản ứng bao gồm các hệ thống được thiết kế để ngừng ngay lập tức phản ứng hạt nhân. Trong khi lò phản ứng hoạt động, phản ứng hạt nhân vẫn tiếp tục sản sinh nhiệt và bức xạ. Bằng cách làm gián đoạn phản ứng dây chuyền có thể loại bỏ nguồn nhiệt và tiếp đó sử dụng các hệ thống khác để tiếp tục loại bỏ nhiệt phân rã từ lõi. Tất cả các nhà máy đều có một số dạng hệ thống bảo vệ lò phản ứng sau:

Cần điều khiển

Các cần điều khiển là một chuỗi các thanh kim loại có thể nhanh chóng được đưa vào trong lõi để hấp thụ neutron và làm ngừng nhanh phản ứng hạt nhân.

Bơm an toàn/kiểm soát chất lỏng dự phòng

Người ta cũng có thể làm ngừng một phản ứng hạt nhân bằng cách bơm một chất lỏng hấp thụ neutron trực tiếp vào lõi. Trong các lò phản ứng nước sôi, phản ứng này thường bao gồm một dung dịch chứa Bo (như axit boric), được bơm vào để đẩy nước trong lõi. Một đặc trưng của các lò phản ứng nước cao áp là chúng sử dụng dung dịch Bo cùng với các cần điều khiển để kiểm soát phản ứng và như vậy chỉ cần tăng nồng độ dung dịch này lên để làm chậm hoặc ngừng phản ứng.

Hệ thống nước công nghiệp thiết yếu (ESWS)

Hệ thống ESWS lưu thông nước làm mát các bộ trao đổi nhiệt và các bộ phận khác của nhà máy trước khi tản nhiệt ra môi trường. Vì quy trình bao gồm làm mát các hệ

thống loại bỏ nhiệt phân rã từ cả hệ thống chính và các bể làm mát thanh nhiên liệu đã sử dụng, nên ESWS là một hệ thống rất an toàn. Do nước thường được lấy từ sông, biển hoặc thủy vực lớn khác gần đó, nên hệ thống có thể bị đe dọa bởi khối lượng lớn tảo biển, sinh vật biển, ô nhiễm dầu, nước đá và các mảnh rác vụn. Tại các địa điểm không có thủy vực rộng lớn nào để phân tán nhiệt, nước được tái lưu thông qua tháp làm mát. Các máy bơm của hệ thống ESWS bị hỏng trong trận lụt tại nhà máy điện hạt nhân Blayais năm 1999 là một trong những yếu tố đe dọa đến sự an toàn.

Hệ thống làm mát lõi khẩn cấp (ECCS)

Hệ thống làm mát lõi khẩn cấp bao gồm một dãy các hệ thống được thiết kế để đóng cửa an toàn một lò phản ứng hạt nhân trong các điều kiện sự cố. Trong điều kiện bình thường, nhiệt được loại bỏ từ lò phản ứng hạt nhân bằng cách ngưng tụ hơi nước sau khi hơi nước di chuyển qua tuabin. Trong lò phản ứng nước sôi, hơi nước ngưng tụ được đưa trở lại lò phản ứng. Trong lò phản ứng làm nguội bằng nước nén (pressurized-water reactor), hơi nước ngưng tụ được đưa trở lại qua bộ trao đổi nhiệt. Cả hai trường hợp này đều giữ cho lõi của lò phản ứng ở nhiệt độ không đổi. Trong một sự cố mà bình ngưng hơi không được sử dụng thì cần phải có các phương pháp làm mát thay thế để ngăn chặn thiệt hại cho nhiên liệu hạt nhân.

Các hệ thống trên cho phép nhà máy ứng phó với nhiều điều kiện sự cố đồng thời tạo ra một độ dôi, cho phép nhà máy vẫn có thể ngừng hoạt động ngay cả khi có một hoặc một vài hệ thống bị lỗi không hoạt động.

Trong hầu hết các nhà máy, ECCS gồm có các hệ thống sau:

Hệ thống bơm chất làm mát áp suất cao (HPCI)

Hệ thống này bao gồm một hoặc nhiều máy bơm có áp lực đủ để bơm chất làm nguội vào bể lò phản ứng khi nó bị tăng áp. Hệ thống được thiết kế để theo dõi lượng chất làm nguội trong bể lò phản ứng và tự động bơm chất làm nguội khi lượng chất này giảm xuống dưới mức xác định. Thông thường, hệ thống này là hàng phòng thủ đầu tiên đối với một lò phản ứng vì hệ thống có thể được sử dụng khi bể lò phản ứng tăng áp cao.

Hệ thống giảm áp (ADS)

Hệ thống này bao gồm một dãy van được mở để làm thoát hơi ở độ sâu vài mét bên dưới bề mặt của một bể nước lỏng lớn (được gọi là hồ để bơm nước hay torus) trong các cấu trúc bảo vệ (containments) dạng triệt áp, hoặc thông hơi trực tiếp vào trong cấu trúc bảo vệ chính, với các dạng bảo vệ khác như hệ thống khô diện rộng (large-dry), bình ngưng tụ băng (ice condenser) và dưới mức áp suất khí quyển (sub-atmospheric). Việc vận hành các van này làm giảm áp bể lò phản ứng và cho phép các hệ thống bơm chất làm nguội áp suất thấp hoạt động, chúng có công suất rất lớn nếu so với các hệ thống áp lực cao. Một số hệ thống giảm áp có chức năng tự động nhưng cũng có thể hãm được, một số khác vận hành bằng tay và các bộ điều hành có thể hoạt động khi cần thiết.

Hệ thống bơm chất làm mát áp suất thấp (LPCI)

Hệ thống này bao gồm một hoặc nhiều máy bơm bơm chất làm nguội vào bể lò phản ứng ngay khi nó được giảm áp. Trong một số nhà máy điện hạt nhân, LPCI là một phương thức hoạt động của hệ thống loại bỏ nhiệt thừa (RHR hoặc RHS). LPCI thường không phải là một hệ thống độc lập.

Hệ thống phun ướt lõi

Hệ thống này sử dụng các ống vẩy nước (sparger) bên trong bể lò phản ứng chịu áp suất để phun nước trực tiếp lên các thanh nhiên liệu. Hệ thống ngăn chặn phát sinh hơi, đảm bảo chất làm nguội được bơm liên tục và phun nước trực tiếp lên các thanh nhiên liệu trong trường hợp lõi hở. Trong một số loại lò phản ứng sử dụng cả hai phương thức áp cao và áp thấp để phun ướt lõi.

Hệ thống phun ướt lớp bảo vệ

Hệ thống này bao gồm một dãy máy bơm và ống vẩy nước (các ống phun đặc biệt) phun chất làm nguội vào cấu trúc bảo vệ chính. Hệ thống được thiết kế để ngưng tụ hơi nước thành nước dạng lỏng bên trong cấu trúc bảo vệ chính để ngăn áp lực quá cao, có thể dẫn đến việc giảm áp một cách không chủ ý.

Hệ thống làm mát độc lập

Hệ thống này hoạt động nhờ một tuabin hơi nước và được sử dụng để cung cấp đủ nước làm mát an toàn lò phản ứng nếu tòa nhà có lò phản ứng nằm cách biệt với tòa nhà điều khiển và tuabin. Vì hệ thống không đòi hỏi khối lượng lớn điện năng để vận hành và sử dụng các bộ ắc quy mà không cần đến các máy phát điện diesel, nên được coi là một hệ thống phòng thủ chống đối phó với tình trạng cắt điện tại nhà máy.

Các hệ thống điện khẩn cấp

Trong điều kiện bình thường, các nhà máy điện hạt nhân tiếp nhận điện từ bên ngoài. Tuy nhiên, trong lúc xảy ra sự cố, nhà máy sẽ không còn được tiếp cận với nguồn cung cấp điện năng này và do đó cần có sản xuất điện riêng để cung cấp cho các hệ thống cấp cứu. Các hệ thống điện này thường bao gồm các máy phát điện diesel và các ắc quy.

Máy phát điện diesel

Máy phát điện diesel được sử dụng để cung cấp điện năng cho nhà máy trong các tình huống khẩn cấp. Chúng thường có kích cỡ như một máy đơn nhưng có thể cung cấp đủ điện năng cần thiết cho một phương tiện tạm ngừng hoạt động trong tình trạng khẩn cấp, điều này cho phép các phương tiện có nhiều máy phát điện dự phòng. Ngoài ra, các hệ thống không cần thiết phải tạm dừng hoạt động lò phản ứng có nguồn điện riêng (thường là các máy phát riêng) do vậy chúng không ảnh hưởng đến khả năng ngừng hoạt động.

Bánh đà động cơ máy phát

Mất điện có thể xảy ra đột ngột, gây hư hại hay làm hỏng thiết bị. Để tránh thiệt hại, người ta gắn cho các động cơ máy phát những chiếc bánh đà có thể duy trì cung cấp điện cho thiết bị trong một khoảng thời gian ngắn. Thông thường, chúng được sử dụng

để cung cấp điện cho đến khi nguồn cung cấp điện của nhà máy có thể được chuyển sang dùng ắc quy và/hoặc máy phát điện diesel.

Ắc quy

Các ắc quy thường tạo thành hệ thống điện dự phòng cuối cùng và cũng có khả năng cung cấp đủ điện năng để tạm ngừng hoạt động một nhà máy. Điện một chiều do các ắc quy cung cấp có thể được chuyển đổi thành điện xoay chiều để chạy các thiết bị điện xoay chiều như các động cơ bằng cách sử dụng máy đổi điện.

Các hệ thống bảo vệ

Các hệ thống bảo vệ được thiết kế để ngăn chặn phát thải vật liệu phóng xạ vào môi trường.

Lớp bọc thanh nhiên liệu

Lớp bọc thanh nhiên liệu là lớp bảo vệ đầu tiên bao quanh nhiên liệu hạt nhân và được thiết kế để bảo vệ nhiên liệu khỏi sự ăn mòn lây lan trong nhiên liệu dọc theo dòng chảy của chất làm nguội lò phản ứng. Trong hầu hết các lò phản ứng, lớp bọc thanh nhiên liệu có dạng một lớp kim loại hoặc gốm hàn kín. Nó cũng được dùng để bẫy các sản phẩm phân hạch, đặc biệt là các sản phẩm thể khí ở trạng thái nhiệt độ đạt đến ngưỡng như bên trong lò phản ứng, chẳng hạn như krypton, xenon và iốt. Lớp bọc không phải là lá chắn vì vậy cần được thiết kế để sao cho nó hấp thụ ít bức xạ nhất có thể. Vì lý do này, các vật liệu như magiê và zirconium được sử dụng do tiết diện hấp thụ neutron của chúng thấp.

Bể lò phản ứng

Bể lò phản ứng là lớp bảo vệ đầu tiên bao quanh nhiên liệu hạt nhân và thường được thiết kế để giữ lại hầu hết bức xạ thải ra trong một phản ứng hạt nhân. Bể lò phản ứng cũng được thiết kế để chịu được áp lực cao.

Hệ thống bảo vệ chính

Hệ thống bảo vệ chính thường là một kết cấu lớn bằng bê tông và kim loại (thường có hình trụ hoặc bình cầu) dùng để bao bọc bể lò phản ứng. Trong hầu hết các lò phản ứng, hệ thống này còn bao bọc tất cả các hệ thống bị nhiễm phóng xạ. Hệ thống bảo vệ chính được thiết kế để chịu được áp lực bên trong lớn do có một sự rò rỉ hay giảm áp có chủ ý của bể lò phản ứng.

Trong hầu hết các lò phản ứng được bảo vệ bằng nhiều hệ thống an toàn, hệ thống bảo vệ chính sẽ không bảo vệ được nhiên liệu nữa một khi chúng được đưa ra khỏi lõi. Chúng sẽ được lưu trữ vài năm trong bể chứa nhiên liệu đã sử dụng nằm bên ngoài hệ thống bảo vệ chính. Nước trong bể nhiên liệu cần để chắn phóng xạ và làm mát. Nếu nước trong bể chứa bị thất thoát, sự tan chảy nhiên liệu mới sẽ xảy ra và có thể dẫn đến sự phân hạch không kiểm soát.

Hệ thống bảo vệ phụ

Một số nhà máy có hệ thống bảo vệ phụ bao quanh hệ thống chính. Hệ thống này rất phổ biến trong kiểu lò BWR vì hầu hết các hệ thống hơi nước kể cả tua bin đều chứa các chất phóng xạ.

Trong hầu hết các lò phản ứng, hệ thống bảo vệ phụ không có khả năng ngăn bức xạ hoặc ngăn chặn phát thải các chất phóng xạ vào môi trường trong lúc có sự cố, khi mà chất làm nguội trong bể chứa nhiên liệu đã qua sử dụng bị thất thoát dẫn tới sự tan chảy nhiên liệu.

Hệ thống ngăn lõi lò (core catching)

Trong trường hợp tan chảy hoàn toàn, nhiên liệu nhiều khả năng sẽ đọng lại trên sàn bê tông của khoang bảo vệ chính. Bê tông có thể chịu được nhiệt rất cao, nên sàn bê tông phẳng dày trong hệ thống bảo vệ chính thường có đủ khả năng bảo vệ chống lại sự tan chảy nghiêm trọng. Nhà máy điện Chernobyl không có khoang bảo vệ chính, nhưng đã ngăn chặn được sự tan chảy lõi lò nhờ nền bê tông. Tuy nhiên, do những lo ngại về việc lõi sẽ tan chảy theo hướng xuyên qua bê tông, nên một thiết bị "giữ lõi lò" (core catcher) được phát minh và người ta đào một khoang dưới đáy thùng lò để lắp đặt thiết bị. Thiết bị này có chứa một loại kim loại trong trường hợp tan chảy hạt nhân nó sẽ tan chảy, hòa tan với lõi và làm tăng tính dẫn nhiệt, cuối cùng lõi bị hòa tan sẽ được làm mát bằng nước lưu thông trong đáy. Hiện nay, tất cả các lò phản ứng do Nga thiết kế đều được trang bị core catcher nằm ở dưới đáy của kết cấu bảo vệ thùng lò.

Thông gió và chống phóng xạ

Trong trường hợp phát thải phóng xạ, hầu hết các nhà máy đều có một hệ thống được thiết kế để khử bức xạ từ không khí nhằm giảm các ảnh hưởng của phát thải bức xạ đến các nhân viên và người dân. Hệ thống này thường bao gồm:

Thông gió bảo vệ

Hệ thống này được thiết kế để loại bỏ bức xạ và hơi nước từ hệ thống bảo vệ chính trong trường hợp hệ thống giảm áp được sử dụng để thông hơi nước vào trong hệ thống bảo vệ chính.

Thông gió buồng điều khiển

Hệ thống này được thiết kế để đảm bảo rằng các cán bộ điều khiển vận hành nhà máy được bảo vệ trong trường hợp phát thải phóng xạ. Hệ thống này thường bao gồm các bộ lọc than hoạt tính loại bỏ các chất đồng vị phóng xạ khỏi không khí.

b) Sự cố hạt nhân và bức xạ

Một sự cố hạt nhân và bức xạ được Cơ quan Năng lượng nguyên tử quốc tế định nghĩa là "sự cố dẫn đến những hậu quả to lớn cho người dân, môi trường hoặc nhà máy. Các tác động bao gồm ảnh hưởng chết người đối với cá nhân, phát thải phóng xạ quy mô lớn ra môi trường hoặc tan chảy lõi lò phản ứng". Ví dụ điển hình về một "sự cố hạt nhân lớn" trong đó lõi của lò phản ứng bị hư hại và một lượng lớn phóng xạ thoát ra ngoài như trong thảm họa Chernobyl năm 1986.

Khả năng và tác động tiềm tàng của các sự cố hạt nhân trên thực tế trở thành chủ đề tranh luận kể từ khi các lò phản ứng hạt nhân đầu tiên được xây dựng. Đây cũng là một yếu tố chủ yếu trong mối lo ngại của công chúng về các cơ sở hạt nhân. Nhiều giải

pháp kỹ thuật đã được thông qua để giảm nguy cơ xảy ra tai nạn hoặc để tránh sự cố có thể xảy ra, nhằm giảm thiểu lượng phóng xạ thải ra môi trường. Mặc dù áp dụng các giải pháp này, nhưng vẫn xảy ra nhiều sự cố với các tác động khác nhau. Có thể kể đến một số sự cố bức xạ nghiêm trọng đã từng xảy ra như: sự cố trị liệu bức xạ tại Costa Rica, sự cố trị liệu bức xạ ở Zaragoza, sự cố bức xạ ở Morocco, sự cố Goiania, sự cố bức xạ ở Mexico City, sự cố trị liệu bức xạ ở Thái Lan và sự cố tia X học ở Mayapuri, Ấn Độ.

Lịch sử

Cho đến nay sự cố hạt nhân tồi tệ nhất là thảm họa Chernobyl xảy ra vào năm 1986 ở Ukraina. Tai nạn này đã trực tiếp cướp đi sinh mạng của 56 người và gây ra ước tính thêm khoảng 4.000 trường hợp ung thư chết người, cũng như gây thiệt hại về tài sản trị giá khoảng 7 tỷ USD. Bụi phóng xạ từ vụ tai nạn này tập trung ở các vùng thuộc Belarus, Ukraine và Nga. Khoảng 350.000 người đã buộc phải tái định cư ra khỏi các khu vực này ngay sau sự cố bất ngờ. Theo ước tính mới đây, từ 400.000 đến 500.000 người (kể cả các em bé còn trong bào thai) gần tỉnh Kiev đã bị nhiễm phóng xạ liều tương đối cao và có khả năng phát triển bệnh ung thư, bệnh bạch cầu và dị tật ADN trong 10 - 40 năm tới.

So sánh tài liệu về sự an toàn vận hành trong lịch sử của năng lượng hạt nhân dân sự với các hình thức sản xuất điện khác, các công trình nghiên cứu độc lập giai đoạn từ 1970-1992 cho thấy số công nhân tử vong do làm việc tại nhà máy điện hạt nhân trên toàn thế giới thấp hơn nhiều so với số ca tử vong của các công nhân làm việc ở các nhà máy điện chạy bằng than, khí thiên nhiên hay nhà máy thủy điện. Đặc biệt, các nhà máy điện than ở Hoa Kỳ được đánh giá là cướp đi sinh mạng của 24.000 người/năm, do bệnh phổi cũng như gây ra 40.000 cơn đau tim mỗi năm. Theo tờ Scientific American, mỗi năm, một nhà máy điện than cỡ trung bình phát thải bức xạ dưới dạng chất thải than độc hại được biết đến như tro bay ở mức cao hơn 100 lần so với một nhà máy điện hạt nhân có quy mô tương đối.

Danh sách các sự cố tại nhà máy điện hạt nhân

Theo báo cáo của Benjamin K. Sovacool, từ năm 1952-2009 trên toàn thế giới đã có 99 sự cố tại các nhà máy điện hạt nhân (được định nghĩa như là các sự cố bất ngờ hoặc dẫn đến sự tổn thất về người hoặc thiệt hại tài sản trị giá hơn 50.000 USD, đây là mức thiệt hại tối thiểu được chính phủ liên bang Hoa Kỳ sử dụng để xác định các vụ tai nạn năng lượng lớn cần được báo cáo), với tổng giá trị thiệt hại tài sản là 20,5 tỷ USD. 57 sự cố đã xảy ra kể từ thảm họa Chernobyl và gần hai phần ba (56 trong số 99 sự cố) của tổng số vụ tai nạn liên quan đến hạt nhân đã xảy ra ở Hoa Kỳ. Các trường hợp tử vong liên quan đến các sự cố nhà máy điện hạt nhân là tương đối ít. Bảng 1 dưới đây liệt kê các sự cố hạt nhân lớn, giai đoạn 1952-2011.

Bảng 1: Các sự cố của nhà máy điện hạt nhân với nhiều thương vong và/hoặc thiệt hại hơn 100 triệu USD trị giá tài sản, 1952-2011

Ngày tháng	Địa điểm	Số tử vong	Lượng I-131 ^a thoát ra (1000 Ci ^b)	Phí tổn (triệu USD năm 2006)	Mức độ INES ^c
3/01/1961	Idaho, Hoa Kỳ	3	0,08	22	4
5/10/1966	Frenchtown Charter, Michigan, Hoa Kỳ	0			
7/12/1975	Greifswald, Đông Đức	0		443	3
22/02/1977	Jaslovske Bohunice, Czechoslovakia	0		1.700	4
28/03/1979	Three Mile Island - Middletown, Pennsylvania, Hoa Kỳ	0	0,017	2.400	5
15/09/1984	Browns Ferry units - Athens, Alabama, Hoa Kỳ	0		110	
9/03/1985	Browns Ferry units - Athens, Alabama, Hoa Kỳ	0		1.830	
11/4/1986	Pilgrim plant - Plymouth, Massachusetts, Hoa Kỳ	0		1.001	
26/04/1986	Chernobyl plant - Pripyat, Ukraine	53	7000	6.700	7
4/05/1986	Hamm-Uentrop, Đức	0	0	267	
31/03/1987	Peach Bottom Units - Delta, Pennsylvania, Hoa Kỳ	0		400	
19/12/1987	Nine Mile Point Unit - Lycoming, New York, Hoa Kỳ	0		150	
17/03/1989	Calvert Cliff Unit - Lusby, Maryland, Hoa Kỳ	0		120	
20/02/1996	Millstone Plant - Waterford, Connecticut, Hoa Kỳ	0		254	
2/09/1996	Crystal River, Florida, Hoa Kỳ	0		384	
30/09/1999	Tokaimura - Ibaraki, Nhật Bản	2		54	4
16/02/2002	Davis-Besse - Oak Harbor, Ohio, Hoa Kỳ	0		143	3
9/08/2004	Mihama plant - Fukui, Nhật Bản	4		9	1
11/03/2011	Okuma, Fukushima, Nhật Bản	0	2400		7

Chú thích: a) I-131 là chất đồng vị phóng xạ iốt; b) Ci là Curie đơn vị đo phóng xạ: 1 Ci = 3.7×10^{10} phân rã/giây; c) INES mức độ sự cố hạt nhân và phóng xạ do IAEA quy định.

5. Điều phối quốc tế về năng lượng hạt nhân

a) Cơ quan năng lượng nguyên tử quốc tế - IAEA

Cơ quan năng lượng nguyên tử quốc tế với tên viết tắt IAEA (International Atomic Energy Agency) là tổ chức quốc tế tối cao nhất trong lĩnh vực hạt nhân, có trụ sở đặt tại Vienna, Áo. Cơ quan này được thành lập ngày 29 tháng 7 năm 1957 như một tổ chức "Nguyên tử vì hòa bình" (Atoms for Peace) trong Liên hiệp quốc, với mục đích đẩy mạnh việc sử dụng năng lượng nguyên tử vì mục đích hòa bình và ngăn chặn việc sử dụng năng lượng nguyên tử trong mục đích quân sự. IAEA giờ đây được coi là một tổ chức liên chính phủ độc lập, hoạt động theo nguyên tắc đồng thuận, chịu sự điều khiển của hai thực thể hoạch định chính sách chính đó là Hội đồng Giám đốc (Board of Governors) với 35 thành viên và Đại hội đồng (General Conference) gồm tất cả các quốc gia thành viên. IAEA hiện nay có 151 thành viên, phần lớn đều là các quốc gia thuộc Liên hiệp quốc. IAEA là một tổ chức độc lập không chịu sự điều khiển trực tiếp của Liên hiệp quốc, nhưng cơ quan này có trách nhiệm báo cáo lên Đại hội đồng và Hội đồng Bảo an Liên hiệp quốc. Cơ cấu và chức năng của cơ quan này được quy định bởi điều lệ và tuyên bố sáng lập tổ chức.

Ba lĩnh vực hoạt động chính của IAEA bao gồm: An toàn và an ninh, khoa học và công nghệ, và gìn giữ an toàn và thẩm tra. IAEA là một diễn đàn liên chính phủ về hợp tác khoa học và kỹ thuật trong sử dụng công nghệ hạt nhân và năng lượng hạt nhân vì mục đích hòa bình. Các chương trình của IAEA khuyến khích phát triển các ứng dụng hòa bình của công nghệ hạt nhân, tạo ra các biện pháp gìn giữ quốc tế chống lại việc sử dụng sai mục đích đối với công nghệ và vật liệu hạt nhân, và thúc đẩy an toàn hạt nhân (bao gồm cả chống phóng xạ) và thành lập các tiêu chuẩn về an toàn hạt nhân và giám sát thực hiện chúng.

Tuyên bố sứ mệnh của IAEA:

- Là tổ chức liên chính phủ độc lập dựa vào khoa học và công nghệ, nằm trong hệ thống Liên hiệp quốc, phục vụ tiêu điểm toàn cầu về hợp tác quốc tế trong lĩnh vực hạt nhân;
- Giúp đỡ các quốc gia thành viên, trong bối cảnh các mục tiêu kinh tế xã hội, về lập kế hoạch hóa và sử dụng khoa học và công nghệ hạt nhân cho các mục đích hòa bình khác nhau, trong đó có sản xuất điện và tạo điều kiện thúc đẩy chuyển giao công nghệ và tri thức theo phương thức bền vững đối với các quốc gia thành viên đang phát triển;
- Phát triển các tiêu chuẩn an toàn hạt nhân và dựa trên các tiêu chuẩn đó thúc đẩy việc đạt được và duy trì mức độ an toàn cao trong các ứng dụng năng lượng hạt nhân, cũng như bảo vệ sức khỏe con người và môi trường chống bức xạ ion hóa;
- Thẩm tra thông qua hệ thống thanh tra của mình để đảm bảo rằng các quốc gia tuân thủ theo đúng các cam kết của mình, tuân theo Hiệp ước không phổ biến vũ khí hạt nhân và các hiệp ước phi phổ biến khác, chỉ sử dụng các vật liệu và phương tiện hạt nhân cho các mục đích hòa bình.

Chức năng:

- Khuyến khích và trợ giúp nghiên cứu, phát triển và ứng dụng thực tiễn và sử dụng năng lượng nguyên tử vì mục đích hòa bình trên phạm vi toàn thế giới; và đóng vai trò trung gian đối với các mục đích đảm bảo tiến hành các dịch vụ cung cấp nguyên liệu, thiết bị hay phương tiện bởi một quốc gia thành viên cho quốc gia khác và thực hiện bất cứ hoạt động hay dịch vụ hữu ích nào đối với nghiên cứu, phát triển hay áp dụng thực tiễn năng lượng nguyên tử vì mục đích hòa bình;
- Chuẩn bị đầy đủ dự phòng, theo đúng điều lệ, về nguyên vật liệu, dịch vụ, thiết bị và phương tiện để đáp ứng các yêu cầu nghiên cứu, phát triển và áp dụng thực tiễn năng lượng nguyên tử vì các mục đích hòa bình, bao gồm cả sản xuất điện, với sự cân nhắc thích đáng đối với nhu cầu của các vùng kèm phát triển của thế giới;
- Thúc đẩy trao đổi thông tin khoa học và kỹ thuật về sử dụng hòa bình năng lượng hạt nhân; khuyến khích trao đổi đào tạo các nhà khoa học và chuyên gia trong lĩnh vực sử dụng hòa bình năng lượng nguyên tử;
- Thiếp lập và thực hiện các biện pháp bảo vệ được thiết kế để đảm bảo rằng các vật liệu phân hạch có thể phân hạch, các dịch vụ, thiết bị, phương tiện và thông tin cung cấp bởi cơ quan hay theo yêu cầu, do cơ quan giám sát hay kiểm soát không được sử dụng làm phương thức để xúc tiến bất cứ một mục đích quân sự nào; áp dụng các biện pháp bảo vệ, theo yêu cầu của các bên, đối với các thỏa thuận song phương hay đa phương, hay theo yêu cầu của quốc gia đối với bất cứ hoạt động nào của một quốc gia trong lĩnh vực năng lượng nguyên tử;
- Thành lập hoặc thông qua, có tham khảo và hợp tác với các cơ quan có thẩm quyền của Liên hiệp quốc và với các cơ quan chuyên môn liên quan để xây dựng các tiêu chuẩn về an toàn bảo vệ sức khỏe và giảm thiểu tối đa các nguy cơ đối với đời sống và tài sản (kể cả các tiêu chuẩn về điều kiện lao động) và tạo điều kiện áp dụng các tiêu chuẩn đó;

Ở tầm quốc tế, Cơ quan Năng lượng Nguyên tử quốc tế hợp tác với các nước thành viên và các đối tác trên toàn thế giới để thúc đẩy các công nghệ hạt nhân an toàn, tin cậy và hòa bình. IAEA cung cấp một hệ thống các tiêu chuẩn an toàn hạt nhân, bao gồm các nguyên tắc bảo vệ và an toàn cơ bản, các yêu cầu và hướng dẫn đảm bảo an toàn vận hành nhà máy điện hạt nhân. Các tiêu chuẩn an toàn của IAEA phản ánh một sự đồng thuận quốc tế về việc gìn giữ một mức độ an toàn cao để bảo vệ con người và môi trường tránh khỏi những tác động có hại của bức xạ iôn hóa. Các tiêu chuẩn an toàn của IAEA áp dụng đối với toàn bộ vòng đời của các phương tiện và các hoạt động được sử dụng cho các mục đích hòa bình và cho các hành động bảo vệ nhằm làm giảm những nguy cơ phóng xạ tồn tại.

Các tiêu chuẩn an toàn của IAEA bao gồm ba hạng mục:

Các quy tắc cơ bản: Cho thấy mục tiêu và các nguyên tắc cơ bản về bảo vệ và an toàn được coi là cơ sở cho các yêu cầu về an toàn. **Các yêu cầu về an toàn** là một bộ

các yêu cầu cần đáp ứng để đảm bảo cho sự bảo vệ con người và môi trường, cả hiện tại và trong tương lai. Các hướng dẫn về an toàn cung cấp các hướng dẫn và khuyến cáo về việc làm thế nào để tuân thủ theo các yêu cầu về an toàn, chỉ ra một sự nhất trí quốc tế cao rằng điều cần thiết là phải có các biện pháp đã được khuyến nghị (hoặc các biện pháp thay thế tương đương). Các hướng dẫn an toàn đưa ra những kinh nghiệm quốc tế và nó phản ánh những kinh nghiệm tốt nhất trong vận hành năng lượng nguyên tử, giúp người sử dụng đạt được mức độ an toàn cao nhất.

Kể từ sau khi xảy ra thảm họa hạt nhân Chernobyl năm 1986, sự chú trọng của thế giới đến an toàn hạt nhân đặc biệt gia tăng, các quốc gia có năng lượng hạt nhân đều nhất trí rằng việc thiết kế và áp dụng các quy định về an toàn và an ninh hạt nhân là điều kiện thiết yếu đối với việc sử dụng an toàn năng lượng hạt nhân và các công nghệ liên quan, cả ở hiện tại và trong tương lai, và đây là điều kiện tiên quyết đầu tiên để đạt được an ninh năng lượng hạt nhân toàn cầu và sự phát triển bền vững toàn cầu.

b) Cơ quan Năng lượng Hạt nhân (Nuclear Energy Agency - NEA)

NEA là cơ quan đa quốc gia liên chính phủ, trực thuộc Tổ chức Hợp tác và Phát triển kinh tế (OECD). Cơ quan này, được thành lập năm 1958 với tên gọi ban đầu Cơ quan Năng lượng Hạt nhân châu Âu (ENEA), đổi thành tên hiện nay năm 1972 nhằm phản ánh số thành viên rộng lớn hơn bao gồm cả Hoa Kỳ, Canada, Nhật Bản và các quốc gia nằm ngoài EU khác.

Sứ mệnh của NEA là trợ giúp các quốc gia thành viên của mình duy trì và phát triển năng lượng hạt nhân như một nguồn năng lượng an toàn, thân thiện môi trường và kinh tế, thông qua việc hình thành một diễn đàn là nơi các quốc gia thành viên có thể chia sẻ các thông tin và kinh nghiệm và thúc đẩy hợp tác quốc tế về khoa học, công nghệ và luật pháp liên quan đến vấn đề sử dụng năng lượng hạt nhân vì các mục đích hòa bình.

NEA hiện nay có 28 quốc gia thành viên đến từ các khu vực châu Âu, Bắc Hoa Kỳ và Châu Á-Thái bình dương, đại diện cho 85% tổng công suất lắp đặt năng lượng hạt nhân thế giới và bao gồm nhiều quốc gia năng lượng hạt nhân hàng đầu thế giới.

NEA thúc đẩy sự hợp tác giữa các quốc gia thành viên về các lĩnh vực an toàn và điều phối năng lượng hạt nhân, về sự phát triển năng lượng hạt nhân với vai trò góp phần vào tiến bộ kinh tế. Các lĩnh vực hoạt động chính của NEA bao gồm an toàn và các quy định về an toàn hạt nhân, phát triển năng lượng hạt nhân, chống phóng xạ và bảo vệ sức khỏe công chúng, luật pháp và nghĩa vụ pháp lý về hạt nhân, khoa học hạt nhân, duy trì các ngân hàng dữ liệu, các dịch vụ thông tin và truyền thông.

c) Hiệp hội Điều phối Hạt nhân Quốc tế (International Nuclear Regulatory Association - INRA)

INRA được thành lập tháng 1 năm 1997 và là một hiệp hội bao gồm các quan chức cấp cao nhất của các cơ quan điều phối hạt nhân của các quốc gia: Canada, Pháp, Đức, Nhật Bản, Tây Ban Nha, Thụy Điển, Anh và Hoa Kỳ. Mục đích chủ yếu của hiệp hội là tác động và tăng cường an toàn hạt nhân từ góc độ điều phối trong số các quốc gia thành viên và trên phạm vi toàn thế giới.

Trong **ngành công nghiệp năng lượng hạt nhân thế giới**, có hai tổ chức đóng vai trò then chốt, đó là Hiệp hội các nhà vận hành hạt nhân thế giới (World Association of Nuclear Operators - WANO) và Hiệp hội Hạt nhân Thế giới (World Nuclear Association - WNA).

d) Hiệp hội các nhà vận hành hạt nhân thế giới (WANO)

WANO liên kết tất cả các công ty và các nước vận hành các nhà máy điện hạt nhân thương mại trên thế giới với mục tiêu duy nhất là hướng tới các tiêu chuẩn cao nhất có thể về an toàn hạt nhân.

WANO đã được thành lập sau sự cố hạt nhân Chernobyl năm 1986 như một tổ chức thông qua đó các nhà vận hành hạt nhân có thể tin cậy chia sẻ và phát triển kinh nghiệm tốt nhất để đạt được mức độ an toàn vận hành và tin cậy cao nhất. Là một tổ chức phi lợi nhuận với mục tiêu duy nhất là nâng cao mức độ an toàn hạt nhân, WANO là tổ chức độc nhất liên kết mọi công ty vận hành nhà máy điện hạt nhân thương mại. Mọi tổ chức trên thế giới vận hành nhà máy điện hạt nhân thương mại đều là thành viên của WANO.

WANO bao gồm một Ban điều hành cấp cao có trụ sở trung ương tại London và các trung tâm khu vực đặt tại Atlanta, Moscow, Paris và Tokyo, mỗi một trung tâm có một ban điều hành khu vực riêng và tất cả các chính sách và chương trình đều được thực hiện bởi văn phòng của WANO tại London và các trung tâm khu vực.

Để thực hiện sứ mệnh của mình, WANO cung cấp cho các thành viên của mình các sản phẩm và dịch vụ chất lượng cao thông qua bốn chương trình chủ yếu, bao gồm: **Peer Reviews** (Đánh giá bình duyệt) nhằm giúp các thành viên so sánh hiệu quả vận hành của họ so với các tiêu chuẩn về trình độ xuất sắc thông qua khảo sát sâu và đánh giá khách quan của nhóm chuyên gia bên ngoài; **Kinh nghiệm vận hành**: giúp các thành viên học hỏi kinh nghiệm của các nhà máy khác và thông báo về những biến cố đã từng xảy ra để có thể phòng tránh; **Hỗ trợ và trao đổi kỹ thuật** bao gồm các hoạt động hướng dẫn, kinh nghiệm, trao đổi nhà vận hành, các chỉ số hiệu quả và hỗ trợ kỹ thuật; **Phát triển chuyên môn và kỹ thuật**: mở diễn đàn trao đổi thông tin cho các thành viên WANO nhằm nâng cao kiến thức và kỹ năng, các hoạt động bao gồm hội nghị, hội thảo, hội nghị chuyên đề, và các khóa đào tạo.

Năm 1989 ngành công nghiệp hạt nhân đã thành lập WANO nhằm thúc đẩy sự xuất sắc chuyên môn và nền văn hóa an toàn hạt nhân mạnh mẽ tại tất cả các nhà máy điện hạt nhân trên thế giới. Kể từ năm 2001, Hiệp hội Hạt nhân Thế giới (WNA) được thành lập để đảm nhiệm một vai trò bổ sung vô giá bằng cách đại diện và đề cao lợi ích của ngành công nghiệp hạt nhân về các lĩnh vực then chốt nằm ngoài sự chú trọng độc nhất của WANO đến vấn đề an toàn.

d) Hiệp hội Hạt nhân Thế giới (World Nuclear Association - WNA)

WNA thành lập năm 2001, trước đó là Viện nghiên cứu Uranium (thành lập năm 1975), là một tổ chức quốc tế thúc đẩy năng lượng hạt nhân và hỗ trợ nhiều công ty

trong ngành năng lượng hạt nhân toàn cầu. Các thành viên của tổ chức này thuộc tất cả các bộ phận trong chu trình nhiên liệu hạt nhân, bao gồm khai thác uranium, chuyển hóa và làm giàu uranium, sản xuất nhiên liệu hạt nhân, chế tạo máy móc thiết bị, vận chuyển và chuyển nhượng nhiên liệu hạt nhân đã sử dụng cũng như chính bản thân sản xuất điện.

Mục tiêu của WNA là phát triển một tổ chức thực sự mang tính toàn cầu để thực hiện vai trò quốc tế hỗ trợ cho ngành công nghiệp hạt nhân hiện thực hóa được tiềm năng tăng trưởng to lớn của mình trong thế kỷ 21.

Sứ mệnh của WNA là: Tạo ra một diễn đàn toàn cầu để chia sẻ tri thức và những hiểu biết sâu về những tiến triển trong ngành công nghiệp hạt nhân; Đẩy mạnh năng lực vận hành của ngành bằng cách xúc tiến các kinh nghiệm tốt nhất ở phạm vi quốc tế; Đại diện cho ngành công nghiệp hạt nhân tại các diễn đàn quốc tế then chốt; Cải tiến chính sách quốc tế và môi trường công nơi có vận hành ngành công nghiệp hạt nhân.

Mục đích tổng thể của WNA là thúc đẩy mối tương tác lẫn nhau giữa các nhà lãnh đạo hàng đầu trong ngành nhằm giúp định hình tương lai của năng lượng hạt nhân.

Tính tổng thể, các thành viên của WNA chịu trách nhiệm đến 95% năng lượng hạt nhân thế giới nếu không kể Hoa Kỳ, cũng như đại diện cho phần lớn công đoạn chuyển hóa, làm giàu và sản xuất uranium. WNA nhằm mục đích thực hiện một vai trò kép cho các thành viên của mình, đó là tạo điều kiện cho sự tương tác giữa các thành viên về các vấn đề kỹ thuật, thương mại và chính sách, và thúc đẩy sự hiểu biết rộng rãi hơn trong công chúng về công nghệ hạt nhân.

Thành viên của WNA chủ yếu bao gồm các công ty và hiện tại chịu trách nhiệm gần như về tất cả các hoạt động chuyển hóa, làm giàu và sản xuất uranium của thế giới và chiếm đến 95% lượng điện hạt nhân của thế giới không kể Hoa Kỳ (85% năng lượng hạt nhân thế giới nếu tính cả Hoa Kỳ).

II. SỰ PHÁT TRIỂN CÔNG NGHỆ NĂNG LƯỢNG HẠT NHÂN

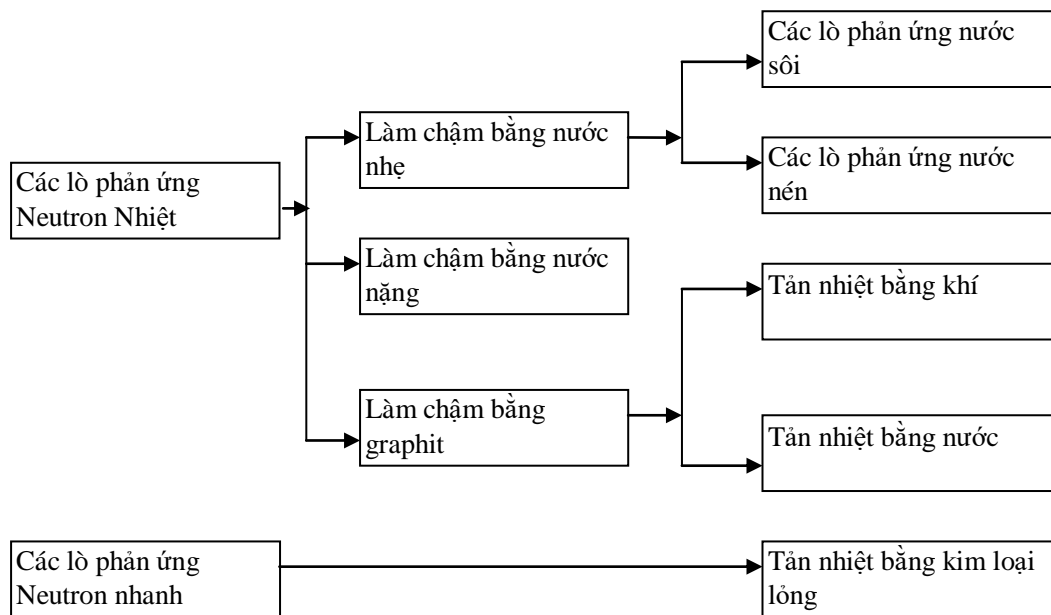
1. Công nghệ lò phản ứng hạt nhân thế hệ I, II và III

Hầu hết điện hạt nhân thế giới hiện đang được sản xuất sử dụng hai kiểu lò phản ứng được phát triển từ những năm 50 của thế kỷ trước và được cải thiện dần từ đó. Các mẫu thiết kế mới đang ngày càng trở nên tân tiến và một số thiết kế đang hoạt động hiện nay chủ yếu là các lò phản ứng thuộc thế hệ đầu tiên và đang ở cuối vòng đời hoạt động của chúng.

Các lò phản ứng hạt nhân sản sinh ra năng lượng thông qua một phản ứng chuỗi phân hạch có kiểm soát. Mặc dù hầu hết các lò đều sản xuất năng lượng điện, một số lò cũng có thể sản xuất ra plutonium sử dụng cho vũ khí và nhiên liệu lò phản ứng. Các lò năng lượng sử dụng nhiệt từ phản ứng phân hạch để tạo ra hơi làm quay các tua-bin sản sinh ra điện. Ở khía cạnh này, chúng giống với các nhà máy điện chạy bằng than và khí tự nhiên. Các bộ phận chung cho tất cả các lò phản ứng hạt nhân bao

gồm một bộ lắp ráp nhiên liệu, các thanh kiểm soát, một chất tản nhiệt, một khoang áp lực, một cấu trúc bể chứa và một cơ sở làm lạnh bên ngoài.

Tốc độ của các neutron trong phản ứng chuỗi quyết định loại hình lò (Hình 1). Các lò phản ứng nhiệt hạch sử dụng các neutron chậm để duy trì phản ứng. Những lò phản ứng này cần một chất làm chậm (moderator) để làm chậm tốc độ các neutron được sản sinh ra nhờ quá trình phân hạch. Các lò phản ứng neutron nhanh, hay còn gọi là các lò phản ứng tái sinh nhanh (FBR), sử dụng các neutron không được làm chậm, tốc độ cao để duy trì phản ứng chuỗi.



Hình 1 - Các kiểu lò phản ứng hạt nhân

Hai kiểu lò phản ứng cơ bản thuộc thế hệ thứ I (được thiết kế từ những năm 1950) bao gồm:

a) Lò phản ứng Nhiệt hạch

Lò phản ứng nhiệt hạch vận hành với nguyên tắc: uranium-235 trải qua quá trình phân hạch dễ dàng hơn với các neutron chậm thay vì các neutron nhanh. Nước nhẹ (H_2O), nước nặng (D_2O), và cacbon dưới dạng graphit là những chất làm chậm phổ biến nhất. Do các lò phản ứng neutron tạo ra phân hạch ở uranium-235 rất hiệu quả, nên chúng sử dụng các bó nhiên liệu có chứa hoặc nhiên liệu uranium tự nhiên (U-235 0,7%) hoặc uranium được làm giàu nhẹ (U-235 từ 0,9 tới 2%). Các thanh gồm vật liệu hấp thụ neutron ví dụ như cadmium hoặc boron được chèn vào bó nhiên liệu. Vị trí của những thanh kiểm soát trong lõi lò phản ứng sẽ xác định tỷ lệ của phản ứng chuỗi phân hạch. Chất tản nhiệt là một chất lỏng hoặc chất khí có chức năng loại bỏ nhiệt khỏi lõi và tạo ra hơi để chạy các tua-bin. Ở các lò phản ứng sử dụng nước nhẹ hoặc nước nặng, chất tản nhiệt còn hoạt động như là chất làm chậm. Các lò phản ứng sử dụng các chất

tản nhiệt khí (CO_2 hoặc He) sẽ dùng graphit làm chất làm chậm. Khoang áp suất, được chế tạo bằng thép chịu lực cao, sẽ chứa lõi lò phản ứng chứa bó nhiên liệu, các thanh kiểm soát, chất làm chậm và chất làm lạnh. Kết cấu bảo vệ (containment structure), bao gồm lớp thép và bê tông dày, sẽ ngăn cản sự phát tán của bức xạ trong trường hợp xảy ra tai nạn và đồng thời bảo vệ cho các bộ phận của lò phản ứng tránh được các tác nhân xâm phạm tiềm tàng. Cuối cùng, các bộ phận hữu hình nhất của nhiều nhà máy điện hạt nhân là các tháp làm lạnh, các bộ phận ngoài, để cung cấp nước mát làm ngưng tụ hơi thành nước để tái cấp lại vào kết cấu bảo vệ. Các tháp làm lạnh cũng được sử dụng ở các nhà máy khí tự nhiên và than.

b) Các lò phản ứng neutro nhanh

Trái với các lò phản ứng nhiệt, các neutron ở một lò phản ứng neutron nhanh (hay lò phản ứng tái sinh nhanh, FBR) không được làm chậm bằng một chất làm chậm. Chất tản nhiệt, thường là chì hoặc natri lỏng, là một chất không làm chậm hoặc hấp thụ các neutron. Nó cũng có các tính chất truyền nhiệt tuyệt vời, cho phép lò phản ứng được vận hành ở áp suất thấp và nhiệt độ cao hơn các lò phản ứng nhiệt hạch.

Một lò FBR được cấu hình và hoạt động để sản xuất ra nhiều nhiên liệu hơn là lượng nhiên liệu mà nó tiêu thụ. Các neutron nhanh dễ được hấp thụ bởi uranium-238 giàu, để sau đó có thể trải qua các phát xạ beta liên tiếp để trở thành Pu-239 phân hạch. Thorium-232 là một đồng vị giàu khác có thể hấp thụ các neutron và sản sinh ra uranium-233 phân hạch bằng các phát xạ beta. Những đồng vị phân hạch này có thể được tái xử lý để dùng cho nhiên liệu lò phản ứng hoặc vũ khí hạt nhân. Do các neutron nhanh không tạo ra phân hạch hiệu quả như các neutron chậm, nên các lò FBR cần có uranium oxit chứa 20% U-235 plutonium oxit, hay hỗn hợp của những oxit này, còn được gọi là MOX làm nhiên liệu.

Thông thường, các lò FBR được coi là một phương tiện để làm tăng các nguồn tài nguyên uranium toàn cầu bằng cách tạo ra Pu-239 hay U-233 phân hạch với vai trò là nhiên liệu lò phản ứng. Tuy nhiên, các rắc rối về vận hành lò phản ứng và các thành phần vật liệu kết hợp với việc khám phá ra các mỏ uranium mới khiến cho các lò FBR không có tính cạnh tranh về khía cạnh kinh tế so với các loại lò phản ứng nhiệt hạch đã có. Nghiên cứu về FBR đã mang lại những tiến bộ kỹ thuật nhưng yếu tố gây hạn chế vẫn là giá thành của nhiên liệu được tạo ra bằng lò FBR so với chi phí cho nhiên liệu uranium. Các lò FBR cũng phức tạp hơn các loại lò khác và cũng làm tăng những lo ngại về việc phổ biến plutonium để sử dụng trong vũ khí hạt nhân.

Một số lò phản ứng (chỉ có một loại là đang phục vụ thương mại) không có chất làm chậm và sử dụng các neutron nhanh, tạo ra điện từ plutonium trong khi lại tạo ra nhiều điện hơn từ đồng vị U-238 trong hoặc quanh nhiên liệu. Mặc dù chúng đạt hiệu suất sản sinh ra điện gấp 60 lần năng lượng từ uranium gốc so với các lò phản ứng thông thường, nhưng xây dựng chúng rất tốn kém. Việc phát triển chúng sâu hơn có thể được thực hiện trong những thập niên tới, và những thiết kế chính được kỳ vọng là sẽ được xây dựng trong hai thập niên tới là các lò FNR. Nếu chúng được cấu hình để sản xuất vật liệu phân hạch (plutonium) nhiều hơn lượng chúng tiêu thụ thì chúng được gọi là các lò Phản ứng Tái sinh Nhanh (FBR).

Bảng 2. Tổng hợp các đặc điểm của lò phản ứng

Kiểu lò	Chức năng	Chất tản nhiệt	Chất làm chậm	Dạng hóa chất của nhiên liệu	Độ làm giàu nhiên liệu*
Nhiệt					
Nước sôi	Điện	Nước nhẹ	Nước nhẹ	Uranium điôxit	Uranium làm giàu thấp
Nước nhẹ áp lực	Điện, năng lượng hàng hải	Nước nhẹ	Nước nhẹ	Uranium điôxit	Uranium làm giàu thấp
Nước nặng	Điện, sản xuất plutonium	Nước nặng	Nước nặng	Uranium điôxit hay kim loại uranium	Uranium tự nhiên, không được làm giàu
Được làm chậm bằng graphit, tản nhiệt bằng khí	Điện, sản xuất plutonium	Cácbon điôxit hay helium	Graphit	Uranium dicarbide hay kim loại uranium	Uranium được làm giàu nhẹ
Được làm chậm bằng graphit, tản nhiệt bằng nước	Điện, sản xuất plutonium	Nước nhẹ	Graphit	Uranium dicarbide hay kim loại uranium	Uranium làm giàu nhẹ
Được làm chậm bằng graphit, tản nhiệt bằng khí tầng sôi**	Điện	Helium áp suất	Graphit và silicon carbide	Uranium điôxit hoặc thorium điôxit	Uranium được làm giàu thấp
Neutron nhanh					
Lò tái sinh Neutron Nhanh	Điện, sản xuất plutonium	Chì hoặc natri nóng chảy	Không cần	Hỗn hợp khác nhau của plutonium và uranium điôxit	Các hỗn hợp khác nhau của plutonium điôxit và uranium điôxit

Chú thích: (*) Tỷ lệ của đồng vị U-235 trong nhiên liệu so với đồng vị U-238. Uranium tự nhiên chứa 0,7% U-235, uranium được làm giàu nhẹ từ 0,8 tới 3% U-235, còn uranium được làm giàu thấp từ 3 tới 5% U-235.

(**) Hiện đang được phát triển.

c) Các thể hệ lò phản ứng điện hạt nhân

Bảng 3 dưới đây trình bày một số dạng lò khác nhau đang được sử dụng thương mại.

Bảng 3. Các nhà máy điện hạt nhân đang hoạt động thương mại

Dạng lò	Những nước chính	Số lượng	GWe*	Nhiên liệu	Chất tản nhiệt	Chất làm chậm
Lò nước nhẹ áp lực (PWR)	Hoa Kỳ, Nhật Bản, Nga, Trung Quốc	265	251,6	UO ₂ được làm giàu	Nước	Nước
Lò nước sôi (BWR)	Hoa Kỳ, Nhật Bản, Thụy Điển	94	86,4	UO ₂ được làm giàu	Nước	Nước
Lò nước nặng áp lực 'CANDU' (PHWR)	Canada	44	24,3	UO ₂ tự nhiên	Nước nặng	Nước nặng
Lò được tản nhiệt bằng khí (AGR&Magnox)	Anh	18	10,8	U tự nhiên (kim loại), UO ₂ được làm giàu	CO ₂	Graphit
Lò graphit nước nhẹ	Nga	12	12,3	UO ₂ được làm giàu	Nước	Graphit
Lò phản ứng tái sinh nhanh	Nhật Bản, Nga	2	1,0	PuO ₂ và UO ₂	Natri lỏng	Không
Kiểu khác	Nga	4	0,05	UO ₂ được làm giàu	Nước	Graphit
	TỔNG	439	386,5			

* Gwe: công suất tính bằng nghìn megawat (ròng)

Nguồn: Cẩm nang Kỹ thuật Quốc tế 2010, WNA.

Công nghệ lò phản ứng hạt nhân được phân biệt theo các thể hệ. Các lò phản ứng **thế hệ I** được phát triển vào thập niên 50-60 của thế kỷ trước và chỉ còn ít lò hiện đang vận hành. Chúng hầu hết sử dụng nhiên liệu uranium tự nhiên và sử dụng graphit làm chất làm chậm. Các lò phản ứng **thế hệ II** thường sử dụng nhiên liệu uranium được làm giàu và hầu hết được tản nhiệt và làm chậm bằng nước. Các lò **thế hệ III** được coi là Các lò Tiên tiến, một vài chiếc đầu tiên hiện đang vận hành tại Nhật Bản còn vài chiếc khác thì đang được xây dựng và sẵn sàng được đặt hàng. Chúng là những phiên bản phát triển của thế hệ thứ hai với mức an toàn được nâng cao hơn.

Hơn một chục bản thiết kế lò phản ứng tiên tiến (Thế hệ III) đang ở nhiều giai đoạn phát triển. Một số được phát triển từ các bản thiết kế PWR, BWR và CANDU nêu trên, một số lại có các điểm suất phát cơ bản hơn. Những loại được phát triển từ các thiết kế PWR, BWR và CANDU gồm Lò phản ứng Nước sôi Tiên tiến, một vài chiếc loại này

hiện đang vận hành còn những chiếc khác thì đang được xây dựng. Thiết kế mới cơ bản nổi tiếng nhất là Lò phản ứng Mô-đun Tầng sôi, sử dụng helium làm chất tản nhiệt ở nhiệt độ cực cao để quay tua-bin một cách chính xác.

Các thiết kế thế hệ IV vẫn còn đang trên bàn vẽ và sẽ không thể vận hành sớm nhất trước năm 2020. Chúng có xu hướng có các chu trình nhiên liệu khép kín và đốt cháy các actinid có vòng đời dài, là các chất hiện đang góp phần tạo nên nhiên liệu đã dùng, vì vậy các sản phẩm của quá trình nhiệt hạch sẽ chỉ là chất thải cấp độ cao. Rất nhiều lò sẽ là các lò phản ứng neutron nhanh.

Xét trên vòng đời nhiên liệu khép kín, các lò phản ứng thế hệ 1-3 tái chế plutonium (và có lẽ cả uranium) còn lò thế hệ thứ IV được kỳ vọng là sẽ tái chế hoàn toàn actinid.

(1) Các lò phản ứng hạt nhân thế hệ II

Sau đây là tổng kết các đặc điểm quan trọng nhất của các lò phản ứng thế hệ II. Điểm quan trọng của thế hệ này là nó hiện đang chiếm hơn 99% các lò phản ứng hiện đang vận hành và được kỳ vọng là sẽ còn vận hành trong 20 năm tới cho đến khi tới điểm kết thúc vòng đời theo dự kiến của chúng.

Lò phản ứng Nước áp lực

Nước thô chịu áp suất khoảng 160 bar (đơn vị đo áp suất) hoạt động vừa như chất làm chậm lại vừa như chất tản nhiệt. Nhiên liệu có tới 5% UO_2 được làm giàu ở các ống Zircaloy. Nước thô làm nóng nước ở trong một mạch thứ cấp để tạo ra hơi nước. Lò phản ứng được đặt trong một tòa nhà bao che. Hiệu suất nhiệt là khoảng 32%.

Lò phản ứng nước sôi (BWR)

Về cơ bản là một lò PWR không có lò hơi và mạch thứ cấp. Nước ở áp suất khoảng 70bar được bơm qua lõi và do nó ở áp suất thấp hơn so với PWR, nên hơi được sản sinh ra ở mạch thứ cấp. Khoảng 10% nước được chuyển hóa thành hơi nước và di chuyển tới tuabin hơi. Sau khi ngưng tụ nước chịu áp suất và trở lại thành chất tản nhiệt. Công suất đơn vị của một lò BWR bằng một nửa công suất của một lò PWR với nhiệt độ và áp suất thấp hơn, nhưng hiệu suất thì tương đương.

Lò phản ứng CANAdia DeUterium (CANDU)

Nước nặng được sử dụng vừa làm chất làm chậm vừa làm chất tản nhiệt. UO_2 tự nhiên ở các ống Zircaloy được sử dụng làm nhiên liệu. Các ống nhiên liệu đi xuyên qua một khoang nước nặng. Nước nặng được bơm qua các ống nhiên liệu ở áp suất 90 bar và sau đó tới một lò hơi như ở lò PWR. Công suất đơn vị là khoảng bằng 1/10 công suất của lò PWR.

Lò phản ứng tản nhiệt bằng khí nhiệt độ cao (HTGR)

Đó là các lò phản ứng tản nhiệt bằng helium, được làm chậm bằng graphit. Nhiên liệu ở dạng hạt bọc có chứa các sản phẩm phân hạch. Nước được sử dụng ở mạch thứ cấp để sản sinh ra hơi nước. Gần đây, khái niệm tuabin khí chu trình trực tiếp (đơn vòng) đang được phát triển.

Lò phản ứng làm lạnh kim loại lỏng (LMFR)

Kim loại lỏng truyền nhiệt rất hiệu quả và chỉ làm chậm rất ít các neutron từ phân hạch. Do vậy, các lò LMFR cần nhiều vật liệu phân hạch hơn để giữ cho phản ứng chuỗi tiếp tục diễn ra. Lò có thể chứa vật liệu giàu để sản sinh ra nhiên liệu mới. Do chúng có thể tái sinh nhiên liệu, nên chúng còn được gọi là các lò phản ứng tái sinh. Natri được sử dụng dưới dạng kim loại lỏng phổ biến nhất cho các lò phản ứng này. Uranium, plutonium đioxit và các kim loại được làm giàu đang được sử dụng làm nhiên liệu. Hoạt động ở áp suất thấp hơn nhiều so với các lò phản ứng nước nhẹ phổ biến.

Các dạng lò khác:

Có hai dạng lò phản ứng được phát triển và xây dựng chỉ ở nước Anh, đó là lò Magnox và AGR, những lò này vẫn đang vận hành.

Magnox là lò phản ứng được làm chậm bằng graphit, tản nhiệt bằng cacbon đioxit (ở áp suất 20 bar). Loại lò này có nhiên liệu uranium tự nhiên trong lớp bọc hợp kim Magie. Hiệu suất nhiệt tổng thể là khoảng 30%.

Lò AGR, Lò phản ứng Tản nhiệt bằng Khí tiên tiến, là loại lò phản ứng tản nhiệt bằng khí với chất làm chậm là graphit và chất tản nhiệt là cacbon đioxit ở áp suất 40 bar. Nhiên liệu là 3% uranium đioxit làm giàu và vỏ bằng thép không rỉ. Hiệu suất nhiệt của nó là khoảng 40%. Đó là thiết kế duy nhất của nước Anh.

Tương tự, Lò phản ứng Nước Sôi làm chậm bằng graphit (RBMK) là một thiết kế cũ hơn của Nga và chỉ được xây dựng dưới thời Liên bang Xô Viết trước đây. Lò của RBMK là một tập hợp của các khối graphit nhờ đó chạy các ống áp suất có chứa nhiên liệu. Nước được bơm qua những ống này tại đó nó bị làm sôi để bốc hơi. Nhiên liệu là 2% uranium đioxit trong các ống Zircaloy. Bảng 4 tổng kết các loại vật liệu được sử dụng cho các lò phản ứng thế hệ II.

Bảng 4. Các vật liệu của lò phản ứng thế hệ II

Lò phản ứng	PWR	BWR	CANDU	HTGR	LMFR
Dạng nhiên liệu	UO ₂	UO ₂	UO ₂	UO ₂ , ThO ₂	PuO ₂ , UO ₂
Độ làm giàu	3,5% U235	2,5% U235	U tự nhiên	93% U235	15% Pu239
Vỏ bọc	Zircaloy	Zircaloy	Zircaloy	Graphit	Thép không rỉ
Điều khiển	B ₄ C hoặc các thanh Ag-In-Cd	Các thanh B ₄ C	Mức độ chất làm chậm	Các thanh B ₄ C	Tantalum hay các thanh B ₄ C
Chất làm chậm	Nước	Nước	Nước nặng	Graphit	Không
Chất tản nhiệt	Nước	Nước	Nước nặng	khí He	Na lỏng
Khoang	Thép	Thép	Thép	Bê tông dự ứng lực	Thép

(2) Công nghệ lò phản ứng hạt nhân thế hệ III và III+

Bảng 5 trình bày một số thiết kế của các lò phản ứng thế hệ III và III+. Những hệ thống này được quảng cáo là được xây dựng và vận hành mang tính thương mại cao hơn, cũng như có những đặc điểm an toàn thụ động được cải thiện.

Bảng 5. Các thiết kế Lò phản ứng thế hệ III và III+

Thiết kế	Nhà sản xuất	Công suất xấp xỉ (Mwe)	Loại lò	Tình trạng (2008)
AP600	Westinghouse	650	PWR	Được cấp chứng nhận
AP1000	Westinghouse	1117	PWR	Được cấp chứng nhận
ABWR	GE và Toshiba	1371	BWR	Được cấp chứng nhận
Hệ 80+	Westinghouse	1300	PWR	Được cấp chứng nhận
ESBWR	GE	1550	BWR	Đang tiến hành xin cấp chứng nhận
EPR	AREVA NP	1600	PWR	Tiền chứng nhận
Mô-đun tăng sôi	Westinghouse, Eskom	180	Graphit chịu nhiệt độ cao	Tiền chứng nhận

Thế hệ III

Lò phản ứng điện hạt nhân thế hệ III là các mẫu thiết kế tiên tiến dựa trên kinh nghiệm tích lũy thu được từ các lò phản ứng thế hệ II.

Các mục tiêu thiết kế gồm: 1) đơn giản hóa cơ cấu bộ phận; 2) các dung sai lớn hơn để hạn chế rủi ro của hệ thống; 3) các giai đoạn gia hạn dài hơn để đáp ứng với những tình trạng khẩn cấp; 4) độ khả dụng cao; 5) cạnh tranh về kinh tế; 6) tuân thủ theo các mục tiêu về an toàn đã được quốc tế công nhận; 7) cải thiện khả năng giảm thiểu và phòng ngừa tai nạn nghiêm trọng.

Những lò phản ứng thế hệ III gồm có: Lò nước sôi tiên tiến (ABWR), lò nước áp lực tiên tiến hệ 80+ (APWR) và lò phản ứng thiết kế thụ động AP600. Những thiết kế này được phát triển ở Hoa Kỳ và được Ủy ban Kiểm soát Hạt nhân Hoa Kỳ cấp chứng nhận vào thập niên 90. Các lò ABWR và APWR đã được xây dựng và vận hành ở các nước khác trên thế giới.

Đặc điểm chung của các lò phản ứng thế hệ III:

1. Một thiết kế chuẩn cho mỗi một kiểu lò để xin cấp li-xăng, giảm chi phí vốn và giảm thời gian xây dựng;
2. Thiết kế đơn giản và chắc chắn hơn, khiến cho chúng dễ vận hành và ít bị tổn hại bởi các rối loạn vận hành;
3. Độ khả dụng cao hơn và vòng đời hoạt động dài hơn, tiêu biểu là 60 năm;
4. Giảm nguy cơ các tai nạn chảy lỗi;

5. Giảm đến mức tối thiểu tác động đến môi trường;
6. Khả năng đốt cháy hết cao hơn để giảm mức sử dụng nhiên liệu và lượng chất thải;
7. Các chất hấp thụ (được coi là các chất độc) có khả năng cháy kéo dài chu trình nhiên liệu.

Điểm xuất phát lớn nhất từ các thiết kế thế hệ II đó là nhiều lò tích hợp các đặc điểm an toàn cố hữu hoặc thụ động, đòi hỏi không cần kiểm soát tích cực hoặc can thiệp vận hành để tránh các tai nạn trong trường hợp trục trặc, và có thể dựa vào trọng lực, sự đối lưu tự nhiên hoặc độ chịu nhiệt cao. Bảng 6 dưới đây cho thấy sự tiến hóa trong các mẫu thiết kế lò phản ứng nước nhẹ thế hệ III.

Bảng 6. Các mẫu thiết kế ngày càng tiến hóa của các lò phản ứng nước nhẹ thế hệ III

Lò phản ứng	Công suất	Tổ chức	Trạng thái/Các đặc điểm chính
AP 600	600	Westinghouse (tiền thân là ABB) (Hoa Kỳ)	Thiết kế được NRC của Hoa Kỳ cấp chứng nhận vào năm 1999 (AP=Thụ động tiên tiến)
AP 1000	1000	Westinghouse (Hoa Kỳ)	Được nâng cấp từ AP 600, thiết kế được NRC cấp chứng nhận vào tháng 12/2005
Hệ thống 80+PWR	1350	Westinghouse (Hoa Kỳ)	Thiết kế được NRC cấp chứng nhận vào tháng 12/2005
APWR	1530	Mitsubishi (Nhật Bản) Westinghouse (Hoa Kỳ) Framatome ANP (Pháp/Đức)	Công trình đầu tiên dự kiến xây dựng ở vùng Tsuruga, Nhật Bản
EPR	1545	Framtome ANP (Pháp/Đức)	Đáp ứng các yêu cầu của EUR, vòng đời 60 năm. Đang được xây dựng ở Phần Lan, Olkiluoto3
WWER	1000/640	Gidropress&Dự án Atomener (Nga)	Thiết kế hoàn chỉnh cho loại 640. Một số loại 1000 hiện đang được xây dựng ở Nga, Trung Quốc, Ấn Độ và Iran
KSNP	1000	Công ty Năng lượng Điện Hàn Quốc - Hàn Quốc	6 lò đang vận hành ở Hàn Quốc còn 2 lò đang được xây dựng.
APR-1400	1400	KEPCO & Korean Industry (Hàn Quốc)	Dựa trên thiết kế Hệ 80+, đã được cấp chứng nhận thiết kế. Vòng đời nhà máy 60 năm. Dự kiến được xây dựng vào năm 2010.
AC 600/1000	600/1000	NPIC, Trung Quốc	Tương tự với các thiết kế AP-600/1000. Dự kiến vào năm 2010.

ABWR	1360	GE, Hitachi và Toshiba (Nhật Bản)	Hai đang vận hành và 10 dự kiến ở Nhật Bản. Thiết kế dựa trên các hệ an toàn chủ động đã được thử thách.
ABWR-II	1700	Các cơ quan công và GE - Hitachi - Toshiba (Nhật Bản)	Tính kinh tế của quy mô thiết kế đang được xem xét
ESBWR	1380	GE, USA	Tích hợp tính kinh tế của quy mô với an toàn thụ động. Vòng đời thiết kế là 60 năm
SWR	1000	Framatome ANP, Đức	Thiết kế hoàn chỉnh dựa trên kinh nghiệm thiết thực của Đức. Các hệ thống an toàn thụ động và chủ động. Vòng đời thiết kế là 60 năm
BWR 90+	1500	Westinghouse Atom, Thụy Điển	Phiên bản phát triển của thiết kế ABB Atom ban đầu

Chú thích: NRC- Ủy ban Điều phối Hạt nhân Hoa Kỳ; EUR-Yêu cầu hữu dụng châu Âu (European Utility Requirements)

Các lò phản ứng điện hạt nhân cỡ vừa và nhỏ (SMRs)

Hiện nay, mỗi quan tâm đã tăng trở lại đối với các nhà máy kích thước vừa và nhỏ để phát điện từ năng lượng hạt nhân, và cho mục đích sử dụng kép. Mỗi quan tâm này được xuất phát từ mong muốn giảm chi phí vốn và nhu cầu cung cấp điện cách xa các hệ thống điện lưới chính. Năm 2007, có khoảng 150 lò vừa và nhỏ (SMRs) đang vận hành trên thế giới: 41 lò có công suất nhỏ hơn 300 MWe, 109 lò có công suất từ 300 tới 700 MWe. Những lò này gồm: 32 lò phản ứng tản nhiệt bằng khí ở nước Anh (AGR và CGR), 32 lò PWR, 29 lò WWER và 27 lò HWR. Động lực chính là theo hướng trở thành các lò tích hợp, trong đó lõi, các bơm, các khoang áp suất và các lò hơi được chứa bên trong một khoang áp suất đơn. SMRs được xây dựng đơn giản hơn do kích thước nhỏ, chúng phù hợp với điện lưới nhỏ hơn. Khả năng ngắt lò phản ứng một cách độc lập và khả năng loại bỏ nhiệt phân rã thụ động của một số thiết kế, kết hợp với sự kiểm soát tiên tiến hiện đại và các hệ thống thông tin thậm chí còn có thể mang lại khả năng vận hành từ xa chỉ với một vài người điều khiển. Bảng 6 tổng kết thông tin về Các lò phản ứng nhỏ và vừa thế hệ III.

Bảng 7. Loại hình và đặc điểm của lò phản ứng cỡ vừa và nhỏ

Lò	Công suất (Mwe)	Nước xuất xứ	Tình trạng/Các đặc điểm quan trọng
IRIS	100-300	Đa quốc gia do Hoa Kỳ lãnh đạo	Tích hợp, lõi 8 năm, đang thiết kế
SMART	300 MWt	Hàn Quốc	Tích hợp, 65 MWt thử nghiệm xây dựng
VK-300	250	Nga	Dựa trên lò BWR VK-B50. Có khả năng sử dụng kép

IMR	<300	Nhật Bản	PWR tích hợp
HABWR	600	Nhật Bản	BWR tuần hoàn cưỡng bức
HSBWR	300-600	Nhật Bản	BWR tuần hoàn tự nhiên
SSBWR	150	Nhật Bản	BWR tuần hoàn tự nhiên nhỏ
LSBWR	100-300	Nhật Bản	Lõi vòng đời dài
NHR-200	200 MWt	Trung Quốc	Nâng cấp từ NHR-5 cho mục đích sử dụng phi điện
PBMW	110	Đức/Nam Phi	Lò phản ứng tản nhiệt khí tầng sôi
GT-MHR	285	Hoa Kỳ, Nhật Bản Pháp, Nga	Lò phản ứng lắng trụ tản nhiệt khí, chạy tuabin khí
4S	50-100	Nhật Bản	Lò phản ứng nhanh tản nhiệt bằng natri
BREST	300	Nga	Nhiên liệu mono nitrat, tản nhiệt bằng chì
ENHS	50	Hoa Kỳ	Lò phản ứng mô-đun, tản nhiệt bằng chì Bismuth

Thế hệ III+

Là những lò phản ứng có thể được triển khai vào năm 2010. Những lò này được phát triển trong thập niên 90 của thế kỷ trước và đang ở các giai đoạn thiết kế và thực hiện khác nhau. Chúng gồm: lò phản ứng mô-đun tầng sôi (PBMR) và AP1000. Cả hai loại đều có các thiết kế an toàn thụ động còn PBMR được tản nhiệt bằng khí, là hai đặc điểm công nghệ dự báo trước cho sự xuất hiện của các lò phản ứng thế hệ IV. Những thiết kế này vẫn chưa được Ủy ban Điều phối Hạt nhân Hoa Kỳ chứng nhận.

Bảng 8 Tổng kết các dạng lò thế hệ III+

Kiểu lò	Công suất	Nước/cơ quan chủ trì	Trạng thái/Các đặc điểm chính
Lò phản ứng Mô-đun tầng sôi (PBMR)	165 MWe	Đức, Hoa Kỳ Trung Quốc, Nhật Bản	Tản nhiệt bằng heli. Các thiết kế gần đây đang được Nam Phi cất nhắc. Các biến thể nguyên mẫu của PBMR hiện đang vận hành tại Trung Quốc và Nhật Bản
Lò APWR (AP1000)	1000 MWe	Westinghouse (Hoa Kỳ)	Là phiên bản mở rộng của AP600 Có các đặc điểm an toàn thụ động, đổi mới và một thiết kế đơn giản hóa nhằm giảm vật liệu và chi phí xây dựng của lò phản ứng trong khi lại cải thiện được mức an toàn vận hành. Phiên bản AP1000 mới nhất đã được đấu thầu tại Trung Quốc
Lò phản ứng Nước sôi được đơn giản hóa hiệu quả kinh tế (ESBWR)		GE, Hoa Kỳ	ESBWR15 là thiết kế đơn giản hóa mới được GE xúc tiến, có các đặc điểm an toàn thụ động, nhằm giảm chi phí vận hành và xây dựng so với các thiết kế lò ABWR ban đầu

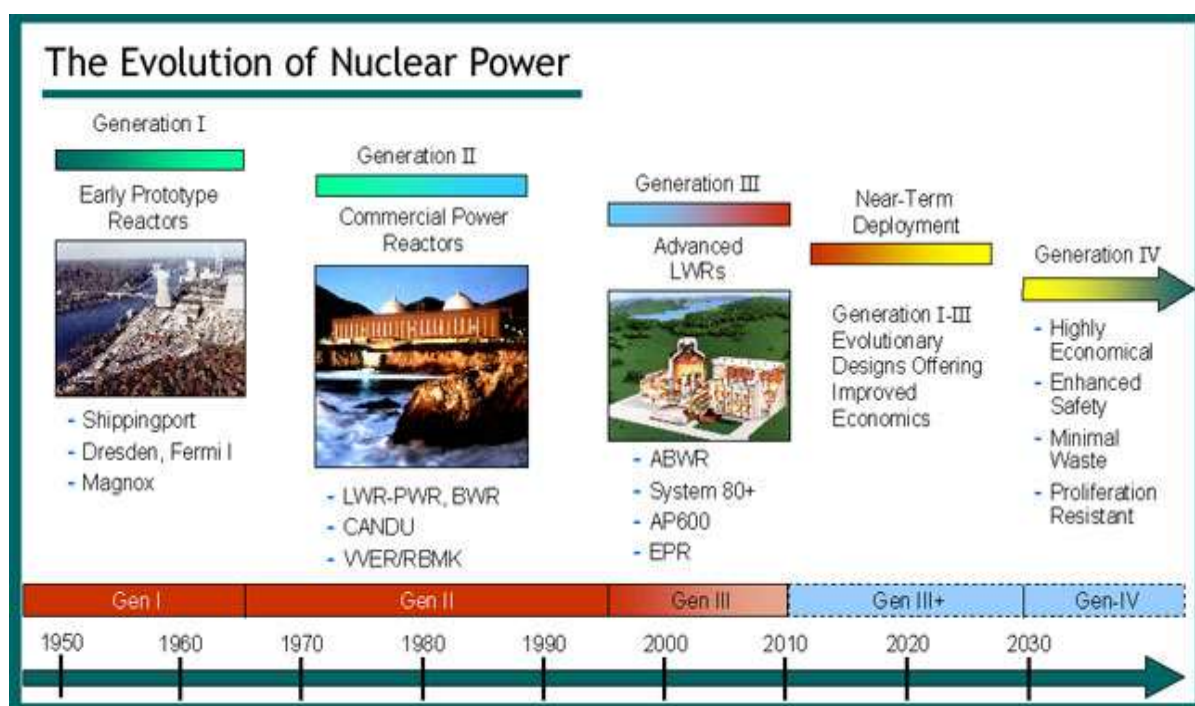
Siedewasser Reaktor (SWR-1000)	1000 MWe	Framatome ANP	Có các đặc điểm an toàn thụ động
Lò phản ứng CANDU tiên tiến (ACR-700)	700 MWe	Canada Ấn độ	Sử dụng nước nặng làm chất làm chậm, nước nhẹ làm chất tản nhiệt.
Lò phản ứng Heli mô-đun tua-bin khí (GT-MHR - thiết kế HTGR)		GE, Hoa Kỳ	Sử dụng nhiên liệu dựa trên uranium được làm giàu tới 19,9% hàm lượng U-235 Nhiệt độ tản nhiệt của HTGR cao hơn LWR, nên thiết kế này được coi là một nguồn nhiệt thương mại cải tiến. Đã có mối quan tâm về tiềm năng của thiết kế này trong việc sản xuất hydro từ nước.
Lò phản ứng Đồi mới và An toàn Quốc tế IRIS (APWR)		Consortium do Westinghouse BNFL lãnh đạo	Thiết kế lò nhỏ hơn và sẽ đơn giản hơn hầu hết các lò PWR hiện đang vận hành. Gồm các đặc điểm nhằm tránh thiệt hại do các tai nạn chất tản nhiệt. Đang trong giai đoạn tiền chứng nhận
Lò phản ứng nước áp lực Châu Âu (EPR)	1750 MWe ở giai đoạn thiết kế ban đầu Chủ yếu là 1600 MWe	Framatome ANP	Là loại lò PWR tiên tiến trong đó các bộ phận được đơn giản hóa và chú trọng tới an toàn của lò. Thiết kế hiện đang được triển khai ở Phần Lan được dự kiến hoàn thành năm 2009
Lò phản ứng CANDU tiên tiến (ACR-1000)	1100+ MWe	AECL, Canada	Được AECL xúc tiến song song với thiết kế ACR700
4S	10 MWe	Toshiba	Lò phản ứng rất nhỏ, tản nhiệt bằng natri lỏng, được thiết kế để sử dụng ở những vùng hẻo lánh và có thể vận hành trong hàng thập niên mà không cần tái nạp nhiên liệu. Nhiên liệu tiềm năng khác là uranium hoặc hợp kim uranium-plutonium.

Nguồn: NukeWorker online photo album

2. Công nghệ năng lượng hạt nhân thế hệ IV và lộ trình phát triển

Để phát triển năng lượng hạt nhân nhằm đáp ứng nhu cầu năng lượng trong tương lai, 10 nước - Argentina, Brazil, Canada, Pháp, Nhật Bản, Hàn Quốc, Nam Phi, Thụy Sĩ, Anh và Hoa Kỳ - đã thoả thuận về một khuôn khổ hợp tác quốc tế nghiên cứu thế hệ tương lai của các hệ thống năng lượng hạt nhân được gọi là thế hệ IV. Hình 2 dưới đây trình diễn tổng thể tiến hóa các thế hệ của hệ thống năng lượng hạt nhân. Thế hệ đầu tiên (thế hệ I) được phát triển vào những năm 1950 và 1960 gồm các lò phản ứng

nguyên mẫu đầu tiên. Thế hệ II được bắt đầu trong những năm 1970 với các nhà máy điện thương mại lớn hiện nay vẫn đang hoạt động. Thế hệ III được phát triển gần đây hơn vào những năm 1990 với một số thiết kế tiến hoá, có những cải tiến đáng kể về độ an toàn và kinh tế và một số được xây dựng chủ yếu ở Đông Á. Những cải tiến trên cơ sở Thế hệ III đang được tiến hành, kết quả một số nhà máy có thể triển khai trong giai đoạn gần (được gọi là thế hệ III+), đang tích cực phát triển và được xem xét để triển khai ở một số nước. Những nhà máy mới được xây dựng từ nay đến năm 2030 có thể sẽ được chọn từ những mẫu thiết kế tiên tiến này. Triển vọng ở tầm xa hơn năm 2030 về những cải tiến đổi mới ở các hệ thống năng lượng hạt nhân thông qua con đường nghiên cứu và phát triển đổi mới đang thu hút được sự quan tâm trên toàn thế giới đến các hệ thống năng lượng hạt nhân thế hệ IV.



Hình 2: Sự tiến hoá công nghệ năng lượng hạt nhân thế giới

Mười quốc gia tham gia trên đã thành lập Diễn đàn quốc tế thế hệ IV (tên viết tắt là GIF - Generation IV International Forum) để phát triển các hệ thống năng lượng hạt nhân thế hệ tương lai với các mẫu thiết kế có thể được cấp chứng nhận, xây dựng và vận hành theo cách mà sẽ cung cấp những sản phẩm năng lượng đáng tin cậy và có khả năng cạnh tranh về giá cả, trong khi giải quyết được những mối quan tâm về an toàn hạt nhân, chất thải, sự phổ biến vũ khí hạt nhân và những mối quan tâm của cộng đồng. Mục tiêu đối với các hệ thống năng lượng hạt nhân thế hệ IV là sẵn sàng để triển khai quốc tế vào khoảng năm 2030, khi nhiều nhà máy điện hạt nhân trên thế giới hiện nay đang hoạt động sẽ hết hạn hoặc gần hết hạn hoạt động.

Các chương trình nghiên cứu năng lượng hạt nhân trên thế giới đang phát triển những khái niệm mà có thể tạo nên cơ sở cho các hệ thống thế hệ IV. Sự hợp tác về R&D ngày càng được các nước GIF xúc tiến nhằm thúc đẩy sự tiến bộ theo hướng hiện thực hóa các hệ thống này. Với cam kết và quyết tâm quốc tế, thế giới bắt đầu nhận thức được những lợi ích của các hệ thống năng lượng hạt nhân thế hệ IV trong vòng một vài thập kỷ tới. Bắt đầu năm 2000, những nước thành lập GIF bắt đầu tổ chức thảo luận về các hoạt động nghiên cứu cần thiết liên quan đến các lò phản ứng thế hệ tiếp theo. Từ những cuộc họp đầu tiên này, lộ trình công nghệ hướng đến nỗ lực thế hệ IV được bắt đầu. Việc tổ chức và thực hiện lộ trình đã thuộc trách nhiệm của Nhóm Hợp nhất Lộ trình (Roadmap Integration Team) với sự cố vấn của Tiểu ban Quy hoạch công nghệ thế hệ IV thuộc Ban Tư vấn nghiên cứu năng lượng hạt nhân (NERAC) thuộc Bộ Năng lượng Hoa Kỳ. Lộ trình được coi là một phương pháp luận dùng để xác định và điều hành việc lập kế hoạch và huy động nỗ lực NCPT quy mô lớn. GIF đã nhất trí ủng hộ việc chuẩn bị một lộ trình và lộ trình này đã trở thành tiêu điểm của những nỗ lực quốc gia. Hơn 100 chuyên gia kỹ thuật từ 10 nước đã góp phần vào việc chuẩn bị.

Phạm vi NCPT được mô tả trong lộ trình liên quan đến tất cả các hệ thống thế hệ IV. Tuy nhiên, mỗi nước thành viên GIF sẽ tập trung vào các hệ thống và tập hợp các hoạt động NCPT sẽ mang lại lợi ích lớn nhất cho họ. Do đó, lộ trình tạo ra một cơ sở để xây dựng các kế hoạch chương trình quốc gia và quốc tế theo đó các nước GIF sẽ hợp tác xúc tiến các hệ thống thế hệ IV.

a) Mục tiêu đối với thế hệ thứ IV

Để bắt đầu chuẩn bị cho lộ trình công nghệ lò phản ứng thế hệ IV, cần thiết lập mục tiêu cho các hệ thống năng lượng hạt nhân. Các mục tiêu gồm ba trọng tâm sau: Thứ nhất, chúng được coi là cơ sở để phát triển các tiêu chuẩn đánh giá và so sánh các hệ thống trong lộ trình công nghệ. Thứ hai, chúng mang tính thách thức và thúc đẩy sự hướng đến các hệ thống năng lượng hạt nhân đổi mới - cả về chu trình nhiên liệu và công nghệ lò phản ứng. Thứ ba, chúng được coi là động cơ và định hướng cho hoạt động NCPT các hệ thống thế hệ IV cũng như các nỗ lực hợp tác được tiến hành.

Tám mục tiêu cho thế hệ IV được xác định tại bốn lĩnh vực rộng về như tính bền vững, kinh tế, an toàn và tin cậy, chống phổ biến vũ khí hạt nhân và bảo vệ hiện hữu. Mục tiêu về tính bền vững tập trung vào việc sử dụng nhiên liệu và quản lý chất thải. Mối quan tâm chính là quản lý môi trường thông qua những kiểm soát nghiêm ngặt về không khí sạch và quản lý phế thải và bảo tồn tài nguyên. Bốn loại chu trình nhiên liệu hạt nhân phổ biến được xem xét:

1. Chu trình nhiên liệu một lần.
2. Chu trình nhiên liệu tái chế một phần plutoni phân hạch tái sinh.
3. Tái chế toàn bộ plutoni.
4. Chu trình tái chế các nguyên tố siêu urani (có tính phóng xạ cao).

Quản lý chất thải là vấn đề quan tâm chính đối với chu trình nhiên liệu một lần hiện nay do hạn chế về chỗ chôn chất thải trên toàn thế giới. Các chu trình nhiên liệu khép kín hay các lò phản ứng tái sinh cho phép tái sử dụng một số nhiên liệu vì vậy giảm được nhiên liệu phải mang đi chôn. Hoạt động của lò có thể được cải thiện nếu các lò phản ứng nhiệt và lò phản ứng nhanh được vận hành theo phương thức kết hợp. Việc các lò phản ứng nhiệt làm lạnh bằng khí và nước gia tăng đốt nhiên liệu có thể cải thiện việc quản lý actinid được sinh ra bằng cách đốt chúng tại chỗ.

Các mục tiêu kinh tế tập trung vào chu trình nhiên liệu, giá thành sản xuất năng lượng và rủi ro tài chính. Các lò phản ứng mới phải có sức cạnh tranh trong thị trường nhu cầu năng lượng luôn biến động. Các nhà máy hạt nhân do tư nhân sở hữu có thể tồn tại cùng với các nhà máy do nhà nước sở hữu. Sở hữu tư nhân tạo ra nhu cầu về các nhà máy có quy mô đa dạng hơn, lớn hay nhỏ hơn tùy thuộc vào vị trí trên thế giới. Các nhà máy cần được xây dựng theo modun hay theo các đặc điểm kỹ thuật tiêu chuẩn hóa để các thành phần của nhà máy có thể được sử dụng lại hay thay thế. Điều này sẽ có hiệu quả kinh tế cao hơn nhiều so với mỗi nhà máy được thiết kế đơn nhất như hiện nay.

Mục tiêu an toàn và độ tin cậy tập trung vào hoạt động vận hành an toàn và tin cậy, cải thiện quản lý sự cố và giảm thiểu hậu quả, bảo hộ đầu tư và về cơ bản loại bỏ yêu cầu kỹ thuật đối với ứng phó khẩn cấp từ bên ngoài. Các biện pháp an toàn chủ động và thụ động đối với các sự cố được xem xét một cách cẩn thận. Áp dụng nghiêm ngặt các biện pháp an toàn và các quy định quốc tế về sử dụng các loại vật liệu phân hạch tại chỗ. Các yếu tố con người cần được nhấn mạnh cùng với hoạt động của nhà máy để giảm khả năng rò rỉ các nguyên tố phóng xạ ra môi trường hay gây hại cho thực vật.

Chống phổ biến vũ khí hạt nhân và bảo vệ hiện hữu tập trung vào kiểm soát và gìn giữ an toàn vật liệu hạt nhân và các cơ sở hạt nhân. Các nhà máy được thiết kế để đối phó với các thảm họa thiên nhiên như động đất. Cần quan tâm đến khả năng phá hoại hay các hành động ăn trộm, phân tán vật liệu phân hạch của các cá nhân hay các tổ chức phi nhà nước.

Dưới đây là tám mục tiêu cụ thể đối với các hệ thống năng lượng hạt nhân thế hệ IV:

Tính bền vững-1: Các hệ thống năng lượng hạt nhân thế hệ IV sẽ mang lại một nền sản xuất năng lượng bền vững đáp ứng các mục tiêu chất lượng không khí sạch và thúc đẩy tính ổn định dài hạn của hệ thống, sử dụng nhiên liệu hiệu quả đối với sản xuất năng lượng trên phạm vi toàn thế giới;

Tính bền vững-2: Các hệ thống năng lượng hạt nhân thế hệ IV sẽ giảm đến mức tối thiểu và quản lý tốt chất thải hạt nhân, giảm một cách đáng kể gánh nặng trách nhiệm quản lý dài hạn và qua đó cải thiện sự bảo vệ sức khỏe cộng đồng và môi trường;

Tính kinh tế-1: Các hệ thống năng lượng hạt nhân thế hệ IV sẽ có lợi thế về chi phí chu kỳ sản phẩm rõ rệt so với các nguồn năng lượng khác;

Tính kinh tế -2: Các hệ thống năng lượng hạt nhân thế hệ IV sẽ một lợi thế so sánh về mức độ rủi ro tài chính so với các nguồn năng lượng khác;

An toàn và độ tin cậy-1: Vận hành các hệ thống năng lượng hạt nhân thế hệ IV sẽ có mức độ an toàn và tin cậy vượt trội;

An toàn và độ tin cậy-2: Các hệ thống năng lượng hạt nhân thế hệ IV sẽ có khả năng và mức độ thiệt hại lõi lò rất thấp;

An toàn và độ tin cậy-3: Các hệ thống năng lượng hạt nhân thế hệ IV sẽ loại bỏ yêu cầu ứng cứu khẩn cấp từ bên ngoài;

Chống phổ biến vũ khí hạt nhân và bảo vệ hiện hữu -1: Các hệ thống năng lượng hạt nhân thế hệ IV sẽ gia tăng sự đảm bảo rằng chúng sẽ có thiết kế ít hấp dẫn và lỗi cuốn nhất đối với những hành động chệch hướng hay đánh cắp vật liệu có thể sử dụng để chế tạo vũ khí, và cung cấp một sự bảo vệ hiện hữu gia tăng chống lại các hành động khủng bố.

b) Các hệ thống năng lượng hạt nhân thế hệ IV

Việc quan trọng nhất trong xây dựng lộ trình thế hệ IV tập trung vào lựa chọn 6 hệ thống năng lượng hạt nhân thuộc thế hệ thứ IV. Cơ sở của sự lựa chọn này là:

- Xác định hệ thống tạo được những tiến bộ lớn đối với những mục tiêu công nghệ;
- Đảm bảo rằng các nhiệm vụ quan trọng về phát điện, sản xuất hydro, nhiệt quá trình và quản lý actinid tuân thủ theo các mục tiêu đã đề ra đối với các hệ thống thuộc thế hệ IV;
- Tạo ra một khoảng chồng gối lên nhau về năng lực, bởi không phải tất cả các hệ thống cuối cùng đều có thể khả thi hay đạt được các mục tiêu về hiệu suất và thu hút được triển khai thương mại;
- Phù hợp với các vấn đề ưu tiên và lợi ích quốc gia của các nước tham gia Diễn đàn.

Nỗ lực hiện nay trong Thế hệ IV được theo đuổi dựa trên các cơ sở trên, với mục tiêu phát triển và cung cấp các hệ thống khả thi hoạt động hiệu suất cao trong vài thập kỷ tới. Có sáu hệ thống được tập trung nghiên cứu thuộc thế hệ IV được nêu ra trong bảng 9 dưới đây.

Bảng 9. Giới thiệu sơ bộ 6 hệ thống năng lượng hạt nhân thế hệ IV

Lò phản ứng	Phổ neutron	Chất làm mát	Nhiệt độ °C	Chu trình nhiên liệu	Công suất (MW điện)
Lò phản ứng nhiệt độ rất cao - VHTR	Nhiệt	Heli	900-1000	Mở	250-300
Lò phản ứng nhanh làm mát bằng natri	Nhanh	Natri	550	Kín	30-150 300-1500 1000-2000
Lò phản ứng làm mát bằng nước siêu tới hạn	Nhiệt/nhanh	Nước	510-625	Mở/Kín	300-700 1000-1500

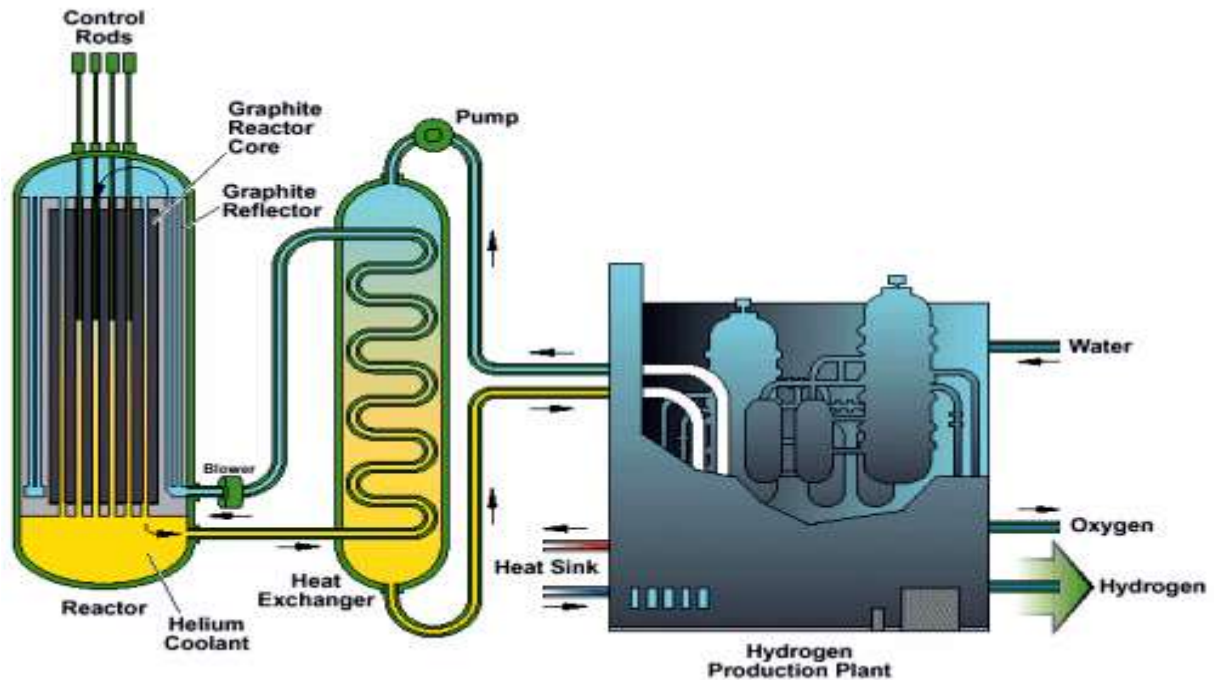
Lò phản ứng nhanh làm mát bằng khí	Nhanh	Heli	850	Kín	1200
Lò phản ứng nhanh làm mát bằng chì	Nhanh	Chì	480-800	Kín	20-180 300-1200 600-1000
Lò phản ứng muối tan chảy	Nhanh/ nhiệt	Các muối Fluoride	700-800	Kín	1000

Lò phản ứng nhiệt độ rất cao (Very High Temperature Reactor - VHTR)

Luật năng lượng của Hoa Kỳ có một điều khoản về thiết kế lò phản ứng mới thế hệ IV. Đến năm 2010, Hoa Kỳ đã dành 1,1 tỷ ngân sách để xây dựng lò phản ứng này. Lò phản ứng này sẽ hoàn thành vào năm 2015.

Lõi của lò nhiên liệu làm mát bằng heli (He) cùng loại với nhiên liệu của lò phản ứng heli môđun tua bin khí (GT-MHR) hay lò phản ứng môđun tầng sỏi (Pebble Bed Modular Reactor -PBMR). Lò phản ứng nhiệt độ rất cao (VHTR) là lò phản ứng làm mát bằng khí thế hệ IV vừa sản xuất điện vừa sản xuất hydro. Phòng thí nghiệm Kỹ thuật và Môi trường Quốc gia Idaho của Hoa Kỳ (INEEL) đảm nhiệm phát triển dự án này.

Đây là lò phản ứng làm mát bằng heli, làm chậm bằng graphit với một chu trình nhiên liệu urani một lần cho mục tiêu vừa sản xuất điện vừa sản xuất hydro. Hydro mang năng lượng hạt nhân được cân nhắc cho nền kinh tế năng lượng không ô nhiễm trong tương lai với các pin nhiên liệu sản xuất điện trực tiếp từ hydro và giải phóng ra hơi nước và nước.



VHTR cung cấp nhiệt bằng chất làm mát heli, nhiệt lượng thoát ra ở 1.000 độ C, có thể ứng dụng trong sản xuất hydro, sản xuất nhiên liệu tổng hợp từ than hay xử lý nhiệt cho ngành công nghiệp hóa dầu. Lò phản ứng pilot với lõi lò công suất 600 MW nhiệt nối với bộ chuyển nhiệt tức thời để chuyển nhiệt quá trình. Lõi lò phản ứng có thể là lõi lắng trụ như lõi của nhà máy điện Fort Saint-Vrain trước đây hay lõi của HTTR của Nhật đang vận hành hoặc là lõi tầng sỏi như HTR-10 của Trung Quốc đang vận hành. Để sản xuất hydro, hệ thống cung cấp nhiệt có thể được sử dụng một cách hiệu quả bằng một quy trình nhiệt hóa iot-sunful. Một đặc điểm an toàn là nhiệt của lò phản ứng có thể bức xạ thụ động từ lõi làm chậm graphit quán tính nhiệt cao mà không gây hại cho nhiên liệu bọc graphit và thải ra các sản phẩm phân hạch phóng xạ. Lò phản ứng này sẽ được xây dựng dưới lòng đất và lòng đất cũng là chỗ tiêu nhiệt cuối cùng của lò phản ứng.

Chu trình chính thải ra nhiệt cho thiết bị chuyển hóa hơi nước/lò hơi. Có thể sử dụng chu trình nhiên liệu U/Pu để quản lý chất thải actinit. Các mục tiêu được nhằm vào gồm: vận hành kinh tế, hiệu suất cao có thể so sánh với hiệu suất của các nhà máy khí tự nhiên chu trình kết hợp, giảm thiểu phế thải, vận hành an toàn và chu trình nhiên liệu chống phổ biến hạt nhân

VHTR đưa ra hàng loạt ứng dụng nhiệt quá trình và sự lựa chọn cho sản xuất điện hiệu suất cao, trong khi duy trì các đặc điểm an toàn mong muốn của các lò phản ứng mô đun làm mát bằng khí nhiệt độ cao.

Các composit carbon-carbon (cacbon được gia cố bằng sợi cacbon) cần được phát triển để bọc các cần điều khiển. Phần bên trong lõi cần thời gian thử nghiệm lên tới 10 năm để kiểm tra sự oxy hóa, nhiệt phóng xạ, hành vi và tính chất nứt gãy của các loại vật liệu nhiệt độ cao. Việc kiểm tra độ an toàn của các van và các mô đun chuyển nhiệt bên trong là rất cần thiết.

VHTR có thể được phát triển nhanh chóng trong các năm tới để sản xuất hydro. Nó có thể được sử dụng để khí hóa than đá và sản xuất nhiên liệu tổng hợp cho vận tải để thay thế các nguồn cung cấp hydrocacbon lỏng đang cạn kiệt.

Các nhà máy hạt nhân như Exelon Corp., Dominion Resources Inc. và Entergy Corp., cũng như các nhà chế tạo thiết bị như General Electric Co., The Westinghouse Nuclear unit of British Nuclear Fuels Ltd., và the Framatome unit of France's Areva rất quan tâm đến dự án VHTR.

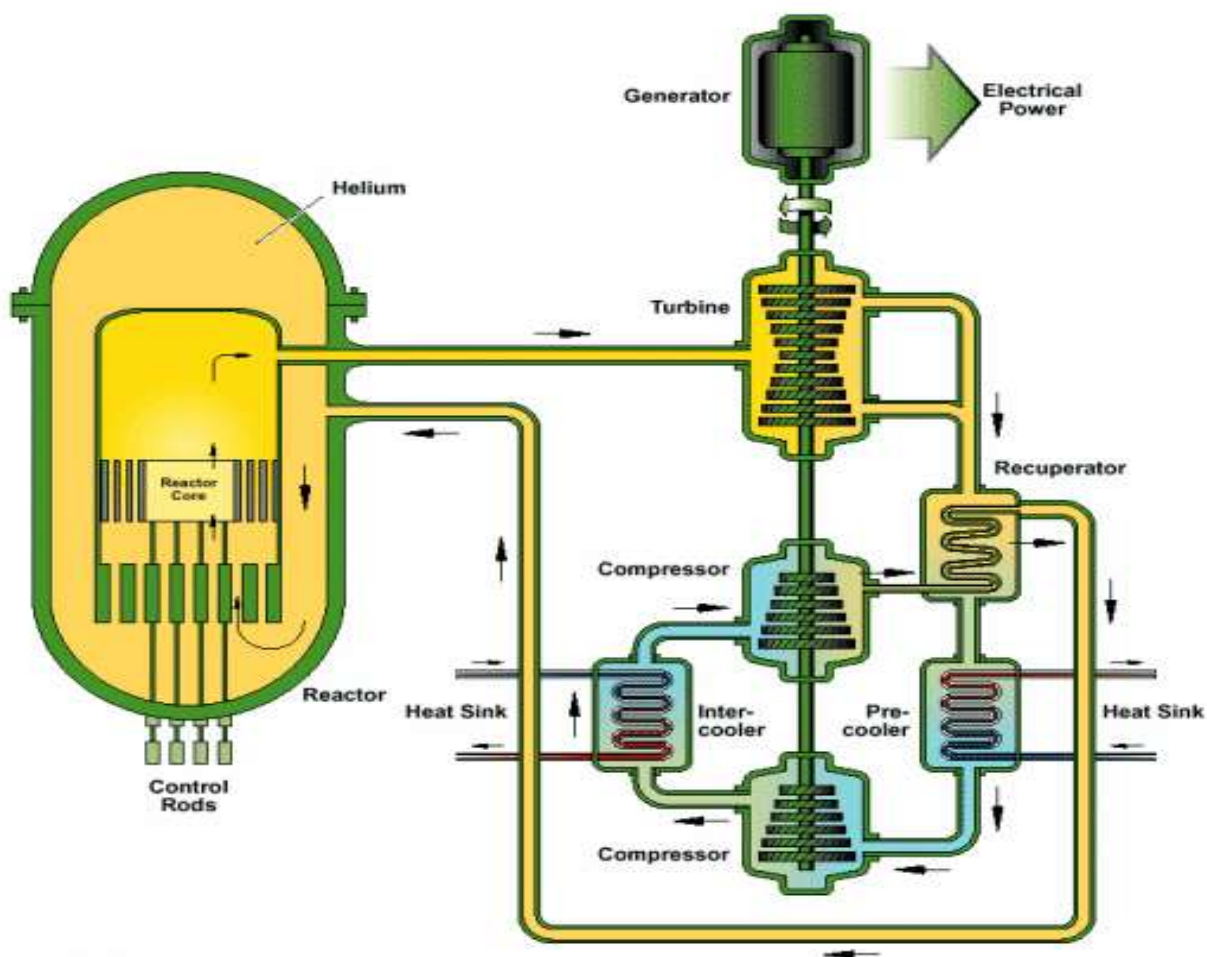
Lò phản ứng nhanh làm mát bằng khí (GAS COOLED FAST REACTOR: GFR)

Khái niệm của hệ thống này đặc trưng bởi phổ neutron nhanh (fast-neutron-spectrum), lò phản ứng làm mát bằng khí heli và chu trình nhiên liệu kín. Phổ neutron nhanh sẽ chuyển hóa hiệu quả urani đã làm giàu thành nhiên liệu phân hạch và đốt cháy actinit để tạo ra năng lượng.

Chất làm mát heli thoát ra ở nhiệt độ cao cho phép nó có thể cung cấp điện, hydro và nhiệt quá trình với hiệu suất cao. Thiết kế thích hợp là hệ thống làm mát bằng heli 288 MW điện, 600 MW nhiệt hoạt động với nhiệt độ thoát ra là 850°C sử dụng tuabin

khí chu trình Brayton trực tiếp cho hiệu suất nhiệt cao (hình 5). Một số dạng nhiên liệu dự kiến sử dụng có tiềm năng vận hành ở nhiệt độ rất cao và đảm bảo giữ lại được rất tốt các sản phẩm phân hạch là: nhiên liệu gốm composit, các hạt nhiên liệu tiên tiến, hay các viên hỗn hợp actinid bọc gốm.

Hình dáng lõi có thể dựa trên các khối hình tháp, lăng trụ hay các tấm ghép. Thiết kế của lò phản ứng nhanh làm mát bằng khí thường tích hợp tại chỗ nhà máy xử lý và tái chế nhiên liệu đã sử dụng.



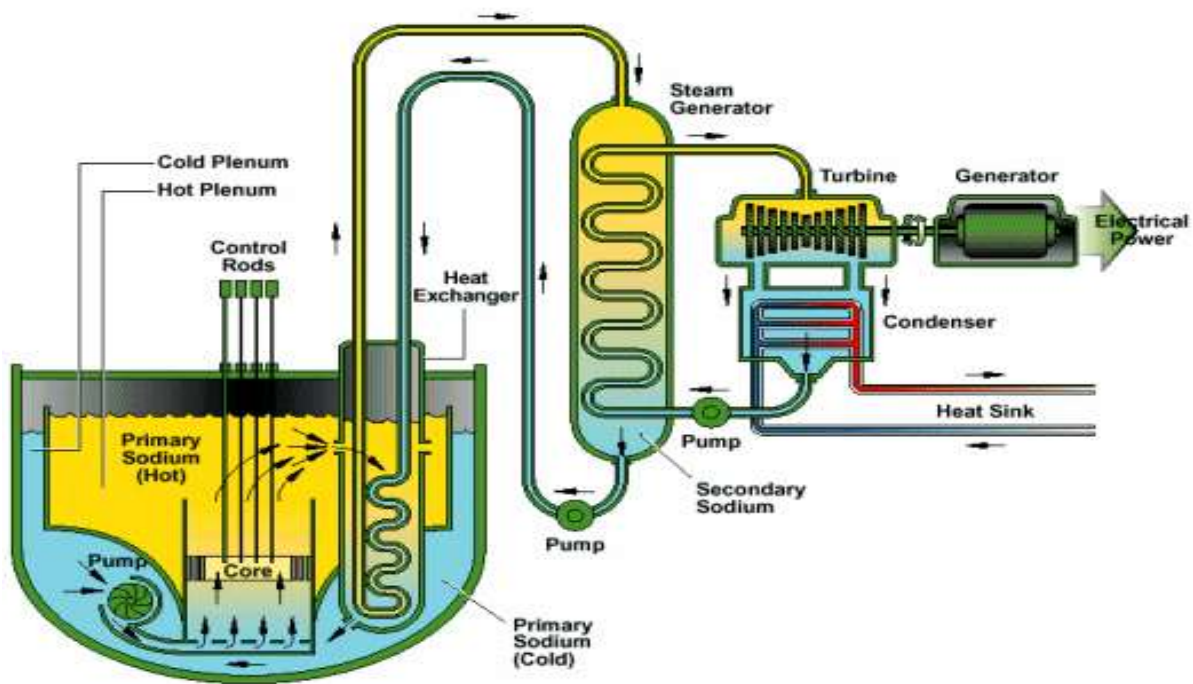
Nhà máy này sử dụng tuabin khí heli chu trình trực tiếp để phát điện hay có thể sử dụng phần nhiệt quy trình để sản xuất hydro theo phương pháp hóa nhiệt. Thông qua sự kết hợp phổ neutron nhanh và tái chế hoàn toàn actinid, GFR giảm thiểu được sự sinh ra chất thải phóng xạ tồn tại lâu dài. Phổ nhanh của GFR cũng cho phép nó sử dụng các vật liệu làm giàu và phân hạch sẵn có gồm cả urani nghèo một cách hiệu quả hơn đáng kể so với các lò phản ứng làm mát bằng khí phổ nhiệt sử dụng một lần trong chu trình nhiên liệu. Cần phải tiến hành kiểm tra tính đàn hồi của cấu trúc trong quá trình bức xạ ở nhiệt độ cao lên tới 1400°C. Phổ nhanh có nhược điểm thoát nhiệt kém khi chất làm mát heli có áp suất thấp và quán tính nhiệt thấp. Cần nghiên cứu các phương pháp tiếp cận thụ động cho làm mát đối lưu tự nhiên và phát triển các vòi phun và đường dẫn khí nặng bán thụ động.

Lò phản ứng nhanh làm mát bằng natri (SODIUM COOLED FAST REACTOR: SFR)

Hệ thống lò phản ứng nhanh làm mát bằng natri (SFR) là lò phản ứng phổ neutron nhanh, làm mát bằng natri và chu trình nhiên liệu kín cho phép quản lý actinid hiệu quả và biến đổi U238 đã làm giàu thành Pu239.

Chu trình nhiên liệu áp dụng tái chế actinid hoàn toàn với 2 lựa chọn chính: thứ nhất là lò phản ứng làm mát bằng natri quy mô vừa công suất từ 150 đến 500 MW điện với nhiên liệu hợp kim kim loại uranium-plutonium-minoractinide-zirconium, được hỗ trợ bởi chu trình nhiên liệu dựa trên xử lý luyện kim nhiệt trong các thiết bị tích hợp với lò phản ứng. Lựa chọn thứ hai là lò phản ứng quy mô trung bình đến lớn 500 đến 1.500 MW điện làm mát bằng natri với nhiên liệu hỗn hợp oxit uranium-plutonium, được hỗ trợ bởi chu trình nhiên liệu dựa trên xử lý bằng nước ở vị trí trung tâm phục vụ nhiều lò phản ứng. Ở cả 2 loại lò, nhiệt độ thoát ra vào khoảng 550 °C.

SFR được thiết kế cho quản lý các chất thải ở mức cao và đặc biệt là quản lý Pu và các actinid khác. Đặc điểm an toàn quan trọng của hệ thống gồm thời gian đáp ứng nhiệt dài, vùng sôi chất làm mát lớn, hệ thống sơ cấp hoạt động ở áp suất gần với áp suất khí quyển, và hệ thống natri trung gian giữa natri hoạt tính phóng xạ trong hệ thống sơ cấp và nước và hơi nước trong nhà máy phát điện.



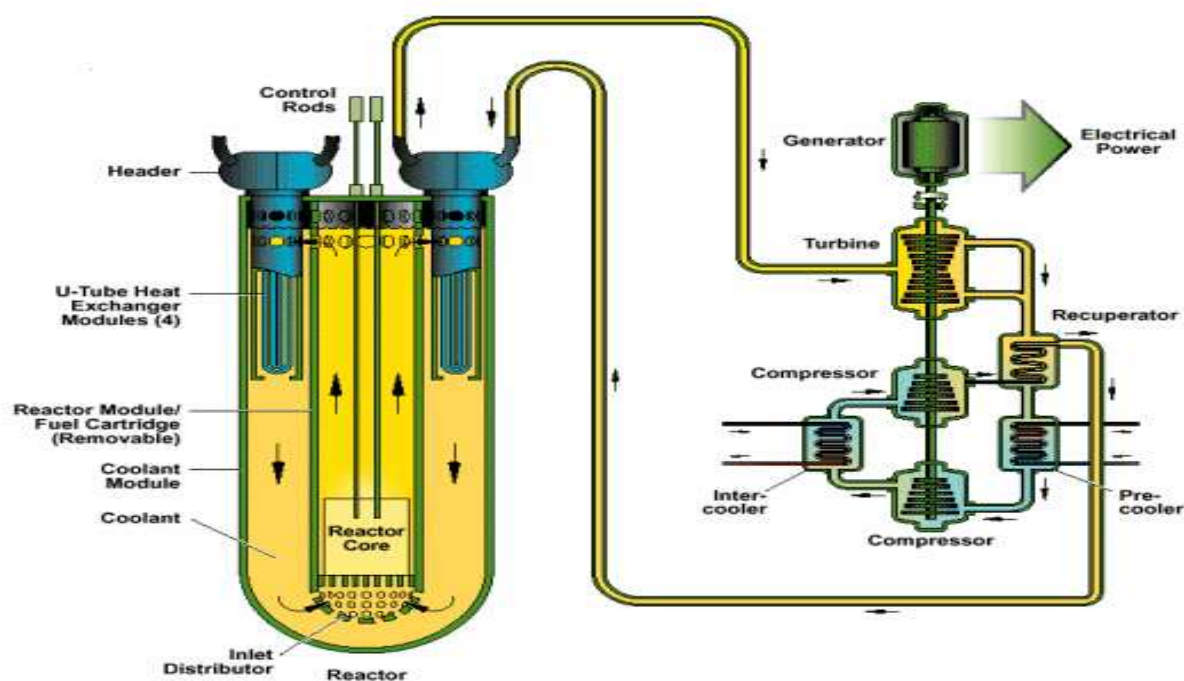
Với những đổi mới để giảm chi phí đầu tư, SFR có thể cạnh tranh được trên các thị trường điện. Việc nghiên cứu cần được tiến hành để quyết định lựa chọn giữa nhiên liệu kim loại hay nhiên liệu oxit kim loại. Cân nhắc về kinh tế là việc lựa chọn các thành phần cấu trúc cho các ống và ống dẫn. Các loại thép Ferritic 12% Cr có thể được xem xét bởi chúng có độ cứng ở nhiệt độ cao tốt hơn so với thép austenitic.

Phổ neutron nhanh của SFR cũng cho phép nó sử dụng các vật liệu làm giàu và phân hạch sẵn có, gồm urani nghèo, hiệu quả hơn so với các lò phản ứng phổ nhiệt với các chu trình nhiên liệu một lần.

Lò phản ứng nhanh làm mát bằng chì (LEAD COOLED FAST REACTOR: LFR)

Hệ thống lò phản ứng nhanh làm mát bằng chì là lò phản ứng phổ neutron nhanh làm mát bằng kim loại lỏng autecti Pb hay Pb-Bi và có chu trình nhiên liệu kín để chuyển hóa hiệu quả urani làm giàu và quản lý actinid. Nhiên liệu bao gồm urani và siêu urani đã làm giàu, gốc kim loại hay gốc nitrit. Nhà máy có thể có thiết kế đơn khối lớn với xưởng ắc quy 1.200 MW điện, hay có thể là hệ thống môđun 300-400 MW điện hay có thể là trạm nhỏ 50-150 MW điện, nhưng sẽ khó tái nạp nhiên liệu hơn

Hệ thống này có phổ neutron nhanh với chu trình nhiên liệu tái chế actinid hoàn toàn kín với các thiết bị tái chế nhiên liệu khu vực hay trung tâm. Nhiên liệu gốc kim loại hay nitrit, chứa urani hay siêu urani đã làm giàu. LFR được làm mát bằng đối lưu tự nhiên với nhiệt độ chất làm mát thoát ra là 550°C, có thể lên tới 800°C với các vật liệu tiên tiến. Nhiệt độ cao hơn cho phép sản xuất hydro bằng các quy trình nhiệt hóa.

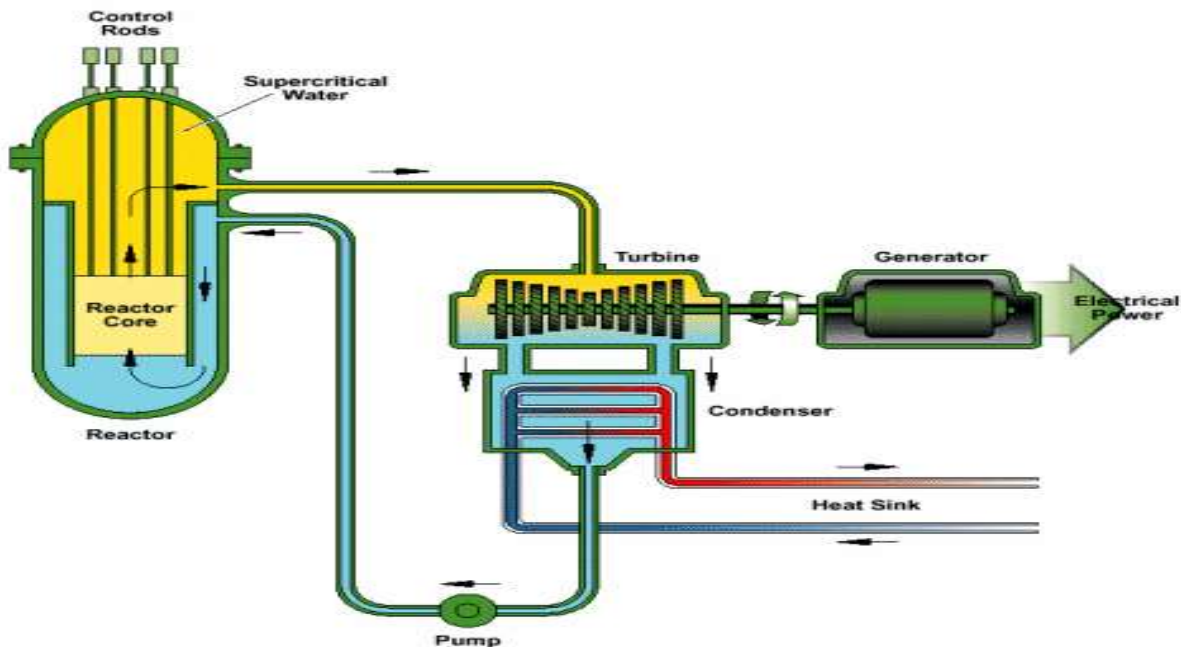


Lò phản nhanh làm mát bằng chì quy mô nhỏ được thiết kế như một ắc quy hạt nhân. Đó là một nhà máy nhỏ hoạt động theo chu trình nhiên liệu kín với khoảng thời gian tái nạp liệu rất dài 15 đến 20 năm cho hộp lõi hay lò phản ứng môđun có thể thay thế được. Các đặc trưng của nó được thiết kế để đáp ứng cho nhu cầu thị trường sản xuất điện cho các mạng điện nhỏ và cho các nước đang phát triển không muốn triển khai hạ tầng chu trình nhiên liệu trong nước để hỗ trợ các hệ thống năng lượng hạt nhân của họ. Hệ thống ắc quy được thiết kế cho phát điện phân tán và các sản phẩm năng lượng khác, gồm có hydro và nước ngọt bằng cách khử muối nước biển.

Lò phản ứng làm mát bằng nước siêu tới hạn (SUPERCRITICAL WATER COOLED REACTOR: SCWR)

Hệ thống lò phản ứng làm mát bằng nước siêu tới hạn là lò nhiệt độ cao làm mát bằng nước áp suất cao hoạt động ở trên điểm tới hạn nhiệt độ của nước ở 374°C, 22.1 MPa. Chất làm mát bằng nước siêu tới hạn cho phép đạt hiệu quả nhiệt cao hơn khoảng 1/3 so với các lò phản ứng nước nhẹ hiện nay, cũng như đơn giản hóa trong cân bằng của nhà máy. Sự cân bằng của nhà máy được đơn giản hóa đáng kể do chất làm mát không thay đổi pha trong lò phản ứng và được đưa trực tiếp vào thiết bị chuyển đổi năng lượng. Tuy nhiên, hơi nước ở trên điểm tới hạn có tính chất ăn mòn cao và đòi hỏi những vật liệu đặc biệt. Hệ thống phù hợp với công suất 1.700 MW điện với áp suất vận hành ở 25 MPa, và nhiệt độ thoát ra của lò là 510°C, có thể tăng lên 550°C. Nhiên liệu là UO₂.

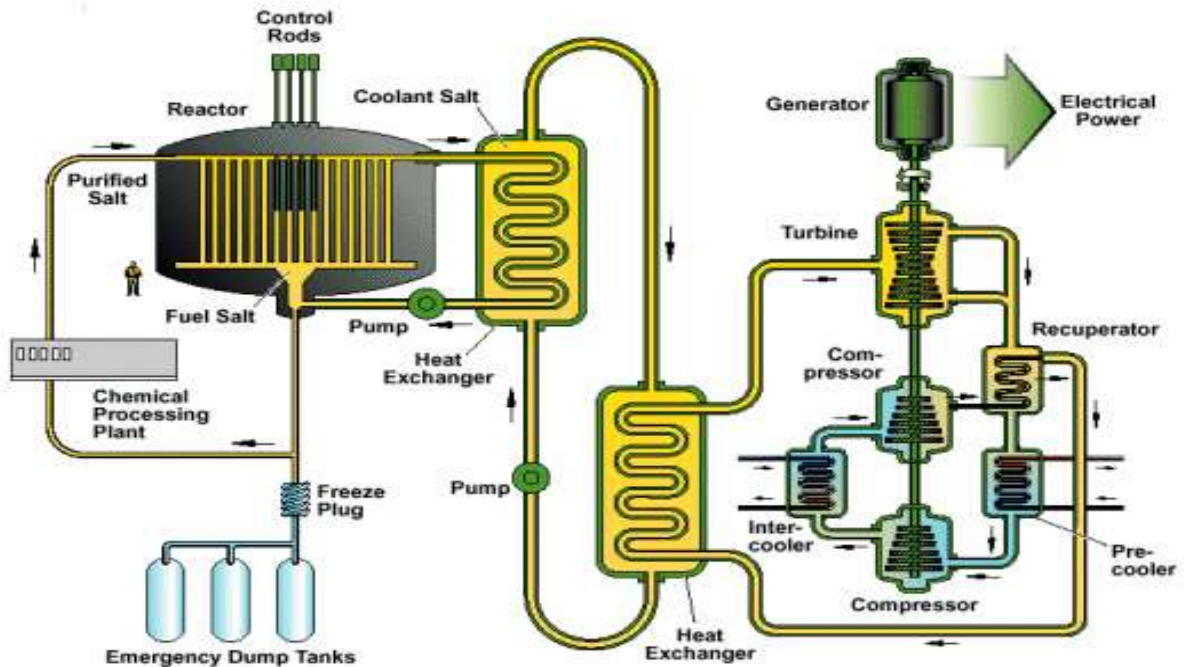
Các đặc điểm an toàn thụ động được tích hợp tương tự như đối với các lò phản ứng nước sôi đơn giản (SBRs).



Hệ thống ban đầu được thiết kế cho sản xuất điện hiệu quả, với lựa chọn quản lý actinid dựa trên 2 phương án thiết kế lõi: SCWR có thể có lò phản ứng phổ nhanh hay nhiệt; thứ hai là lò phản ứng chu trình kín với phổ nhanh và tái chế hoàn toàn actinid dựa trên quy trình nước đặt ở trung tâm. Các vấn đề phát triển bao gồm ăn mòn nứt (cracking corrosion) và ăn mòn dưới áp lực, phân ly phóng xạ ở nhiệt độ và độ đậm đặc lỏng, hóa học nước, tính ổn định và độ vững chắc trong vi cấu trúc và kích thước, chống *gion* và *rã*. Những tác động của neutron, bức xạ gamma và tạp chất đưa vào hệ thống sơ cấp đối với phân ly phóng xạ nước cần được nghiên cứu. Luồng nước có thể tác động đến tính an toàn tới hạn của hệ thống, bởi nước lạnh sẽ có khả năng hấp thụ cao hơn dẫn đến năng lượng tăng vọt.

Lò phản ứng muối nóng chảy (MOLTEN SALT REACTOR: MSR)

Hệ thống lò phản ứng muối nóng chảy sản sinh năng lượng phân hạch trong hỗn hợp nhiên liệu muối nóng chảy lưu thông với lò phản ứng dải neutron trên nhiệt với các kênh lõi graphit và chu trình nhiên liệu tái chế hoàn toàn actinid. MSR có thể được thiết kế dạng tái sinh nhiệt sử dụng chu trình nhiên liệu Th232 thành U233. Trong hệ thống MSR, nhiên liệu là hỗn hợp lỏng tuần hoàn các florua natri, zirconi và urani. Nhiên liệu muối nóng chảy chảy qua các kênh lõi graphit, sinh ra dải nhiệt cao. Nhiệt được tạo ra trong muối lỏng được truyền đến hệ thống làm mát thứ cấp thông qua bộ trao đổi nhiệt trung gian, rồi sau đó là bộ phận trao đổi nhiệt thứ 3 tới hệ thống biến đổi năng lượng. Nhà máy thích hợp có công suất 1000 MW điện. Chất làm mát thoát ra của hệ thống có nhiệt độ ở 700°C, có khả năng tăng lên 800°C, đảm bảo hiệu quả nhiệt được cải thiện.



Chu trình nhiên liệu kín có thể thiết kế để đốt cháy plutoni và actinid nhỏ một cách hiệu quả. Nhiên liệu lỏng của MSR cho phép bổ sung các actinid như plutoni và tránh được yêu cầu gia công nhiên liệu. Các actinid - và hầu hết các sản phẩm phân hạch - tạo thành các fluorinid trong chất lỏng làm mát. Các muối florua lỏng có các tính chất truyền nhiệt tốt và nhiệt độ hơi nước rất thấp, làm giảm áp lực lên bể và các ống dẫn.

Nghiên cứu và phát triển sẽ được tập trung vào việc lựa chọn nhiên liệu muối với một phần nhỏ dung môi nhiên liệu, tính ổn định phóng xạ, và hệ số nhiệt âm của phản ứng. Nó cần sự ổn định nhiệt tốt ở điểm tan chảy thấp, áp lực hơi nước thấp và chất làm mát đủ nhớt và truyền đủ nhiệt. Muối thứ cấp phải chống được ăn mòn đối với muối sơ cấp. Chất làm chậm bằng graphit phải được thay thế sau 4 năm do phóng xạ làm hư hại cấu trúc của nó.

Mỗi hệ thống trong số các hệ thống trên đều cần nỗ lực nghiên cứu phát triển cho những vướng mắc của từng thiết kế. Một số vấn đề về nhiên liệu và công nghệ tái chế là giống nhau và có thể sử dụng chung cho nhau cho tất cả các hệ thống. Những lĩnh vực chung bao gồm: các chu trình nhiên liệu, lựa chọn vật liệu và nhiên liệu, các sản phẩm năng lượng, rủi ro và an toàn, kinh tế và chống phổ biến vũ khí hạt nhân và các vấn đề về bảo vệ hiện hữu.

c) Lò hạt nhân thế hệ IV: lộ trình phát triển trong giai đoạn gần

Sau khi lộ trình thế hệ IV đã xác định được các mục tiêu dài hạn và NC&PT cần thiết cho các hệ thống mới, nhiều nỗ lực được thực hiện để xác định các hoạt động triển khai các nhà máy hạt nhân thế hệ mới trong thời gian trước mắt. Theo đó, lộ trình công nghệ đã xác định một số hệ thống để triển khai trước mắt có thể mang lại lợi ích cho phát triển các hệ thống thế hệ IV. Cụ thể là:

Triển khai trong thời gian gần tại Hoa Kỳ

Ở Hoa Kỳ, Ủy ban Cố vấn nghiên cứu năng lượng hạt nhân thuộc bộ Năng lượng đã tiến hành một nghiên cứu để xác định các hành động mà chính phủ và ngành công nghiệp cần thực hiện để vượt qua các rào cản về kỹ thuật và quy định đối với việc xây dựng nhà máy hạt nhân mới vào năm 2010. Các kết quả của nghiên cứu được công bố vào tháng 10/2010 với tiêu đề “Lộ trình triển khai các nhà máy điện hạt nhân mới ở Hoa Kỳ vào năm 2010”. Tám mẫu lò phản ứng đề cử được đánh giá theo 6 tiêu chí thương mại hóa và quy định hiện hành, gồm các lò phản ứng nước sôi tiên tiến, lò phản ứng nước áp lực, lò phản ứng làm mát bằng khí. Sáu mẫu lò có thể triển khai sớm nhất vào năm 2010, theo như cam kết của các công ty điện lực vào năm 2003. Danh sách các lựa chọn kiểu lò phản ứng được triển khai trong tương lai gần tại Hoa Kỳ như sau:

- ABWR (Lò phản ứng nước sôi tiên tiến)
- AP1000 (Lò phản ứng nước áp lực tiên tiến 1000)
- ESBWR (Lò phản ứng nước sôi đơn giản hóa của châu Âu)
- GT-MHR (Lò phản ứng nhiệt độ cao mô đun tuabin khí)
- PBMR (Lò phản ứng mô đun tầng sôi)
- SWR-1000 (Lò phản ứng Siedewasser -1000).

Lò phản ứng triển khai trước mắt ở Hoa Kỳ vào năm 2010
ABWR
AP1000
ESBWR
GT-MHR
PBMR
SWR-1000

Những khuyến nghị hành động bao gồm hợp tác ngành công nghiệp/chính phủ và chia sẻ kinh phí về các sáng kiến cơ bản và cụ thể từng nhà máy trong các lĩnh vực: (1) áp dụng quy trình phê chuẩn nhà máy mới ở Hoa Kỳ và (2) hoàn thành mẫu thiết kế và kỹ thuật chi tiết cho ít nhất một mẫu lò phản ứng tiên tiến ở mỗi kiểu lò phản ứng nước và khí. Để hoàn thành những nhiệm vụ này, Bộ Năng lượng Hoa Kỳ vào tháng 2/2002 đã công bố Sáng kiến điện hạt nhân 2010, tập trung vào việc triển khai các nhà máy mới ở Hoa Kỳ trong 10 năm sau đó.

Triển khai quốc tế trong thời gian gần

Lộ trình thế hệ IV cũng xác định các mẫu thiết kế khác có thể triển khai trong thời gian gần. Diễn đàn quốc tế thế hệ IV (GIF) nhấn mạnh sự quan tâm đặc biệt đến việc xác định các mẫu thiết kế lò phản ứng có tiềm năng. Theo đó, GIF đã lập ra một nhóm chuyên trách gọi là Nhóm triển khai quốc tế thời gian gần (INTD), và đề ra 2 tiêu chí cho các hệ thống. Thứ nhất, nhận thấy sự khó khăn của việc triển khai vào năm 2010, GIF quyết định lùi việc triển khai quốc tế một số hệ thống muộn hơn vào năm 2015 đối với các mẫu thiết kế được các công ty tài trợ phần lớn. Thứ hai, GIF quyết định chỉ chọn các hệ thống có công suất tương đương hay tốt hơn công suất cơ bản của các lò phản ứng nước nhẹ thế hệ III. Cơ sở này bao gồm cả tiêu chuẩn đánh giá hiệu suất trong 4 lĩnh vực mục tiêu. Tuy không đề cập chi tiết nhưng công suất của lò phản ứng nước nhẹ tiên tiến mới được xây dựng gần đây thường được sử dụng để so sánh. Bắt đầu từ hội nghị được tổ chức vào tháng 5/2002 và tiếp tục đến hội nghị 7/2002, GIF đã đưa ra danh sách các hệ thống triển khai quốc tế trong thời gian gần.

Mười sáu mẫu thiết kế được xác định có thể triển khai vào năm 2015 hay sớm hơn, và tương đương hoặc tốt hơn công suất cơ bản của lò phản ứng nước nhẹ tiên tiến. Các mẫu thiết kế được nêu trong bảng dưới đây với tên thương mại hoặc tên viết tắt:

- Lò phản ứng nước sôi tiên tiến
 - ABWR II (Lò phản ứng nước sôi tiên tiến II)
 - ESBWR (Lò phản ứng nước sôi đơn giản hóa của châu Âu)
 - HC-BWR (Lò phản ứng nước sôi chuyên hóa cao)
 - SWR-1000 (Lò phản ứng Siedewasser 1000)
- Lò phản ứng ống áp lực tiên tiến
 - ACR-700 (Lò phản ứng CANDU 700 tiên tiến)
- Lò phản ứng nước áp lực tiên tiến
 - AP600 (Lò phản ứng nước áp lực tiên tiến 600)
 - AP1000 (Lò phản ứng nước áp lực tiên tiến 1000)
 - APR1400 (Lò phản ứng điện tiên tiến 1400)
 - APWR+ (Lò phản ứng nước áp lực tiên tiến Cộng)
 - EPR (Lò phản ứng nước áp lực châu Âu)
- Lò phản ứng hệ thống sơ cấp toàn bộ
 - CAREM (Central Argentina de Elementos Modulares)

- IMR (Lò phản ứng mô đun quốc tế)
- IRIS (Lò phản ứng đôi mới và an toàn quốc tế)
- SMART (Lò phản ứng tiên tiến mô đun tích hợp hệ thống)
- Lò phản ứng mô đun nhiệt độ rất cao làm mát bằng khí
- GT-MHR (lò phản ứng nhiệt độ rất cao mô đun tuabin khí)
- PBMR (Lò phản ứng mô đun tầng sỏi)

Lò phản ứng triển khai quốc tế trong tương lai gần (năm 2015)
ABWR II ACR-700 AP600 AP1000 APR1400 APWR+ CAREM EPR ESBWR GT-MHR HC-BWR IMR IRIS PBMR SMART SWR-1000

Hầu hết các kiểu lò được INTD lựa chọn đều cần NC&PT nhằm vào cách thức triển khai. Lộ trình thế hệ IV xác định các yêu cầu NC&PT cho các hệ thống chọn lọc thuộc thế hệ IV, một số lò phản ứng có triển vọng trong thời gian gần cũng có các yêu cầu xúc tiến NC&PT tương tự. Vì vậy, điều quan trọng là cần xác định được rằng sự tiến bộ của một số lò phản ứng được lựa chọn triển khai trong giai đoạn gần có thể đóng góp cho phát triển công nghệ.

Triển vọng của lò phản ứng thuộc thế hệ IV

Mục tiêu cho các hệ thống năng lượng hạt nhân thế hệ IV là các hệ thống có thể sẵn sàng cho triển khai trên diện rộng trước năm 2030. Thời gian triển khai sớm nhất dự kiến cho 6 hệ thống thế hệ IV được nêu trong bảng dưới đây:

Hệ thống thế hệ IV	Thời gian triển khai sớm nhất
SFR	2015
VHTR	2020

GFR	2025
MSR	2025
SCWR	2025
LFR	2025

3. Công nghệ chu trình nhiên liệu hạt nhân

Khái quát lịch sử của những chiến lược chu trình nhiên liệu hạt nhân

Vào cuối những năm 40 của thế kỷ trước, đã có chu trình nhiên liệu hạt nhân hoàn chỉnh với urani/plutoni được thiết lập ở một số nước, bao gồm các bước sau: khai thác mỏ, nghiền cán, chuyển đổi, làm giàu, chế tạo nhiên liệu, chuyển đổi năng lượng (lò phản ứng), tái chế, và lưu trữ chất thải (nhưng không đề cập nơi lưu trữ cuối cùng của chất thải). Tuy nhiên, chu trình nhiên liệu hạt nhân này được tạo ra và áp dụng trong các chương trình quân sự (vũ khí hạt nhân) và chỉ ít lâu sau đó (những năm 50 và 60) nó được chuyển đổi cho ứng dụng dân sự (thương mại) của điện hạt nhân.

Trong những năm 70 và 80, điện hạt nhân phát triển nhanh chóng ở Hoa Kỳ, Nhật Bản và châu Âu (ví dụ như ở Pháp, Italia, Đức, Tây Ban Nha, Thụy Điển và Anh). Ở những nước này, chiến lược chu trình nhiên liệu hạt nhân thay đổi đáng kể trong thời gian đó. Do lệnh cấm vận dầu mỏ vào đầu những năm 70, nên an ninh nguồn cung năng lượng (điện và nhiên liệu) đã đạt mức ưu tiên cao nhất và do vậy người ta đã đưa ra các lò phản ứng thử nghiệm tái sinh nhanh (FBR), lò nhiệt độ cao tái nhiệt bằng khí (HTGR) và tái chế nhiên liệu. Tuy nhiên, do suy giảm tốc độ tăng trưởng điện hạt nhân, hiệu quả của các lò phản ứng được làm mát bằng nước nóng (thông qua các quá trình đốt cháy và tính sẵn có cao hơn) tăng, chi phí urani giảm, và nguồn cung cấp dầu lửa được bảo đảm, nên nhu cầu đối với các lò HTGR và lò phản ứng nhanh không còn thấy vào cuối những năm 80. Lò phản ứng nhiệt với chu trình nhiên liệu hạt nhân một lần và tái chế mono MOX đã trở nên thống trị.

Ở một số nước, chiến lược chu trình nhiên liệu hạt nhân thương mại cũng được thay đổi vì lý do chính trị. Ví dụ, ở Hoa Kỳ, dựa trên một quyết định của Chính phủ trong những năm 70, việc tái xử lý và tái chế plutonium thương mại (trong nhiên liệu oxit hỗn hợp, MOX) đã bị ngưng lại, bao gồm cả các chương trình tương ứng để triển khai thương mại lò phản ứng nhanh. Tuy nhiên, các chương trình nghiên cứu và phát triển cơ bản vẫn được tiếp tục ở Hoa Kỳ và tập trung phát triển các mẫu thiết kế nhiên liệu tiên tiến và giải pháp thiết kế. Trong cùng thời gian này ở châu Âu, công nghệ MOX đã được phát triển đến trình độ cao và được ứng dụng thương mại trong các lò phản ứng nước nhẹ.

Hiện trạng công nghệ chu trình nhiên liệu hạt nhân

Hiện nay, urani là cơ sở để sản xuất thương mại điện hạt nhân. Một nguồn nguyên liệu bổ sung hấp dẫn sẽ là thori. Về nguyên tắc, có hai loại chu trình nhiên liệu hạt nhân: một chu trình nhiên liệu hạt nhân đóng và một chu trình nhiên liệu hạt nhân mở. Trong chu trình nhiên liệu hạt nhân đóng, tất cả các vật liệu phân hạch và phế thải trong nhiên liệu hạt nhân đã qua sử dụng (SNF) được tái chế, tức là được quay trở lại lò phản ứng để tiếp tục chuyển đổi năng lượng; chất thải được lưu trữ chỉ chứa các sản phẩm phân hạch và các actinid nhỏ,

tức là những vật liệu không thể được sử dụng trong công nghệ. Trong chu trình nhiên liệu hạt nhân mở, nhiên liệu được sử dụng một lần tại lò phản ứng và SNF cuối cùng được lưu trữ bất kể có bao nhiêu vật liệu phân hạch và phế thải còn lại trong SNF. Trên thực tế, có một số kết hợp giữa hai loại chính này của một chu trình nhiên liệu hạt nhân được sử dụng ở các nước, chẳng hạn như tái chế một phần SNF, tái chế các vật liệu phân hạch, và tái chế tất cả các actinid và thậm chí cả các sản phẩm phân hạch.

Dựa trên một cuộc khảo sát của IAEA trong năm 2001, các quốc gia sau sử dụng (chủ yếu là một phần) chu trình nhiên liệu hạt nhân khép kín: Bỉ, Trung Quốc, Pháp, Đức, Ấn Độ, Nhật Bản, Hà Lan, Liên bang Nga, Thụy Sĩ, và Vương quốc Anh. Từ năm 2001, một số nước như Bỉ, Đức và Hà Lan đã ngừng tái chế/tái xử lý SNF và chuyển sang chu trình nhiên liệu mở. Chu trình nhiên liệu mở được sử dụng trong năm 2001 tại Canada, Phần Lan, Thụy Điển và Hoa Kỳ. Trong khi đó, Hoa Kỳ đã tuyên bố sẽ xem xét một chu trình nhiên liệu khép kín.

Các xu hướng công nghệ chu trình nhiên liệu hạt nhân

Một nghiên cứu toàn cầu được thực hiện bởi Cơ quan Năng lượng hạt nhân vào năm 2001 về xu hướng phát triển chu trình nhiên liệu hạt nhân đã đưa ra kết quả như sau:

- Sự phát triển trong ngắn hạn sẽ tập trung vào làm giảm chi phí để tăng khả năng cạnh tranh.
- Sự phát triển trong trung hạn sẽ tập trung vào các giải pháp kết thúc chu trình nhiên liệu hạt nhân, chủ yếu là xử lý các chất thải siêu urani (transuranics) trong SNF.
- Nhiên liệu phù hợp với các lò phản ứng có các ứng dụng phi điện sẽ được phát triển song song sự phát triển lò phản ứng.
- Chỉ có sự phát triển dài hạn (> 20 năm) sẽ cho phép đưa ra các công nghệ chuyển đổi, chu trình nhiên liệu hoàn toàn khép kín với các lò phản ứng nhanh bao gồm cả các lò phản ứng muối nóng chảy, và thori trên cơ sở thương mại.

Những nghiên cứu bổ sung của quốc gia và quốc tế về tính khả dụng của vật liệu phân hạch cho hệ thống năng lượng hạt nhân toàn cầu đã kết luận rằng vào cuối thế kỷ này, chu trình nhiên liệu hạt nhân hiện tại sử dụng các lò phản ứng neutron nhiệt và urani (và một số lượng giới hạn plutoni) làm nhiên liệu sẽ làm cạn kiệt các nguồn tài nguyên hiện có, chẳng hạn như sự ra đời của lò phản ứng FBR và một chu trình nhiên liệu hạt nhân khép kín dường như không thể tránh khỏi để đạt được một giải pháp bền vững.

Để mở rộng khả năng của nguồn tài nguyên urani hiện có (và trì hoãn việc đưa vào thương mại các lò phản ứng nhanh), thì hiệu quả nhiên liệu của lò phản ứng nhiệt có thể được cải thiện bằng cách:

- Đốt cháy cao hơn;
- Giảm các phế liệu của quá trình làm giàu;
- Tăng hiệu suất nhiệt của lò phản ứng;
- Mở rộng tái chế plutoni;
- Bắt đầu sử dụng thori (Th) làm nguyên liệu chuyển đổi.

Công nghệ chu trình nhiên liệu hạt nhân tiên tiến với tiềm năng triển khai công nghiệp trong khoảng 25 năm tới

Hiện nay, có một số mô hình chu trình nhiên liệu hạt nhân được phát triển có thể được sử dụng trong 25 năm tới. Một vài ví dụ được đưa ra dưới đây:

Sử dụng trực tiếp nhiên liệu đã qua sử dụng của lò phản ứng PWR trong các lò phản ứng CANDU (Direct Use of Spent PWR fuel in CANDU reactors - DUPIC)

Theo những nghiên cứu chuyên sâu ở Hàn Quốc, Canada và Hoa Kỳ, công nghệ chu trình nhiên liệu hạt nhân tiên tiến này có thể được ứng dụng trong 25 năm tới, là việc sử dụng trực tiếp nhiên liệu của lò phản ứng PWR đã qua sử dụng trong các lò phản ứng CANDU (DUPIC). Nó chuyển đổi nhiên liệu hạt nhân đã qua sử dụng (SNF) từ các lò PWR thông qua một quá trình cơ nhiệt thành nhiên liệu sạch CANDU. Những ưu điểm chính của nó là tăng cường được độ bền, và giảm chất thải từ các lò phản ứng CANDU. Những nhược điểm chính của nó là cần thiết phải xử lý từ xa việc sản xuất nhiên liệu CANDU và nhiên liệu CANDU sạch, và chỉ tiết kiệm được chút ít chi phí và nguồn tài nguyên.

Chu trình nhiên liệu thori

Trên toàn cầu có 1,2 triệu tấn tài nguyên thori được biết đến, khoảng 90% nằm tại các nước: Ôxtrâyliia (25%), Ấn Độ (24%), Na Uy (14%), Hoa Kỳ (13%), Canada (8%), Nam Phi (3%) và Brazil (1%). Trong quá khứ, thori đã được sử dụng trong các dự án lò phản ứng trình diễn, ví dụ như trong lò phản ứng nước nhẹ (LWR) ở Hoa Kỳ, lò HTGR (Hoa Kỳ, Đức, Anh), và trong lò phản ứng hạt nhân muối nóng chảy (MSR) ở Hoa Kỳ. Tuy nhiên, ở Ấn Độ thori đã được đưa vào một vài lò thương mại PHWR để xử lý thông lượng neutron trong quá trình khởi động.

Liên quan đến việc sử dụng thori, công nghệ nhiên liệu phân tử được che phủ dựa trên thori dường như có tiềm năng cao nhất trong HTGR. Đối với quá trình tái chế THOREX, được phát triển ở Phòng thí nghiệm quốc gia ORNL, Hoa Kỳ, có vẻ như khả thi về mặt kỹ thuật.

Lợi thế của việc sử dụng thori làm vật liệu chuyển đổi trong một chu trình nhiên liệu hạt nhân là năng suất cao hơn neutron, cho phép chuyển đổi cao hơn hay nhanh hơn (sản xuất U-233 từ thori) so với U-238 (sản xuất plutoni). Một bất lợi về kỹ thuật là sự cần thiết phải đủ che phủ trong quá trình tái chế và sản xuất nhiên liệu bằng cách sử dụng U-233 do mức độ phóng xạ (gamma và beta cao, gây ra bởi các sản phẩm phân rã của U-232), và khả năng phân tách hóa học U-233 phân hạch từ thori trong nhiên liệu hạt nhân đã qua sử dụng đặt ra một số rủi ro như với rủi ro của chu trình nhiên liệu hạt nhân urani/plutoni.

Ngoài Ấn Độ, nước có mức độ ưu tiên cao đối với sử dụng thori vì mục đích thương mại trong chu trình nhiên liệu hạt nhân của mình (được sử dụng trong lò PHWR, lò phản ứng nhanh và lò phản ứng nước nặng tiên tiến - AHWR - trong tương lai gần), một số quốc gia khác hiện đang tiến hành nghiên cứu và phát triển nhiên liệu thori trong các chương trình ngắn hạn và/hoặc dài hạn.

Làm chậm chu trình nhiên liệu hạt nhân MOX của lò LWR (lò RMWR)

Các lò LWR sử dụng một giàn thanh nhiên liệu trong lõi để điều chỉnh quang phổ neutron nhanh có thể đạt được tỷ lệ chuyển đổi urani/plutoni (hoặc thori/urani) cao (thậm chí cao hơn 1). Chủ yếu tại Nhật Bản (nhưng cũng tại Liên bang Nga và Hoa Kỳ), các nghiên cứu thiết kế đang được thực hiện cho thấy có triển vọng và có thể được áp dụng trong 25 năm tới.

Sáng kiến chu trình nhiên liệu tiên tiến (AFCI)

Năm 2003, tại Hoa Kỳ, một chương trình nghiên cứu và phát triển lớn được thiết lập để thực hiện một sự chuyển đổi của chu trình nhiên liệu mở hiện tại sang chu trình nhiên liệu hạt nhân tiên tiến để được sử dụng trong các loại lò phản ứng tiên tiến như được đề cập trong sáng kiến Lò thế hệ IV. Các chu kỳ nhiên liệu tiên tiến sẽ làm giảm lượng chất thải ở mức cao, giúp làm giảm các yếu tố phóng xạ cao độc hại, và thu hồi năng lượng có giá trị trong nhiên liệu hạt nhân đã qua sử dụng. Chương trình chính bao gồm phân tích hệ thống và phát triển công nghệ tách và chuyển đổi.

Các ví dụ bổ sung về các chu trình nhiên liệu hạt nhân tiên tiến

Trong sáng kiến Lò thế hệ IV, các hệ thống năng lượng nguyên tử bao gồm LWR và HTGR với chu trình nhiên liệu một lần được nghiên cứu tại Hoa Kỳ như là một chọn lựa ngắn hạn. Các mô hình dài hạn được nghiên cứu bao gồm một sự kết hợp của LWR và các lò phản ứng nhanh được chuyển đổi để thành các lò phản ứng tái sinh nhanh sau này.

Tại Liên bang Nga, cùng với các chuyên gia từ Nhật Bản và Hoa Kỳ, mô hình lò phản ứng BREST và chu trình nhiên liệu hạt nhân tiên tiến của nó đã được nghiên cứu. Nó sử dụng một chu trình nhiên liệu hạt nhân khép kín dựa trên nhiên liệu nitrit urani/plutoni. Việc tái chế nhiên liệu và các cơ sở sản xuất phải được đặt gần lò phản ứng kiểu này.

III. HIỆN TRẠNG VÀ DỰ BÁO TRIỂN VỌNG NĂNG LƯỢNG HẠT NHÂN THẾ GIỚI

1. Hiện trạng năng lượng hạt nhân thế giới

- *Các nhà máy điện hạt nhân thương mại đầu tiên bắt đầu hoạt động vào những năm 1950.*
- *Hiện nay, có hơn 440 lò phản ứng hạt nhân thương mại đang hoạt động tại 30 nước với tổng công suất là 377.000 MW điện.*
- *Các lò phản ứng này cung cấp khoảng 14% sản lượng điện thế giới, là nguồn điện phụ tải cơ bản, liên tục, đáng tin cậy và hiệu suất của các lò đang ngày càng tăng.*
- *Trên thế giới có 56 quốc gia vận hành tổng cộng 250 lò phản ứng nghiên cứu và ngoài ra còn có 180 lò phản ứng hạt nhân cung cấp năng lượng cho 140 tàu thủy và tàu ngầm.*

Công nghệ hạt nhân sử dụng năng lượng được giải phóng ra từ phản ứng phân tách nguyên tử của một số nguyên tố. Công nghệ này được nghiên cứu đầu tiên vào những năm 1940, và trong suốt đại chiến thế giới thứ hai nghiên cứu tập trung ban đầu vào chế tạo bom bằng cách tách nguyên tử uranium hay plutonium.

Trong những năm 1950, mối quan tâm chuyển sang sử dụng năng lượng hạt nhân vì mục đích hòa bình, đáng chú ý là để sản xuất điện. Hiện nay, điện năng sản xuất từ năng lượng hạt nhân của thế giới tương đương với lượng điện được sản xuất ra từ tất cả các nguồn năng lượng tổng hợp lại của năm 1960. Ngày nay, năng lượng hạt nhân dân sự cung cấp gần 14% nhu cầu điện thế giới, từ các lò phản ứng tại 30 quốc gia. Thực tế, có nhiều hơn 30 quốc gia sử dụng điện được tạo ra từ công nghệ hạt nhân.

Một số nước cũng xây dựng các lò phản ứng thí nghiệm để cung cấp nguồn tia neutron cho nghiên cứu khoa học và sản xuất các chất đồng vị trong y học và công nghiệp.

Ngày nay, chỉ 8 quốc gia được biết đến là có năng lực vũ khí hạt nhân. Ngược lại, 56 nước vận hành các lò phản ứng nghiên cứu dân sự, và 30 quốc gia vận hành 440 lò phản ứng hạt nhân thương mại với tổng công suất lắp đặt hơn 377.000 MW điện. Con số này cao hơn gấp 3 lần tổng công suất phát điện từ tất cả các nguồn năng lượng của Pháp và Đức. Ngoài ra, có hơn 60 lò phản ứng hạt nhân đang được xây dựng, tương đương với 17% công suất hiện hành, bên cạnh đó có hơn 150 lò phản ứng đã được lên kế hoạch xây dựng, tương đương với 46% công suất hiện hành.

Có 16 quốc gia phụ thuộc vào điện hạt nhân để cung cấp ít nhất ¼ sản lượng điện của nước mình. Pháp khai thác khoảng ¾ điện năng từ năng lượng hạt nhân, trong khi đó Bỉ, Bungari, Cộng hòa Séc, Hungari, Slovakia, Hàn Quốc, Thụy Điển, Thụy Sĩ, Slovenia và Ucraina khai thác khoảng 1/3 hoặc nhiều hơn. Nhật Bản, Đức và Phần Lan khai thác hơn ¼ điện năng từ năng lượng hạt nhân, trong khi Hoa Kỳ sử dụng 1/5 điện năng là từ điện hạt nhân. Trong số các nước không xây dựng nhà máy điện hạt nhân, Italia khai thác 10% năng lượng hạt nhân và Đan Mạch khai thác khoảng 8%.

Cải thiện hiệu suất của các lò phản ứng hạt nhân hiện hành

Khi việc xây dựng các nhà máy điện hạt nhân khôi phục trở lại với mức đã đạt được trong những năm 1970 và 1980, các nhà máy hiện đang vận hành đã có hiệu suất cao hơn. Năm 2007, sản lượng điện hạt nhân đạt 2608 tỉ kWh. Số lượng gia tăng trong 6 năm tính tới năm 2006 là 210 TWh (terawatt hour) tương đương với sản lượng đầu ra của 30 nhà máy điện hạt nhân lớn, mới được xây dựng. Tuy nhiên, từ 2000-2006 không có sự gia tăng thực về số lượng lò phản ứng (chỉ có công suất tăng 15 GWe). Sự cải thiện chủ yếu dựa vào hiệu suất được nâng cao tại các lò hiện hành. Năm 2007, hiệu suất giảm trở lại khoảng 50 TWh do sự đóng cửa các nhà máy ở Đức, Hoa Kỳ và Nhật Bản.

Trong thời gian dài hơn, từ 1990 tới 2006, công suất điện thế giới tăng 44 GWe, (đạt tỷ lệ tăng 13,5% do tăng số lượng nhà máy mới và cả do nâng cấp các nhà máy tồn tại) và sản lượng điện tăng 757 kWh (40%). Việc xây dựng nhà máy điện tương ứng với sự gia tăng trên là: xây mới 36%, nâng cấp 7% và khả năng gia tăng sẵn có 57%.

Một phần tư số lò phản ứng của thế giới có hệ số tải trọng hơn 90% và gần 2/3 số lò hoạt động trên 75% hiệu suất, so với ¼ số lò vào năm 1990. Trong 15 năm, các nhà máy của Phần Lan chiếm các vị trí đứng đầu trong bảng hiệu suất hoạt động, tuy nhiên Hoa Kỳ hiện tại đang giữ 25 vị trí dẫn đầu, theo sau là Nhật Bản và Hàn Quốc.

Hiệu suất của nhà máy điện hạt nhân Hoa Kỳ cải thiện đều đặn trong vòng 20 năm trở lại đây, và hệ số tải trọng trung bình hiện nay ở khoảng 90%, tăng từ 66% vào năm 1990 và 56% năm 1980. Điều này đã đưa Hoa Kỳ trở thành nước dẫn đầu về hiệu suất chiếm gần một nửa trong số 25 lò phản ứng hàng đầu thế giới, lò phản ứng thứ 25 đang đạt hiệu suất hơn 98%. Hoa Kỳ đang chiếm gần 1/3 sản lượng điện hạt nhân thế giới.

Năm 2009 và 2010, có 9 quốc gia đạt hệ số tải trọng trung bình hơn 80%, trong khi các lò phản ứng của Pháp có hệ số tải trọng trung bình là 73%, mặc dù nhiều lò phản ứng đang hoạt động theo chế độ phụ tải (load-following), chứ không hoàn toàn sử dụng chế độ tải nền (based-load).

Một số dữ liệu trên cho thấy việc sử dụng đạt mức gần tối đa, do hầu hết các lò phản ứng cứ sau 18-24 tháng phải ngừng hoạt động để thay nhiên liệu và bảo trì thường xuyên. Tại Hoa Kỳ, công việc này trung bình kéo dài hơn 100 ngày, nhưng trong thập niên trước đây, nó chỉ mất trung bình 40 ngày. Một số đo về hiệu quả khác là sự tổn thất công suất ngoài dự toán. Trong vài năm gần đây, sự thất thoát này tại Hoa Kỳ chỉ ở mức dưới 2%.

Các lò phản ứng hạt nhân khác

Ngoài các nhà máy điện hạt nhân thương mại, có khoảng 250 lò phản ứng nghiên cứu đang hoạt động tại 56 nước, còn có nhiều lò đang được xây dựng. Các lò này phục vụ nhiều mục đích bao gồm nghiên cứu và sản xuất các đồng vị phóng xạ dùng trong công nghiệp và y học cũng như đào tạo.

Việc sử dụng các lò phản ứng cho các động cơ đẩy hàng hải được giới hạn chủ yếu trong hải quân, nơi ứng dụng này đã giữ trò quan trọng trong 5 thế kỷ qua, cung cấp điện cho tàu ngầm và các tàu mặt nước cỡ lớn. Khoảng 140 tàu dùng động cơ đẩy sử dụng năng lượng từ 180 lò phản ứng hạt nhân và với kinh nghiệm lâu đời hơn 13.000 reactor-years đối với các lò phản ứng dùng trong hàng hải. Nga và Hoa Kỳ đã không còn sử dụng nhiều tàu ngầm hạt nhân mà hai nước này đã triển khai từ thời kỳ Chiến tranh lạnh.

Nga cũng vận hành một hạm đội gồm 6 tàu phá băng chạy bằng năng lượng hạt nhân và một chiếc tàu chở hàng trọng tải 62000 tấn, dùng cho dân sự nhiều hơn là quân sự. Nước này cũng đang hoàn thành một nhà máy điện hạt nhân nổi với 2 lò phản ứng công suất 40 MWe để sử dụng cho các vùng xa.

Các lò phản ứng năng lượng hạt nhân thế giới và nhu cầu uranium

Bảng dưới đây tổng hợp các số liệu về các lò phản ứng hạt nhân hiện tại và xây dựng tương lai được đề xuất trong các kế hoạch cụ thể và được dự kiến sẽ hoạt động vào năm 2030. Những ước tính lâu dài hơn dựa vào các chiến lược quốc gia, khả năng và nhu cầu có thể được dự báo theo Triển vọng Thế kỷ về Năng lượng hạt nhân (Nuclear Century Outlook) của WNA. Số liệu về các nước liên quan trong bảng bao gồm các lĩnh vực: phát triển ngắn hạn và vai trò dài hạn đối với điện hạt nhân trong các chính sách năng lượng quốc gia.

Bảng 10. Tổng hợp hiện trạng các lò phản ứng hạt nhân thế giới và nhu cầu uranium

Quốc gia	Tổng năng lượng điện hạt nhân năm 2009		Lò phản ứng đang hoạt động		Lò phản ứng đang xây dựng		Lò phản ứng đã được lên kế hoạch		Lò phản ứng được đề xuất		Yêu cầu uranium năm 2011
	Tỷ kWh	% năng lượng	Số	MWe thực	Số	MWe tổng	Số	MWe tổng	Số	MWe tổng	Tấn
Áchentina	7,6	7,0	2	935	1	745	2	773	1	740	208
Acmenia	2,3	45	1	376	0	0	1	1060			56
Bangladesh	0	0	0	0	0	0	2	2000	0	0	0
Belarus	0	0	0	0	0	0	2	2000	2	2000	0
Bỉ	45	51,7	7	5943	0	0	0	0	0	0	1052
Braxin	12,2	3,0	2	1901	1	1405	0	0	4	4000	311
Bungari	14,2	35,9	2	1906	0	0	2	1900	0	0	275
Canada	85,3	14,8	18	12679	2	1500	3	3300	3	3800	1884
Chi lê	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4400	0
Trung Quốc	65,7	1,9	13	10234	27	29790	50	57830	110	108000	4402
Cộng hòa Séc	25,7	33,8	6	3722	0	0	2	2400	1	1200	680
Ai Cập	0	0	0	0	0	0	1	1000	1	1000	0
Phân Lan	22,6	32,9	4	2721	1	1700	0	0	2	3000	468
Pháp	391,7	75,2	58	63130	1	1720	1	1720	1	1100	9221
Đức	127,7	26,1	17	20339	0	0	0	0	0	0	3453
Hungary	14,3	43	4	1880	0	0	0	0	2	2200	295
Ấn độ	14,8	2,2	20	4385	5	3900	18	15700	40	49000	1053
Indônêxia	0	0	0	0	0	0	2	2000	4	4000	0
Iran	0	0	0	0	1	1000	2	2000	1	300	150
Israel	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1200	0
Italia	0	0	0	0	0	0	0	0	10	17000	0
Nhật Bản	263,1	28,9	51	44642	2	2756	12	16532	3	4000	8195
Jordan	0	0	0	0	0	0	1	1000			0
Kazakstan	0	0	0	0	0	0	2	600	2	600	0
Triều Tiên	0	0	0	0	0	0	0	0	1	950	0
Hàn Quốc	141	34,8	21	18716	5	5800	6	8400	0	0	3586
Lithuania	10,0	76,2	0	0	0	0	0	0	1	1700	0
Malaixia	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1200	0

Quốc gia	Tổng năng lượng điện hạt nhân năm 2009		Lò phản ứng đang hoạt động		Lò phản ứng đang xây dựng		Lò phản ứng đã được lên kế hoạch		Lò phản ứng được đề xuất		Yêu cầu uranium năm 2011
	Tỷ kWh	% năng lượng	Số	MWe thực	Số	MWe tổng	Số	MWe tổng	Số	MWe tổng	Tấn
<u>Mexico</u>	10,1	4,8	2	1600	0	0	0	0	2	2000	247
<u>Hà Lan</u>	4,0	3,7	1	485	0	0	0	0	1	1000	107
<u>Pakistan</u>	2,6	2,7	3	725	0	0	2	600	2	2000	68
<u>Ba Lan</u>	0	0	0	0	0	0	6	6000	0	0	0
<u>Rumani</u>	10,8	20,6	2	1310	0	0	2	1310	1	655	175
<u>Nga</u>	152,8	17,8	32	23084	10	8960	14	16000	30	28000	3757
<u>Slovakia</u>	13,1	53,5	4	1816	2	880	0	0	1	1200	267
<u>Slovenia</u>	5,5	37,9	1	696	0	0	0	0	1	1000	145
<u>Nam Phi</u>	11,6	4,8	2	1800	0	0	0	0	6	9600	321
<u>Tây Ban Nha</u>	50,6	17,5	8	7448	0	0	0	0	0	0	1458
<u>Thụy Điển</u>	50,0	34,7	10	9399	0	0	0	0	0	0	1537
<u>Thụy Sĩ</u>	26,3	39,5	5	3252	0	0	0	0	3	4000	557
<u>Thái Lan</u>	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5000	0
<u>Thổ Nhĩ Kỳ</u>	0	0	0	0	0	0	4	4800	4	5600	0
<u>Ucraina</u>	77,9	48,6	15	13168	0	0	2	1900	20	27000	2037
<u>Tiểu vương quốc Ả Rập</u>	0	0	0	0	0	0	4	5600	10	14400	0
<u>Anh</u>	62,9	17,9	19	10962	0	0	4	6680	9	12000	2235
<u>Hoa Kỳ</u>	798,7	20,2	104	101229	1	1218	9	11662	23	34000	19427
<u>Việt Nam</u>	0	0	0	0	0	0	2	2000	12	13000	0
Thế giới	2560	13,8	440	375.410	61	64.074	158	176.76	326	370.995	68.971

Nguồn: WNA, số liệu cập nhật đến ngày 1/04/2011

Chú thích:

Lò phản ứng đang hoạt động = lò đã kết nối với hệ thống đường dây điện

Lò phản ứng đang xây dựng/sửa chữa = đã đổ bê tông lò phản ứng hoặc cải tạo lại

Lò đã được kế hoạch = lò phản ứng đã được chấp nhận, tài trợ hoặc cam kết chính thức, phần lớn sẽ đi vào hoạt động sau 8-10 năm.

Lò phản ứng được đề xuất = lò phản ứng đã được lên chương trình cụ thể hoặc đặt đề xuất, dự kiến sẽ đi vào hoạt động trong vòng 15 năm.

Các nhà máy mới sắp đưa vào hoạt động được điều chỉnh cân bằng với các nhà máy cũ đang chuẩn bị đóng cửa. Từ 1996-2009, có 43 lò phản ứng bị đóng cửa trong khi 49 lò bắt đầu hoạt động. Trên bảng không có dữ liệu về thời hạn đóng cửa chắc chắn của các dự án, nhưng

WNA ước tính rằng ít nhất 60 lò phản ứng trong số các lò phản ứng đang hoạt động sẽ đóng cửa vào năm 2030, hầu hết là các nhà máy nhỏ. Theo Báo cáo thị trường của WNA có 143 lò phản ứng đóng cửa vào năm 2030.

TWh= tỷ kilowat/ giờ, Mwe= megawat, kWh= kilowat/giờ

Nhu cầu uranium: 68,971 tU = 81,338 t U₃O₈

2. Dự báo về triển vọng năng lượng hạt nhân toàn cầu

Thách thức chính: Năng lượng khử cacbon

Dân số thế giới hiện có 6,6 tỉ người và dự báo sẽ tăng lên mức 9 tỉ vào năm 2050, cùng với đó là sự bùng nổ nhu cầu năng lượng trên toàn thế giới. Trong khi đó, đà phát triển năng lượng hiện tại lại không bền vững. Các nhà khoa học hàng đầu thuộc Ban liên chính phủ về biến đổi khí hậu (IPCC) của Liên Hiệp Quốc đã cảnh báo rằng từ nay đến 2050 phải cắt giảm được 70% lượng phát thải khí gây hiệu ứng nhà kính để ngăn chặn những thảm họa tự nhiên do biến đổi khí hậu trên trái đất. Để làm được điều đó trên quy mô lớn toàn cầu đòi hỏi phải thay đổi toàn bộ công nghệ trong nền kinh tế thế giới.

Chiến lược giảm phát thải khí nhà kính phải toàn diện, đi theo hướng bảo tồn và hiệu quả, tạo ra nhiều thay đổi diện rộng hơn trong các quy trình sản xuất công - nông - lâm nghiệp. Tuy vậy, nhiệm vụ chính vẫn là chuyển đổi về năng lượng trên quy mô toàn cầu - vì phần lớn khí nhà kính đều bắt nguồn từ việc sử dụng nhiên liệu hóa thạch, trong đó thách thức lớn nhất trong việc cắt giảm khí nhà kính là khử cacbon trong hệ thống năng lượng đang ngày càng mở rộng trên toàn thế giới.

Các yếu tố cấu thành một tương lai năng lượng sạch

Những vấn đề lớn đặt ra vẫn là tương lai phát triển công nghệ năng lượng sạch:

- Tương lai giao thông vận tải: Các loại pin tiên tiến hay tế bào nhiên liệu hydro sẽ hiệu quả hơn?
- Nhiên liệu hóa thạch sạch: kế hoạch áp dụng kỹ thuật thu và lưu giữ khí cacbon (CCS) trên diện rộng có khả thi, hợp lý và lâu dài không?
- Các công nghệ năng lượng tái tạo: Những nguồn năng lượng tái tạo (năng lượng gió, năng lượng mặt trời, sinh khối, địa nhiệt, thủy triều) có vượt qua được những trở ngại về chi phí và tình trạng phân phối gián đoạn trên diện rộng không?

Mặc dù những công nghệ này vẫn chưa được biết đến nhưng những thành phần chủ yếu cần thiết để tạo nên một nền kinh tế năng lượng sạch toàn cầu thì đã được xác định rất rõ ràng:

1. Lượng điện năng cung cấp lớn hơn và sạch hơn:
 - ❖ Chuyển đổi hoàn toàn sang các công nghệ không phát thải khí.
 - ❖ Sử dụng năng lượng điện lớn hơn trong các quy trình sản xuất công nghiệp và làm nóng.

- ❖ Điện khí hóa giao thông vận tải (sử dụng tàu điện và xe hơi chạy pin).
- 2. Những yếu tố khác (ví dụ như sử dụng điện năng sạch hoặc nhiệt sạch):
 - ❖ Xây dựng các nhà máy điện hiệu suất cao và không phát thải khí, kết hợp cung cấp nhiệt và phát điện (CHP).
 - ❖ Khử mặn nước biển, làm dịu cuộc khủng hoảng nước toàn cầu đang lan rộng.
 - ❖ Sản xuất khí hydro làm pin nhiên liệu.

Tóm lại, tương lai “Nhu cầu năng lượng sạch toàn cầu” là một tổng thể kết hợp các yếu tố sạch với tên viết tắt là “EHDH”:

- Clean **E**lectricity: điện sạch (trong đó gồm cả pin năng lượng)
- Clean **H**eating: đốt nóng sạch (cho các quy trình sản xuất và cho các nhà máy/văn phòng/nhà ở)
- Clean **D**esalination: phương pháp khử mặn sạch
- Clean **H**ydrogen production: sản xuất hydro sạch.

Định lượng nhu cầu năng lượng sạch

Để dự đoán nhu cầu năng lượng sạch toàn cầu, các chuyên gia đã:

- Lấy điểm khởi đầu về nhu cầu EHDH như là yêu cầu cấp bách về tiêu thụ điện năng phi cacbon trên quy mô thế giới (vào năm 2000 đạt giá trị 2.000 GW điện hạt nhân).
- Thừa nhận dự đoán của các nhà phân tích năng lượng cho rằng mức sử dụng năng lượng toàn cầu sẽ tăng gấp đôi trong khoảng thời gian 2000 - 2050, trong khi đó nhu cầu về điện năng sẽ tăng gấp 3 hay thậm chí gấp 4 lần.
- Thừa nhận khả năng nhu cầu EHDH sẽ tăng gấp 5 lần tính đến 2050, với giả định rằng các yếu tố nhiệt sạch, khử mặn nước biển và sản xuất hydro sạch được đảm bảo bền vững.
- Giả định rằng mức tăng nhu cầu EHDH sẽ chậm lại còn 40% trong giai đoạn 2050 - 2100, khi dân số toàn cầu ổn định ở ngưỡng 9 tỷ người và nền kinh tế vẫn tiếp tục phát triển đều đặn.

Theo cách tiếp cận trên, ước tính nhu cầu năng lượng sạch đến giữa thế kỷ sẽ vào khoảng 10.000 GW điện hạt nhân, và sẽ tiếp tục tăng thêm khoảng 40% đến năm 2100. Điều này đồng nghĩa với việc thế giới sẽ phải điều chỉnh giảm mục tiêu phát triển năng lượng sạch theo hướng như khi đã nỗ lực đạt được mục tiêu trước đó.

Đáp ứng nhu cầu năng lượng sạch

Để đưa ra được những dự báo phát triển hạt nhân theo đúng bối cảnh thực tiễn, các chuyên gia dựa vào những giả định liên quan đến toàn bộ hệ thống phân phối năng lượng sạch trong thế kỷ 21 như sau:

- Phát triển thủy điện sẽ dừng lại vào giữa thế kỷ.
- Năng lượng tái tạo sẽ phát triển liên tục và mạnh, với sản lượng điện đầu ra vào năm 2100 sẽ đạt mức cao hơn gấp đôi tổng sản lượng điện trên toàn thế giới hiện nay.

- Kỹ thuật thu và lưu giữ khí cacbon (CCS) sẽ được sử dụng lâu dài trong thế kỷ 21, trở thành một công nghệ cầu nối trung gian, tuy không phát triển vô hạn định.
- Phát triển năng lượng hạt nhân trong phạm vi ranh giới đã xác định trong báo cáo Triển vọng.

Những giả định này đều rất thuận lợi cho thực hiện các triển vọng Năng lượng tái tạo mới hiện còn chưa mang lại nhiều đóng góp cho ngành, và phát triển các công nghệ CCS mới vốn còn mang nặng tính lý thuyết.

Số liệu triển vọng hạt nhân

Báo cáo Triển vọng Thế kỷ về Năng lượng hạt nhân của WNA là một dự báo mang tính lâu dài nhằm đánh giá các triển vọng phát triển năng lượng hạt nhân trên quy mô toàn cầu trong thế kỷ 21. Số liệu về triển vọng được nêu trong bảng 11.

Bảng 11. Triển vọng năng lượng hạt nhân trong vòng một thế kỷ

Các chương trình hạt nhân đang thực hiện	2008	2030 Mức thấp	2030 Mức cao	2060 Mức thấp	2060 Mức cao	2100 Mức thấp	2100 Mức cao
Achentina	1	4	11	5	30	10	90
Armenia	0	1	0	1	1	2	4
Belarus	0	2	5	5	8	5	10
Bỉ	6	6	8	8	10	8	22
Brazil	2	10	30	40	100	70	330
Bungari	2	4	7	5	7	5	7
Canada	13	20	30	25	40	30	85
Trung Quốc	9	50	200	150	750	500	2800
Cộng hòa Séc	3	5	7	5	12	5	15
Phần Lan	3	5	7	8	10	8	11
Pháp	63	65	75	80	110	80	130
Đức	20	20	50	40	80	80	175
Hungary	2	4	5	4	8	5	12
Ấn Độ	4	20	70	60	500	200	2750
Iran	0	3	10	5	30	10	140
Nhật Bản	48	55	70	80	140	80	200

Lithuania/Latvia/Estonia	1	4	6	5	8	5	8
Mexico	1	2	20	3	75	20	225
Hà Lan	1	1	5	7	20	10	35
Pakistan	0	10	20	20	65	30	180
Rumani	1	4	10	5	20	10	25
Nga	22	45	80	75	180	100	200
Slovakia	2	3	4	4	5	5	7
Slovenia	1	1	1	1	2	1	2
Nam Phi	2	8	25	30	50	30	55
Hàn Quốc và Triều Tiên	18	25	50	45	80	70	145
Tây Ban Nha	7	8	20	20	50	25	60
Thụy Điển	9	10	15	10	18	10	18
Thụy Sĩ	3	4	6	5	10	5	11
Ukraine	13	20	30	20	40	20	45
Anh	11	20	30	30	80	40	140
Hoa Kỳ	99	120	180	150	400	250	1200
Tổng	367	559	1087	951	2939	1729	9137

Kế hoạch quốc gia về phát triển hạt nhân	2008	2030 Mức thấp	2030 Mức cao	2060 Mức thấp	2060 Mức cao	2100 Mức thấp	2100 Mức cao
	Năng suất tính theo GWe						
Ai Cập	0	3	10	6	40	10	90
Hội đồng hợp tác vùng Vịnh *	0	12	50	30	80	40	175
Indonesia	0	2	6	3	35	5	175
Kazakhstan	0	0	2	3	5	5	20
Nigeria	0	2	15	10	40	20	120
Ba Lan	0	4	10	12	40	20	50
Thổ Nhĩ Kỳ	0	5	15	10	50	20	160
Việt Nam	0	2	15	4	30	6	120
Tổng	0	30	123	78	300	126	910

* gồm các nước Bahrain, Kuwait, Oman, Qatar, Ả Rập Xêút, Tiểu Vương quốc Ả Rập thống nhất

Các quốc gia mới có tiềm năng phát triển	2008	2030 Mức thấp	2030 Mức cao	2060 Mức thấp	2060 Mức cao	2100 Mức thấp	2100 Mức cao
Anbani	0	0	2	1	4	2	5
Angiêri	0	0	5	2	15	5	40
Ôxtrâyli	0	0	10	15	25	20	60
Áo	0	0	3	2	5	4	7
Bangladesh	0	0	10	5	40	20	90
Chile	0	0	5	5	15	10	38
Croatia	0	0	2	2	5	2	5
Đan Mạch	0	0	2	2	4	2	7
Hy Lạp	0	0	2	2	5	2	5
Iraq	0	0	2	5	15	6	60
Ireland	0	0	5	2	5	3	10
Israel	0	0	3	2	5	3	20
Italia	0	7	20	10	40	25	70
Jordan	0	3	7	3	8	5	12
Kenya	0	0	2	2	8	4	24
Malaixia và Singapo	0	0	10	5	15	5	30
Morocco	0	0	5	2	15	5	40
New Zealand	0	0	2	2	5	3	8
Na Uy	0	0	2	2	5	3	10
Philipin	0	1	10	10	60	20	95
Bồ Đào Nha	0	0	5	5	10	5	14
Serbia	0	0	2	5	8	5	14
Syria	0	0	3	2	7	5	25
Thái Lan	0	2	10	10	40	15	50
Venezuela	0	0	3	4	25	8	60
Các nước khác	0	0	8	4	40	20	200
Tổng	0	13	140	111	429	207	999
Tổng toàn thế giới	367	602	1350	1140	3688	2062	11046

Nguồn: WNA Nuclear Century Outlook Data, 2011.

KẾT LUẬN

Thế kỷ 21 được cho là sẽ có các thị trường năng lượng toàn cầu hóa nhất và mang tính cạnh tranh nhất trong lịch sử loài người, với tốc độ tiến bộ công nghệ nhanh chóng và sự gia tăng tiêu thụ năng lượng lớn nhất từ trước đến nay, đặc biệt là ở các nước đang phát triển. Ông Mohamed ElBaradei, Tổng Giám đốc IAEA đã từng phát biểu tại đại hội đồng IAEA lần thứ 50 vào tháng 9/2006 rằng, đổi mới công nghệ và thể chế là yếu tố then chốt để đảm bảo lợi ích từ việc sử dụng năng lượng hạt nhân phục vụ phát triển bền vững.

Năng lượng hạt nhân toàn cầu sau một giai đoạn suy giảm tốc độ tăng trưởng chủ yếu do các mối lo ngại về vấn đề an toàn các nhà máy điện hạt nhân ở cuối thế kỷ 20. Giờ đây, do tác động chủ yếu bởi sự thay đổi khí hậu và sự cần đến các nguồn năng lượng phi cacbon, mà nhiều chính phủ và các công ty trên toàn thế giới đang chú trọng đến việc phục hồi phát triển năng lượng hạt nhân. Các quốc gia phát triển cũng như đang phát triển đều thể hiện mối quan tâm này, chính vì vậy mà cách diễn đạt về sự bắt đầu thời kỳ "phục hưng hạt nhân" đang được sử dụng trong cộng đồng năng lượng hạt nhân trên toàn thế giới. Công nghệ năng lượng hạt nhân trên thế giới ngày càng tiến bộ nhanh chóng với thế hệ kế tiếp các lò phản ứng hạt nhân tiên tiến, mang nhiều triển vọng phát triển trong tương lai về tất cả các khía cạnh, kinh tế, chống phổ biến vũ khí hạt nhân, bảo vệ môi trường, an toàn và phát triển bền vững. Các kịch bản về nhu cầu và cung ứng năng lượng hạt nhân tương lai đều cùng có đặc điểm chung rằng trong thế kỷ 21, tỷ trọng năng lượng hạt nhân có thể không chỉ được duy trì mà còn gia tăng đáng kể nếu khả năng cạnh tranh của nó về mặt kinh tế tiếp tục được cải thiện hơn nữa so với các nguồn năng lượng thay thế khác.

Các dự báo của IAEA và WNA cho thấy đến năm 2030 công suất lắp đặt năng lượng hạt nhân có thể tăng lên đến 420 GW điện đối với giới hạn giả thiết thấp và hơn 600 GW điện đối với giới hạn giả thiết cao. Trong thập kỷ trước mắt, các lò phản ứng làm lạnh bằng nước sẽ được củng cố hơn nữa về tính an toàn và khả năng cạnh tranh gia tăng sẽ đóng vai trò trụ cột trong sản xuất điện hạt nhân. Các hệ thống năng lượng hạt nhân thế hệ IV dự kiến sẽ được thương mại hóa vào khoảng năm 2030, được kỳ vọng sẽ cung cấp sản phẩm năng lượng có giá cả cạnh tranh và đáng tin cậy, đáp ứng được các lo ngại về an toàn hạt nhân, chất thải và chống phổ biến vũ khí hạt nhân.

Với triển vọng đầy hứa hẹn về năng lượng hạt nhân như vậy, nhưng cũng cần chú ý rằng việc xây dựng một nhà máy điện hạt nhân, nhất là đối với các nước đang

phát triển, có thể phát sinh ra nhiều vấn đề, đối với cả các nước đó lẫn cả thế giới về tổng thể. Việc thiếu kinh nghiệm điều hành và vận hành của các nước đang phát triển đang cân nhắc năng lượng hạt nhân có thể gây ra những thách thức lớn đối với các tiêu chuẩn toàn cầu đã được thiết lập để đảm bảo an toàn, an ninh và sử dụng năng lượng hạt nhân vì mục đích hòa bình.

Một báo cáo của IAEA về phát triển cơ sở hạ tầng quốc gia cho năng lượng hạt nhân đã chỉ ra ba mốc cơ bản cần tuân thủ trước khi một quốc gia được coi là sẵn sàng về năng lượng hạt nhân, đó là: (1) sẵn sàng để thực hiện một cam kết theo cách có trách nhiệm về một chương trình hạt nhân, (2) sẵn sàng mời thầu để xây dựng nhà máy điện hạt nhân đầu tiên, và (3) sẵn sàng quyết định ủy thác và vận hành nhà máy điện hạt nhân đầu tiên.

Tất cả các quốc gia đang theo đuổi năng lượng hạt nhân, dù là nước phát triển hay đang phát triển sẽ đều phải đối mặt với các vấn đề về chi phí, sự bết tắc về công nghiệp, những hạn chế về nguồn nhân lực và cả vấn đề chất thải hạt nhân, nhưng các quốc gia đang phát triển còn phải đối mặt với những thách thức riêng. Bởi vì họ là các nước nghèo hơn, họ thường thiếu các nguồn lực tài chính, năng lực về thể chế và cơ sở hạ tầng vật chất để hỗ trợ cho một dự án nhà máy điện hạt nhân quy mô lớn có trị giá hàng tỷ đôla.

Đối với các nước tương đối nghèo việc chi trả cho một nhà máy điện hạt nhân là một gánh to lớn, và các chi phí vẫn phát sinh thêm sau nhiều năm. Không có một cách đo chính xác nào để đánh giá một nước có thể đảm đương được một nhà máy điện hạt nhân hay không, đặc biệt khi mà các quyết định bị chi phối bởi chính trị, niềm tự hào dân tộc, an ninh năng lượng, chiến lược công nghiệp hóa hay trong trường hợp xấu nhất có thể là vì vũ khí hạt nhân chứ không phải xuất phát từ một sự phân tích tài chính sáng suốt hay vì một chiến lược năng lượng hợp lý quốc gia. Mặc dù việc huy động ngân sách quốc gia để mua một nhà máy điện hạt nhân về mặt lý thuyết là có thể, nhưng điều này luôn đi kèm với những chi phí cơ hội, đặc biệt là trong ngành năng lượng nói chung. Các ngân hàng phát triển không cho vay đối với các dự án lượng hạt nhân và các nhà đầu tư tư nhân cũng có khả năng lưỡng lự.

Một trở ngại lớn thứ hai đối với các quốc gia cân nhắc phát triển năng lượng hạt nhân đó là cơ sở hạ tầng vật chất để hỗ trợ cho một hay nhiều nhà máy điện hạt nhân. Điều đó bao gồm một lưới điện thích hợp (ít nhất là phải cao gấp 10 lần công suất của một lò phản ứng 1000 megawatt), đường xá, hệ thống giao thông vận tải và một vị trí an toàn và đảm bảo an ninh. Tài liệu của IAEA đã đưa ra một danh sách toàn diện gồm hàng trăm các mục tiêu về cơ sở hạ tầng, trong đó có cơ sở hạ tầng vật chất mà các quốc gia cần đáp ứng trước khi họ quyết định lựa chọn xây

dựng một nhà máy điện hạt nhân. Điều này bao gồm các máy phát điện hỗ trợ, một nguồn cung ứng nước dồi dào và các phương tiện quản lý chất thải. Việc đáp ứng tất cả các mục tiêu đó sẽ là một thách thức lớn đối với hầu hết các quốc gia đang phát triển, yêu cầu họ phải đầu tư hàng tỷ đôla vào nâng cấp cơ sở hạ tầng trong nhiều năm.

Sự ra đời của các kiểu lò phản ứng mới phức tạp hơn và chưa được thử nghiệm trong khi các nước đang phát triển lại thiếu các kinh nghiệm điều khiển và vận hành có thể gây lo ngại về tình hình an toàn hạt nhân toàn cầu.

Cuối cùng là thách thức về điều hành. Năng lực của một đất nước vận hành một chương trình năng lượng hạt nhân an toàn và an ninh phụ thuộc vào khả năng của đất nước đó trong việc lập kế hoạch thành công và bền vững, xây dựng (hay ít nhất là dự kiến trước được việc xây dựng) và quản lý một nhà máy lớn, phức tạp cùng với các hoạt động kèm theo. Đối với một lò phản ứng hạt nhân, một cam kết có thể kéo dài trong nhiều thập kỷ, ít nhất là 60 năm kể từ khi lên kế hoạch ban đầu đến khi kết thúc chu trình vòng đời của nó. Đối với chất thải hạt nhân mức độ phóng xạ cao và kéo dài, một số có thể duy trì nồng độ phóng xạ trong hàng nghìn năm, vì thế mà sự cam kết về thực chất là kéo dài mãi mãi. Mặc dù các quốc gia hiện tại đang vận hành năng lượng hạt nhân đã học hỏi được nhiều kinh nghiệm và trải nghiệm qua các sự cố hạt nhân, điều được cho là không thể hoặc không thể cho phép xảy ra trong kỷ nguyên hiện nay. Các chuẩn mực, các yêu cầu và các tiêu chuẩn đã tiến hóa. IAEA ước tính rằng có thể phải mất ít nhất là 10 năm đối với một quốc gia không có kinh nghiệm hạt nhân có thể tự mình làm chủ nhà máy điện hạt nhân đầu tiên. Nhiều quốc gia cân nhắc năng lượng hạt nhân đã gặp khó khăn trong việc quản lý các dự án đầu tư lớn hay cơ sở hạ tầng vì một loạt các nguyên nhân, trong đó có bạo lực chính trị, quản lý yếu kém và tham nhũng. Bên cạnh đó việc đẩy mạnh điều hành toàn cầu năng lượng hạt nhân là nhiệm vụ không chỉ thuộc về thế giới phát triển, và đó là cách thức quan trọng để đảm bảo rằng năng lượng hạt nhân được sử dụng theo cách an toàn, an ninh và vì mục đích hòa bình nhằm mang lại lợi ích cho tất cả mọi người.

Biên soạn: Trung tâm Xử lý và Phân tích Thông tin.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. NEW REACTOR CONCEPTS FOR NEW GENERATION OF NUCLEAR POWER PLANTS: AN OVERVIEW, Proc. 50th ETRAN Conference, Belgrade, June 6-8, 2006, Vol. IV.
2. James A. Lake , Ralph G. Bennett: Next Generation Nuclear Power Scientific American. 26/1/2009.
3. Status and Trends of Nuclear Technologies - Report of the International Project on Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycles (INPRO), IAEA-TECDOC-1622, 9/2009.
4. IAEA: International Status and Prospects of Nuclear Power. GOV/INF/2010/12-GC (54) / INF / 5, 9/2010.
5. JUSTIN ALGER: Strengthening Global Nuclear Governance. Issues in S&T, Fall 2010.
6. M.V. Ramana: Nuclear Power: Economic, Safety, Health, and Environmental Issues of Near-Term Technologies. www.annualreviews.org • Nuclear Power Issues. 12/2009.
7. U.S. DOE Nuclear Energy Research Advisory Committee: A Technology Roadmap for Generation IV Nuclear Energy Systems. 12/2002.
8. U.S. Department of Energy: Application of Advanced Construction Technologies to New Nuclear Power Plants. 9/2004.
9. IAEA: ENERGY, ELECTRICITY AND NUCLEAR POWER ESTIMATES FOR THE PERIOD UP TO 2030. REFERENCE DATA SERIES No. 1, 2008.
10. IAEA: EFFECTIVE NUCLEAR REGULATORY SYSTEMS: FACING SAFETY AND SECURITY CHALLENGES. 3/2006.
11. IAEA: LONG TERM STRUCTURE OF THE IAEA SAFETY STANDARDS AND CURRENT STATUS, 3/2011. <http://www-ns.iaea.org/downloads/standards/status.pdf>
12. David Fischer: HISTORY OF THE INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - The First Forty Years. 1997.
13. WNA: Nuclear Power Reactors, 3/2011.
14. WNA: Nuclear Power in the World Today, 2/2011.
15. WNA Nuclear Century Outlook, www.world-nuclear.org.