

# Đánh giá an toàn xác suất đối với bảo đảm an toàn NHÀ MÁY ĐIỆN HẠT NHÂN

ThS NGUYỄN AN TRUNG, ĐỖ THÀNH TRUNG,  
NGUYỄN THỊ LOAN

Cục An toàn bức xạ và hạt nhân, Bộ KH&CN

**Đánh giá an toàn xác suất (PSA) là công cụ số trong việc tính toán tần số nóng chảy vùng hoạt (CDF), tần số phát tán sớm lượng lớn phóng xạ ra môi trường (LRF) để bảo đảm đáp ứng các mục tiêu an toàn trong thiết kế và vận hành nhà máy điện hạt nhân (ĐHN). PSA cũng là công cụ giúp lựa chọn công nghệ, thiết kế, lập kế hoạch vận hành bảo đảm tối ưu về mặt kinh tế. Hầu hết các quốc gia phát triển ĐHN đã có quy định pháp quy về việc sử dụng PSA trong thẩm định an toàn nhà máy ĐHN. Bài báo trình bày các ứng dụng của PSA trong bảo đảm an toàn nhà máy ĐHN và xem xét khả năng sử dụng PSA tại cơ quan pháp quy an toàn hạt nhân phục vụ cho Dự án ĐHN Ninh Thuận.**

## Giới thiệu

Trong bảo đảm an toàn nhà máy ĐHN, thẩm định an toàn hạt nhân bao gồm các vấn đề đánh giá an toàn (safety assessment) và đánh giá các khía cạnh kỹ thuật quan trọng về an toàn (Engineering aspects important to safety). Trong đánh giá an toàn, trên thế giới hiện nay có hai cách tiếp cận được sử dụng đồng thời, bổ trợ cho nhau là phương pháp đánh giá an toàn tất định (DSA) và phương pháp đánh giá an toàn xác suất (PSA). PSA cung cấp mô hình rủi ro tích hợp cho toàn bộ nhà máy ĐHN thông qua việc đánh giá nhất quán cả 2 yếu tố tần số và hậu quả của sự cố. PSA là công cụ số trong đánh giá khả năng đáp ứng các mục tiêu an toàn (safety goals) từ giai đoạn thiết kế tới vận hành; PSA cũng hỗ trợ chủ đầu tư trong lựa chọn công nghệ, xác định đặc trưng thiết kế, lập kế hoạch vận hành bảo đảm tối ưu về mặt kinh tế. PSA

cũng chỉ ra điểm yếu trong thiết kế, lỗ hổng trong vận hành và các sai hỏng nguyên nhân chung (CCF) có khả năng xảy ra cần chú ý.

Phương pháp PSA gồm có 3 mức. *PSA mức 1* xác định các chuỗi sự kiện có thể dẫn tới nóng chảy vùng hoạt, đồng thời ước tính tần số nóng chảy vùng hoạt (CDF). *PSA mức 1* cung cấp thông tin chi tiết về điểm mạnh, điểm yếu của các hệ thống liên quan tới an toàn và các quy trình xử lý nhằm ngăn chặn nóng chảy vùng hoạt. *PSA mức 2* xem xét tới tất cả các hiện tượng xảy ra kể từ khi bắt đầu nóng chảy vùng hoạt cho tới khi phát tán (một lượng đủ lớn) chất phóng xạ ra môi trường. *PSA mức 2* đánh giá tần số phát tán lượng lớn phóng xạ (LRF), lượng và các đặc trưng nhân phóng xạ phát tán. Mức này cung cấp thông tin về mức độ quan trọng của các biện pháp ngăn ngừa, giảm thiểu sự cố và các hàng rào vật lý ngăn chặn

phát tán chất phóng xạ ra môi trường. *PSA mức 3* đánh giá các tác động tới xã hội và sức khỏe con người như là hậu quả của việc phát tán chất phóng xạ ra ngoài môi trường. Kết quả của *PSA mức 1* kết hợp với trạng thái nhà máy (plant states) là dữ liệu đầu vào cho *PSA mức 2*, kết quả của *PSA mức 2* là dữ liệu đầu vào cho *PSA mức 3*.

Tùy theo yêu cầu an toàn, năng lực nghiên cứu, phân tích và thẩm định, mức độ áp dụng PSA của các quốc gia là khác nhau. Hầu hết các quốc gia có nhà máy ĐHN đã có quy định pháp quy về việc áp dụng PSA trong thẩm định an toàn nhà máy ĐHN. Tất cả các quốc gia này đã áp dụng *PSA mức 1* đối với sự cố bên trong nhà máy ĐHN, một số quốc gia đã mở rộng áp dụng *PSA mức 1+* (mở rộng của *PSA mức 1* với phân loại chuỗi sự cố nóng chảy vùng hoạt và có tính tới chức năng nhà phát tán chất phóng xạ) và một phần *PSA mức 2*. Một số quốc gia khác có xu hướng áp dụng *PSA mức 2* hoàn chỉnh với tất cả các trạng thái nhà máy. Rất ít quốc gia áp dụng *PSA mức 3*.

Hiện tại, ở Hoa Kỳ, Pháp và Nhật Bản, PSA được nghiên cứu và sử dụng cả ở cơ quan pháp quy, tổ chức vận hành và nhà thầu. Hoa Kỳ đã có kinh nghiệm nhiều năm phát triển và áp dụng PSA, đặc biệt trong các hoạt động pháp quy. Tất cả các nhà máy ĐHN ở Hoa Kỳ đã có đánh giá PSA mức 1 và mức 2, chỉ một số nhà máy thực hiện *PSA mức 3*. Các lò phản ứng mới được yêu cầu xây dựng PSA mức 1 và mức 2 với tất cả các sự kiện khởi phát và trạng thái nhà máy trước khi nạp nhiên liệu. Ở Pháp, không có yêu cầu pháp quy liên quan tới PSA nhưng PSA mức 1 đã được thực hiện cho tất cả các lò phản ứng, PSA mức 2 đang được thực hiện. Tại Nhật Bản, Cơ quan hỗ trợ kỹ thuật (JNES) đã thực hiện PSA mức 1, 2 và 3 cho tất cả các nhà máy ĐHN đối với các sự kiện bên trong ở trạng thái vận hành công suất và đang mở rộng phạm vi phân tích PSA cho một số nhà máy ĐHN.

Tại Việt Nam, vấn đề sử dụng PSA trong phân tích an toàn đã được quy định tại Khoản 2 Điều 4 Thông tư số 30/2012/TT-BKHCN ngày 28.12.2012 của Bộ Khoa học và Công nghệ (KH&CN) quy định yêu cầu về an toàn hạt nhân đối với thiết kế nhà máy ĐHN: thiết kế nhà máy ĐHN phải xem xét kết quả PSA và DSA để ngăn chặn và giảm thiểu hậu quả của sự cố nếu xảy ra. Tuy nhiên, chưa có văn bản cụ thể nào hướng dẫn về phạm vi, mức độ áp dụng PSA cho tới thời điểm này.

## **PSA và ứng dụng**

PSA được sử dụng trong thẩm định an toàn, đánh giá thiết kế, vận hành nhà máy ĐHN, đánh giá các sửa đổi của nhà máy ĐHN trong quá trình hoạt động, thanh kiểm tra và đánh giá các vấn đề an toàn.

### **Thẩm định an toàn**

Trong thẩm định an toàn tổng thể nhà máy, PSA giúp nhận dạng và xếp hạng của thiết kế quan trọng và đặc trưng vận hành, của chuỗi sự cố chi phối, của hệ thống và thiết bị quan trọng về an toàn. So sánh kết quả PSA đáp ứng mục tiêu an toàn (tiêu chí xác suất của Cơ quan năng lượng nguyên tử quốc tế - IAEA đối với nhà máy ĐHN chuẩn bị xây dựng là CDF nhỏ hơn  $10^{-5}$ /năm, LRF nhỏ hơn  $10^{-6}$ /năm).

Trong đánh giá an toàn định kỳ (PSR), PSA cung cấp thông tin hữu ích để hỗ trợ đánh giá an toàn định kỳ bao gồm việc nhận dạng các vấn đề an toàn, xác định ý nghĩa an toàn của chúng và đưa ra quyết định về sự cần thiết của các biện pháp khắc phục. Lợi ích chính của PSA trong đánh giá định kỳ là tạo ra sự cập nhật tổng quan về toàn bộ nhà máy. PSA có thể giúp nhận dạng các cải tiến hiệu quả thực sự về an toàn.

Trong phân tích mức độ bảo vệ chống lại kịch bản sự cố giả định, PSA hỗ trợ nhận dạng khu vực nhà máy quan trọng, từ đó có các biện pháp tăng cường an toàn tại khu vực này nhằm giảm thiểu rủi ro.

### **Đánh giá thiết kế**

Trong thiết kế, PSA hỗ trợ đưa ra thiết kế phù hợp. PSA chỉ ra mối liên kết và tương tác giữa hệ thống an toàn, hệ thống hỗ trợ và hệ thống thay thế. PSA xác định điểm yếu của thiết kế và khu vực quan trọng cần cải thiện thiết kế. PSA cũng xác định sai hỏng, nguyên nhân chung cần chú ý. Ngoài ra, PSA giúp đánh giá thiết kế hệ thống an toàn có đủ về tính năng dự phòng và đa dạng, có sự cân bằng về tính năng phòng ngừa và ngăn chặn. Đánh giá hiệu quả các biện pháp quản lý khi xảy ra tình trạng khẩn cấp và sự cố, cũng như tăng cường mức độ tin cậy và tính sẵn sàng của cấu trúc, hệ thống và thiết bị để đáp ứng mục tiêu an toàn.

PSA giúp đánh giá các yếu tố quan trọng về an toàn của thiết kế nhà máy hiện tại với quy tắc thiết kế tất định đã được cập nhật hoặc sửa đổi. Đánh giá này thường thực hiện trong giai đoạn PSR.

PSA giúp chứng minh thiết kế nhà máy ĐHN chuẩn bị xây dựng có khả năng ngăn ngừa và giảm thiểu rủi ro tốt hơn các nhà máy ĐHN đang tồn tại (có tính tới tác động về địa điểm).

### **Vận hành nhà máy ĐHN**

Trong bảo trì, PSA hỗ trợ đánh giá, thiết lập và tối ưu hóa các quy trình và kế hoạch bảo trì. Đánh giá các hoạt động bảo trì để bảo đảm các hệ thống và thiết bị có dấu hiệu rủi ro được bảo trì một cách hợp lý, bảo đảm độ tin cậy cần thiết và các hoạt động này được thực hiện không làm giảm mức an toàn đối với nhà máy ĐHN.

Ngoài ra, PSA hỗ trợ lập chương trình quản lý lão hóa. PSA giúp tối ưu phạm vi chương trình lão hóa đối với thiết bị liên quan tới an toàn. PSA giúp xác định các thiết bị có dấu hiệu rủi ro có tiềm năng suy giảm chức năng do hiện tượng lão hóa.

PSA hỗ trợ lập và cải thiện quy trình vận hành trong trường hợp khẩn cấp hoặc sự cố. PSA cũng cung cấp cơ sở để xác định thời điểm khi nào chuyển từ

tình trạng bất thường của nhà máy tới giai đoạn quản lý sự cố nghiêm trọng (SAMG).

PSA cũng hỗ trợ ngăn ngừa và giảm thiểu hậu quả khi xảy ra sự cố nghiêm trọng. PSA giúp hiểu rõ diễn biến của sự cố, xác định các đường dẫn thành công, các đặc tính an toàn được ưu tiên để giảm thiểu rủi ro. Khi PSA mức 3 được thực hiện, PSA có khả năng hỗ trợ lập kế hoạch ứng phó trong trường hợp khẩn cấp. Trong đào tạo nhân viên nhà máy, PSA được sử dụng để cải thiện chương trình đào tạo nhân viên vận hành, nhân viên bảo trì và cán bộ quản lý nhà máy. PSA hỗ trợ trong việc chuẩn bị, lập kế hoạch cho hoạt động bảo trì, kiểm tra hệ thống và thiết bị nhà máy ĐHN. PSA giúp giảm thiểu hoặc loại bỏ các yếu tố đóng góp đáng kể gây nguy cơ mất an toàn trong vận hành nhà máy ĐHN.

### **Sửa đổi nhà máy ĐHN**

Trong vấn đề nâng cấp và thay đổi nhà máy, PSA xác định điểm yếu để cải thiện về thiết kế nhà máy và tính năng vận hành. PSA cũng hỗ trợ trong vấn đề xem xét kéo dài thời gian hoạt động của nhà máy ĐHN.

### **Hỗ trợ thanh kiểm tra**

PSA hỗ trợ lập kế hoạch và xếp hạng ưu tiên trong hoạt động thanh kiểm tra. Khi tiến hành các hoạt động thanh kiểm tra, PSA giúp chỉ ra các hệ thống và thiết bị có tiềm năng gây ra rủi ro cần chú ý. Ngoài ra, PSA cũng hỗ trợ đánh giá các vấn đề được phát hiện trong quá trình thanh kiểm tra.

### **Đánh giá an toàn**

PSA hỗ trợ đánh giá rủi ro của các biện pháp khắc phục. PSA hỗ trợ đánh giá rủi ro để xác định và xếp hạng các vấn đề an toàn. PSA hỗ trợ trong quá trình đưa ra quyết định về các vấn đề pháp quy.

## **Định hướng áp dụng PSA phục vụ dự án ĐHN Ninh Thuận**

### **Quy định pháp quy**

Xét tới năng lực hiện tại của Việt

Nam, ở thời điểm này, PSA mức 3 sẽ chưa được xem xét. Như đã đề cập, Việt Nam hiện chưa có văn bản cụ thể quy định các vấn đề liên quan tới PSA. Tuy nhiên, đối với dự án xây dựng nhà máy ĐHN đầu tiên, tạm thời Việt Nam dự kiến sẽ cho phép áp dụng một số văn bản quy phạm pháp luật, các tiêu chuẩn và hướng dẫn của quốc gia xuất khẩu ĐHN như Liên bang Nga, Nhật Bản, Pháp hoặc Hoa Kỳ.

Tuy nhiên, về định hướng lâu dài, để có thể quản lý an toàn nhà máy ĐHN ở các giai đoạn tiếp theo cũng như đối với các nhà máy ĐHN sau này, Cục An toàn bức xạ và hạt nhân dự kiến sẽ xây dựng các văn bản quy phạm pháp luật dưới dạng thông tư về: yêu cầu đối với phân tích PSA của nhà máy ĐHN; hướng dẫn lập báo cáo PSA; hướng dẫn thẩm định báo cáo PSA; hướng dẫn xây dựng chương trình bảo đảm chất lượng trong lập báo cáo PSA.

#### **Một số chương trình tính toán PSA phổ biến hiện nay**

Một số chương trình tính toán được sử dụng phổ biến cho PSA mức 1 hiện nay bao gồm: Riskspectrum PSA (Scandpower AB, Thụy Điển), SAPHIRE (INEEL, Hoa Kỳ), FINPSA (STUK, Phần Lan), CAFTA (Rolls-Royce Civil Nuclear, Canada), RISKMAN (ABS Consulting, Hoa Kỳ) và WINNUPRA (IAEA, Nhật Bản).

PSA mức 2 và hiện tượng sự cố nghiêm trọng nhìn chung là rất phức tạp, có nhiều vấn đề phụ thuộc lẫn nhau. Thông thường, các chương trình cho mô phỏng cây sự kiện, cây lỗi và chương trình khác sử dụng cho PSA mức 1 cũng có thể sử dụng cho PSA mức 2. Tuy nhiên, các chương trình này cần được điều chỉnh hoặc tăng cường để phù hợp trong việc mô hình hoá một số hệ thống được phân tích ở PSA mức 2. Một số chương trình tính toán tích hợp (integral code) trong phân tích sự cố nghiêm trọng sử dụng cho PSA mức 2 bao gồm:

- MAAP4 (EPRI, Hoa Kỳ): chương trình được thực hiện trên phạm vi

rộng các bài toán benchmark, các thử nghiệm, các sự cố nhà máy thực tế và các chương trình thủy nhiệt khác.

- MELCOR (Sandia National Laboratories for NRC, Hoa Kỳ): chương trình được phê chuẩn rộng rãi đối với dữ liệu thử nghiệm. Chương trình được nhiều tổ chức, cá nhân trên toàn thế giới sử dụng tại các cơ quan pháp quy, tổ chức nghiên cứu và tổ chức vận hành nhà máy ĐHN. Cấu trúc chương trình dạng module trong các gói có khả năng thay đổi với giao diện rõ ràng.

- ASTEC (IRSN Pháp) và GRS (Đức): là chương trình được sử dụng bởi nhiều tổ chức nghiên cứu tại châu Âu. Cấu trúc chương trình dạng module và chương trình đã được phê chuẩn đối với nhiều thử nghiệm.

- MAAP4-CANDU (AECL, Canada): chương trình phù hợp với vùng hoạt lò CANDU được thực hiện trên phạm vi rộng các bài toán benchmark, các thử nghiệm, các sự cố nhà máy thực tế và các chương trình thủy nhiệt khác...

- THALES-2 (IAEA, Nhật Bản): là chương trình được sử dụng bởi các tổ chức nghiên cứu tại Nhật Bản. Chương trình dạng cấu trúc module và đã được phê chuẩn đối với nhiều thử nghiệm.

Trong số các chương trình tính toán cho PSA, Riskspectrum PSA nổi lên như là chương trình được sử dụng phổ biến nhất và được đánh giá tốt nhất hiện nay. Riskspectrum PSA được phát triển bởi Công ty Scandpower có trụ sở chính tại Thụy Điển. Riskspectrum PSA được sử dụng cho đánh giá và quản lý rủi ro trong lĩnh vực ĐHN, tàu ngầm hạt nhân, dầu khí, giao thông. Riskspectrum PSA được cấp phép sử dụng tại khoảng 50% nhà máy ĐHN trên thế giới, có nhóm người sử dụng lớn nhất trên thế giới và được sử dụng chủ yếu tại các nước Tây Âu, Ấn Độ, Trung Quốc, Nga, Nhật Bản, Hoa Kỳ, Nam Mỹ, Nam Phi và châu Úc.

Riskspectrum PSA cung cấp đầy đủ các công cụ cần thiết cho việc PSA như: xây dựng và mô hình cây sự kiện; xây dựng và mô hình cây lỗi; mô hình

sự kiện khởi phát, chế độ sai hỏng của thiết bị...

#### **Kết luận**

PSA có phạm vi ứng dụng rộng trong việc thẩm định thiết kế và phân tích an toàn nhà máy ĐHN và được sử dụng tại hầu hết các quốc gia phát triển ĐHN trên thế giới. Tuy nhiên, PSA không được xem như là sự thay thế cho việc phân tích thiết kế về mặt kỹ thuật hoặc tất định. Thay vào đó, PSA được xem như cung cấp thông tin về mức độ rủi ro phát sinh từ nhà máy ĐHN, thông tin về rủi ro này được sử dụng để hỗ trợ cho phân tích tất định và đưa ra quyết định về các vấn đề pháp quy.

Hầu hết các quốc gia có nhà máy ĐHN đã có quy định pháp quy về việc sử dụng PSA trong thẩm định an toàn nhà máy ĐHN. Tuy nhiên, tại Việt Nam chưa có các quy định pháp quy trực tiếp liên quan tới PSA. Vì vậy, để phục vụ cho dự án ĐHN Ninh Thuận trong thời gian tới, song song với việc tiếp tục hoàn thiện hệ thống văn bản của Việt Nam, Bộ KH&CN cần xem xét việc chấp nhận áp dụng một số văn bản hướng dẫn của IAEA, Liên bang Nga và Nhật Bản về an toàn nhà máy ĐHN, trong đó có các văn bản về PSA. Việc đào tạo nguồn nhân lực sử dụng công cụ PSA cũng là một yêu cầu cấp thiết đặt ra đối với cơ quan pháp quy hạt nhân của Việt Nam.

#### **Tài liệu tham khảo**

1. IAEA, SSG-3, 2010: Development and Application of Level 1 PSA for NPPs.
2. IAEA, SSG-4, 2010: Development and Application of Level 2 PSA for NPPs.
3. IAEA, TECDOC-1200, 2001: Applications of PSA for NPPs.
4. IAEA, Safety Reports Series No.25, 2002: Review of PSAs by Regulatory Bodies.
5. IAEA, 75-INSAG-3, 1999: Basic Safety Principles for NPPs.
6. IAEA, INSAG-25, 2011: A Framework for an IRIDM Process.
7. NEA/CSNI/R(2012)11, 2013: Use and Development of PSA.