

TÌM HIỂU MỘT SỐ MÔ HÌNH MÔ PHÒNG QUÁ TRÌNH LAN TRUYỀN TRONG KHÔNG KHÍ CỦA CÁC CHẤT PHÓNG XẠ PHÁT RA TỪ NHÀ MÁY ĐIỆN HẠT NHÂN

Ngô Văn Quân

Trung tâm Ứng dụng Công nghệ và Bồi dưỡng Nghiệp vụ Khí tượng Thủy Văn & Môi trường (HYMETEC)

Kiểm soát các chất phóng xạ từ nhà máy điện hạt nhân là một yêu cầu quan trọng để đảm bảo an toàn cho môi trường. Một trong những phương pháp thường được sử dụng để làm cơ sở cho kiểm soát phóng xạ là phương pháp mô hình hóa. Dựa trên phương pháp này đã có khá nhiều phần mềm được lập trình để mô phỏng quá trình lan truyền trong không khí của các chất phóng xạ, tiêu biểu trong đó có các phần mềm: ORION-WIN, CAP88-PC và ANDOSE-JINS. Nghiên cứu này được thực hiện nhằm mục đích phân tích, so sánh các phần mềm trên, từ đó tiến hành đánh giá và lựa chọn phần mềm có thể áp dụng cho Việt Nam.

1. Mở đầu

Hiện nay, trên thế giới đã có khá nhiều phần mềm mô phỏng quá trình lan truyền của các đồng vị phóng xạ phát ra từ nhà máy điện hạt nhân. Việt Nam chưa xây dựng được phần mềm nào tương tự như vậy. Để góp phần đáp ứng yêu cầu xây dựng hạ tầng cơ sở bảo vệ môi trường về mặt phóng xạ phục vụ "Chiến lược ứng dụng năng lượng nguyên tử vì mục đích hòa bình đến năm 2020" nói riêng và hỗ trợ phát triển bền vững về môi trường nói chung, cần nghiên cứu và áp dụng các phần mềm hiện nay của các nước trên thế giới cho những tình huống cụ thể của Việt Nam. Đề tài: "Tìm hiểu một số mô hình mô phỏng quá trình lan truyền trong không khí của các chất phóng xạ phát ra từ nhà máy điện hạt nhân" được đặt ra nhằm góp phần giải quyết vấn đề này.

Mục đích nghiên cứu

Bước đầu tìm hiểu một số mô hình lan truyền phóng xạ trong môi trường không khí, trên cơ sở phân tích đánh giá các chương trình mô phỏng, đề xuất mô hình có khả năng áp dụng tại Việt Nam.

Đối tượng nghiên cứu

Mô hình: các mô hình lan truyền phóng xạ từ nhà máy điện hạt nhân đã được áp dụng tại các quốc gia hàng đầu về công nghệ điện hạt nhân trên thế giới.

Chất phóng xạ: các chất phóng xạ lan truyền

trong không khí phát ra từ nhà máy điện hạt nhân trong điều kiện vận hành bình thường.

Nội dung nghiên cứu

- Cơ sở lý thuyết của bài toán mô hình hóa quá trình lan truyền các chất phóng xạ phát ra từ nhà máy điện hạt nhân.

- Tìm hiểu các mô hình mô phỏng quá trình lan truyền các chất phóng xạ phát ra từ nhà máy điện hạt nhân đang được áp dụng trên thế giới.

- Phân tích, đánh giá và đề xuất mô hình có thể áp dụng cho Việt Nam và chỉ ra các vấn đề cần quan tâm khi sử dụng mô hình đã đề xuất.

Phạm vi nghiên cứu.

Đề tài chủ yếu tập trung vào nghiên cứu tổng quan tài liệu về một số mô hình mô phỏng quá trình lan truyền trong không khí của các chất phóng xạ phát ra từ nhà máy điện hạt nhân của các nước tiên tiến trên thế giới như Mỹ, Nhật Bản. Các mô hình được lựa chọn nghiên cứu bao gồm: ORION-WIN, CAP88-PC và ANDOSE-JINS.

Do giá thành của các phần mềm tương đối cao và tính thương mại của một số chương trình còn hạn chế nên đề tài không thể tiếp cận được với tất cả các mô hình kể trên mà chỉ tiếp cận được với mô hình CAP88-PC và ANDOSE-JINS. Mặt khác, cho dù có phần mềm để chạy thử nhưng do chưa có

điều kiện thu thập cơ sở dữ liệu cả về nguồn thải cũng như số liệu khí tượng nên hiện tại chưa thể tiến hành thử nghiệm mô hình trong điều kiện cụ thể ở Việt Nam.

2. Phân tích đánh giá và đề xuất mô hình có thể áp dụng

Nhìn chung, các mô hình được nghiên cứu đều tương đối giống nhau về mặt cơ sở toán học, đó là cùng dựa trên phương trình luồng thải Gauss và phương pháp phân loại độ ổn định khí quyển theo Passquill-Gifford để mô tả sự phân bố nồng độ chất phóng xạ theo không gian và thời gian. Bên cạnh đó giữa chúng còn có sự tương đồng ở một số thông số khí tượng, số liệu nguồn thải.

Tuy nhiên, mỗi mô hình đều có những đặc điểm riêng biệt. Điểm khác biệt của các mô hình thể hiện ở việc đưa vào các hệ số hiệu chỉnh, chức năng tính toán khác nhau và điều kiện cụ thể của khu vực nghiên cứu. Vì vậy khi phân tích đánh giá mô hình,

chúng tôi đã dựa trên một số tiêu chí sau đây:

- Các hệ số hiệu chỉnh
- Các chức năng tính toán của chương trình
- Yêu cầu về số liệu đầu vào
- Kết quả và phạm vi tính toán

b. Đánh giá các hệ số hiệu chỉnh

So sánh các hệ số hiệu chỉnh được sử dụng trong mỗi mô hình (Bảng 1), có thể thấy rằng ORION-WIN là mô hình có tính đến tất cả các hiệu chỉnh cần thiết cho bài toán lan truyền. CAP88-PC không tính đến ảnh hưởng của địa hình và các công trình kiến trúc. ANDOSE-JINS thì chưa tính đến quá trình rơi lắng khô và rơi lắng ướt. Như vậy một cách định tính có thể thấy rằng lời giải trong ORION-WIN dường như đầy đủ hơn so với hai mô hình còn lại vì nó bao hàm được các yếu tố cần phải quan tâm. Lời giải trong CAP88-PC và ANDOSE-JINS có thể chưa được đầy đủ do chưa quan tâm đến một số yếu tố ảnh hưởng

Bảng 1. So sánh các hệ số hiệu chỉnh trong các mô hình lan truyền

Mô hình	Phân bố nồng độ của chất phóng xạ	Độ nâng luồng thải	Rơi lắng khô	Rơi lắng ướt	Phân rã phóng xạ	Ảnh hưởng của địa hình, công trình kiến trúc
ORION-WIN	C	C	C	C	C	C
CAP88-PC	C	C	C	C	C	K
ANDOSE-JINS	C	C	K	K	C	C

Khi tính riêng cho từng đồng vị phóng xạ thì phương trình trong ORION-WIN có ưu điểm hơn do có tính đến các đồng vị sinh ra từ hạt nhân bố mẹ và đưa các giá trị hiệu chỉnh trực tiếp cho từng đồng vị vào công thức tính toán. Hai mô hình còn lại đều tính đến phân rã phóng xạ cho từng đồng vị, tuy nhiên chỉ có CAP88-PC quan tâm đến quá trình rơi lắng khô và rơi lắng ướt.

a. Đánh giá các chức năng tính toán

Tất cả các mô hình khi sử dụng đều có chức năng tính toán nồng độ (hoạt độ) của các đồng vị phóng xạ, liều chiếu trong và liều chiếu ngoài (Bảng 2). Điểm nổi bật của ANDOSE-JINS là có thể tính

toán hoạt độ của các đồng vị phóng xạ trong một số khu vực của nhà chứa lò (trong vùng hoạt, hệ thống bơm vòng 1, bể phân hủy khí...) và trong các hệ thống thải lỏng, thải khí.

Để đánh giá liều và hệ số rủi ro thì CAP88-PC có nhiều ưu điểm nhất do các yếu tố sau: tập hợp đầy đủ các hệ số về liều và rủi ro, cung cấp các chuỗi phân rã, bổ sung thêm các hệ số trong hướng dẫn của Ủy ban Bảo vệ Bức xạ Quốc tế, có cơ sở dữ liệu của 825 đồng vị phóng xạ, có khả năng tính liều tương đương cho 23 cơ quan, đánh giá nguy cơ ung thư tại 15 vị trí trên cơ thể, đánh giá liều dân chúng được thực hiện trên một quy mô rộng, vùng bán kính tính toán lên đến 80km.

Bảng 2. So sánh chức năng tính toán của các mô hình
 ("C": có; "K": không; "-": không có thông tin)

Chức năng tính toán	ORION-WIN	CAP88-PC	ANDOSE-JINS
Hoạt độ của các đồng vị phóng xạ tại một số vị trí trong nhà chứa lò	K	K	C
Nồng độ của các đồng vị phóng xạ trong không khí	C	C	-
Mật độ rơi lắng phóng xạ tại mặt đất	C	C	C
Nồng độ các đồng vị phóng xạ trong nước biển	K	K	C
Lượng chất phóng xạ xâm nhập vào lương thực - thực phẩm	C	-	C
Liều tương đương trong các cơ quan	-	C	-
Liều tập thể	-	C	K
Liều cá nhân	-	C	C
Đánh giá hệ số rủi ro	K	C	K

c. Đánh giá số liệu đầu vào

a) Số liệu khí tượng

Số liệu khí tượng cần thiết cho mô hình được thể hiện trong bảng 3. Thành phần các thông số khí tượng của từng mô hình khá giống nhau do đều sử dụng phương pháp phân loại ổn định theo Pasquill.

Riêng CAP88-PC có thêm các thông tin về độ cao lớp biên (lớp xáo trộn của khí quyển), độ ẩm tuyệt đối và lượng mưa. Các số liệu này được sử dụng để tính toán mật độ rơi lắng ướt (do mưa, tuyết) và tính toán liều.

Bảng 3. Các số liệu khí tượng cần thiết để chạy mô hình
 ("C": có; "K": không; "-": không có thông tin)

Số liệu khí tượng	ORION-WIN	CAP88-PC	ANDOSE-JINS
Tốc độ gió tại trạm khí tượng U_{10} (m/s)	C	C	C
Hướng gió tại trạm khí tượng (đđ)	C	C	C
Nhiệt độ không khí tại trạm khí tượng ($^{\circ}C$)	C	C	C
Tổng lượng bức xạ (kW/m^2)	C	C	C
Bức xạ phản xạ (kW/m^2)	C	C	C
Độ ẩm tuyệt đối	-	C	K
Lượng mưa hàng năm (cm/năm)	-	C	K
Độ cao lớp biên (m)	K	C	K

b) Số liệu nguồn thải

Số nguồn thải của ba mô hình đều giống nhau về các thông số:

Chiều cao ống khói

Đường kính trong của miệng ống khói

Nhiệt độ môi trường

Vận tốc khí thải tại miệng ống khói

Nhiệt độ khí thải tại miệng ống khói

Tốc độ thải

Chỉ có ANDOSE-JINS có thêm các thông số vận hành của nhà máy do có tính đến hoạt độ phóng xạ tại một số vị trí trong nhà lò, trong hệ thống thải lỏng và thải khí.

d. Đánh giá kết quả đầu ra và phạm vi tính toán

Ngoại trừ ORION-WIN cho kết quả ở dạng hình ảnh còn hai mô hình còn lại chỉ cho kết quả dưới dạng bảng. Đặc điểm này làm giảm tính trực quan của kết quả đầu ra, đồng thời cũng không phản ánh được xu thế biến đổi của các đồng vị phóng xạ một cách rõ ràng, dễ hiểu như phương pháp thể hiện dùng hình ảnh hay dùng đồ thị. Để khắc phục hạn chế này cần tiến hành chuyển đổi kết quả sang các chương trình khác để có thể vẽ đồ thị hoặc thể hiện trên bản đồ.

Phạm vi tính toán:

CAP88-PC có thể áp dụng cho một khu vực khá rộng có bán kính đến 80 km và các vị trí nghiên cứu được lấy theo 16 hướng ở các khoảng cách khác nhau được thiết lập mặc định trong chương trình.

ORION-WIN tính cho một khu vực hình vuông có kích thước 100km x 100km.

ANDOSE-JINS tính trong hệ tọa độ cầu, không giới hạn kích thước và điểm xa nhất trong tính toán mẫu là 5.000m. ANDOSE-JINS có thể tính toán tới đa tại 97 điểm (cho khí hiếm) và 3 điểm (cho lot) trong một lần chạy. Do đó, để thu được kết quả cho lot cần thực hiện nhiều lần chạy chương trình. Đây chính là điểm không thuận lợi của mô hình này.

Qua các phân tích đánh giá trên, có thể thấy rằng CAP88-PC là mô hình có nhiều ưu điểm nhất. Tuy

không xem xét đến tác động của địa hình trong công thức mô phỏng nhưng CAP88-PC lại có nhiều lợi thế về chức năng và quy mô tính toán. Khả năng tính toán liều và đánh giá hệ số rủi ro trên một phạm vi rộng là một thế mạnh của chương trình cần được khai thác. Dựa vào kết quả tính toán liều và hệ số rủi ro có thể đánh giá ảnh hưởng của nhà máy điện hạt nhân đến môi trường và con người trong khu vực xung quanh. Đây là một trong những vấn đề quan trọng đối với Việt Nam trong thời điểm chuẩn bị xây dựng nhà máy điện hạt nhân đầu tiên.

Với những lợi thế kể trên, chúng tôi tạm thời đề xuất ứng dụng CAP88-PC để nghiên cứu lan truyền các đồng vị phóng xạ trong không khí ở Việt Nam. Tuy nhiên, chúng ta cũng cần tiếp tục tìm hiểu các mô hình khác nữa và đặc biệt là nên mua các mô hình chuyên dụng, có bản quyền để sử dụng, đồng thời đầu tư kinh phí thích đáng để triển khai các nghiên cứu áp dụng, đáp ứng nhu cầu thực tiễn.

3. Một số vấn đề cần quan tâm khi áp dụng mô hình đề xuất cho Việt Nam

Để có thể áp dụng phần mềm CAP88-PC trong tính toán lan truyền phóng xạ tại hai địa điểm dự định xây dựng nhà máy điện hạt nhân ở Việt Nam, chúng ta cần quan tâm đến một số vấn đề sau đây:

1) Mua phần mềm thương mại của CAP88-PC và các phần mềm hỗ trợ khác của Cơ quan Bảo vệ Môi trường Mỹ (US-EPA), vì:

Chương trình CAP88-PC sử dụng trong chuyên luận được tải miễn phí trên mạng Internet. Như vậy, nếu xét về bản chất thì đây chỉ là một phần mềm trình diễn không phải chương trình được thương mại hóa, do đó sẽ có những hạn chế nhất định. Thực tế khi tiến hành thử nghiệm, chúng tôi đã gặp phải một số hạn chế về thời gian tính toán phân bố nồng độ các đồng vị phóng xạ từ khi phát thải, số điểm đánh giá và cách thể hiện kết quả chỉ ở dạng bảng.

Không thể áp dụng nguyên chương trình CAP88-PC trong tính toán lan truyền phóng xạ tại Việt Nam vì phần mềm được lập trình trên dựa trên những điều kiện thực tế tại Mỹ. Các hệ số hiệu chỉnh, thừa số tính toán liều... được thiết lập mặc

định trên cơ sở điều kiện khí tượng và đặc điểm sinh hoạt của dân cư vùng nghiên cứu. Các file đầu vào như dân số, khí tượng, đặc điểm các vùng nông nghiệp được tích hợp sẵn trong chương trình theo đặc điểm cụ thể tại các Bang ở Mỹ.

Như vậy nếu áp dụng CAP88-PC chúng ta chỉ có thể sử dụng theo một trong hai cách sau: thứ nhất là mua trực tiếp phần mềm có mã nguồn mở, khi sử dụng người dùng có thể thay thế được các hệ số mặc định trong chương trình. Thứ hai là thiết lập các giá trị hiệu chỉnh mặc định trên cơ sở dữ liệu được thu thập tại Việt Nam.

2) Khi đã có được phần mềm với đầy đủ tính năng như mong muốn thì công việc cần được triển khai tiếp theo là nghiên cứu sâu hơn mô hình về thuật toán và các chức năng tính toán. Đặc điểm của bài toán lan truyền phóng xạ là phụ thuộc rất nhiều vào sự chuyển động của các dòng khí, điều kiện thời tiết và địa hình. Trong những điều kiện địa hình, khí hậu nhất định và trong từng khu vực nghiên cứu các hệ số hiệu chỉnh mặc định, hệ số khuếch tán... phải được thay đổi cho phù hợp. Muốn thay đổi được các giá trị này cần phải có những hiểu biết sâu về thuật toán trong đó nhấn mạnh đến công thức để xác định các hệ số hiệu chỉnh. Khai thác hết các chức năng tính toán của chương trình là một yêu cầu cần thiết để có thể ứng dụng kết quả theo nhiều mục đích khác nhau.

Nghiên cứu sâu và bài bản về mô hình lan truyền phóng xạ không chỉ khai thác hiệu quả các tính năng của phần mềm để giải quyết bài toán thực tiễn mà còn đào tạo được cán bộ thông qua công việc thực tế. Thông qua quá trình tìm hiểu và triển khai ứng dụng, đội ngũ cán bộ sẽ tích lũy được nhiều kiến thức và kinh nghiệm chuyên môn. Đây là tiền đề cho sự phát triển các nghiên cứu về mô hình sau này.

3) Các thông số khí tượng cần thiết cho mô hình CAP88-PC đều phải được thu thập từ mạng lưới các trạm quan trắc khí tượng ở Việt Nam, kết hợp với các số liệu của khu vực và thế giới. Đồng thời phải tiến hành thêm các đo đạc thực địa nhằm chính xác hóa các số liệu trước khi sử dụng. Các số liệu khí tượng sẽ được dùng để tính toán độ ổn định khí

quyển, các hệ số khuếch tán, hệ số hiệu chỉnh và các con đường xâm nhập của chất phóng xạ trong lương thực - thực phẩm. Số liệu khí tượng sau khi thu thập cần được lưu giữ một cách có hệ thống theo định dạng đầu vào của chương trình.

4) Trong thời điểm nhà máy chưa vận hành, có thể phải sử dụng các số liệu nguồn thải giả định để nhập vào mô hình trên cơ sở các thông số của nhà máy có công suất và công nghệ tương đương. Để thu được kết quả gần với thực tế thì các thông số nguồn thải cần phải được khảo sát chi tiết. Khi nhà máy đi vào vận hành, các thông số nguồn thải cần phải được đo đạc, kiểm chứng thường xuyên.

5) Khảo sát thực địa khu vực xung quanh địa điểm dự định đặt nhà máy là một công việc quan trọng, phải được tiến hành chi tiết. Nhiệm vụ công tác khảo sát nhằm đưa ra các các hệ số hiệu chỉnh tác động của địa hình vật chắn, bổ xung các số liệu khí tượng, xây dựng các con đường xâm nhập của chất phóng xạ. Các thông tin cần thu thập phục vụ đánh giá liều và rủi ro bao gồm: phân bố dân cư, tập quán sinh hoạt (ăn, uống), số lượng gia súc, diện tích các vùng trồng trọt, năng suất cây trồng, diện tích vùng nuôi trồng thủy sản, năng suất đánh bắt nuôi trồng thủy sản...

4. Kết luận

1) Tất cả các mô hình trong nghiên cứu đều có thể áp dụng để giải quyết bài toán lan truyền phóng xạ trong môi trường không khí từ nhà máy điện hạt nhân ở một mức độ nhất định. Điểm chung các mô hình này đó là đều dựa trên lý thuyết động lực rối thống kê của Gauss và phương pháp phân loại độ ổn định khí quyển của Passquill-Gifford khi tính toán phân bố nồng độ chất phóng xạ. Điểm khác biệt chủ yếu của các mô hình là sử dụng các hệ số hiệu chỉnh, các hệ số khuếch tán trong từng điều kiện cụ thể của mỗi khu vực nghiên cứu.

2) Mô hình CAP88-PC được đánh giá là phần mềm có hiệu quả nhất, có thể áp dụng cho Việt Nam dựa trên cơ sở so sánh các tiêu chí: phương trình khuếch tán và các hệ số hiệu chỉnh, các chức năng của phần mềm, yêu cầu về số liệu đầu vào, kết quả và phạm vi tính toán.

3) Để áp có thể dựng phần mềm CAP88-PC trong tính toán lan truyền phóng xạ tại hai địa điểm dự kiến xây dựng nhà máy điện hạt nhân ở Việt Nam cần quan tâm đến một số vấn đề sau:

Mua phần mềm thương mại của CAP88-PC và các phần mềm liên quan.

Tiến hành nghiên cứu sâu hơn về thuật toán và chức năng của phần mềm này.

Thu thập các số liệu khí tượng tại các trạm quan trắc, khảo sát và đo đạc bổ sung tại hiện trường.

Tăng cường hợp tác quốc tế và mời chuyên gia

tư vấn.

4) Nghiên cứu này được thực hiện trên cơ sở thu thập các phần mềm mô phỏng trên mạng Internet và dự án đào tạo. Đây là những phần mềm phổ cập, không phải các phần mềm thương mại nên nhiều tính năng còn hạn chế, đặc biệt là giao diện người dùng và các kết quả đầu ra. Để có thể khai thác hiệu quả và lựa chọn được mô hình tối ưu, áp dụng cho Việt Nam, nghiên cứu cần phải tiếp tục được tiến hành với các phần mềm khác, đặc biệt là các chương trình đã được thương mại hóa và đang được áp dụng tại quốc gia phát triển.

Tài liệu tham khảo

1. Vương Thu Bắc và nnk, *Quý đạo lan truyền ra xa của khối không khí phát đi từ Phước Dinh, Ninh Thuận, Báo cáo tại Hội nghị Khoa học và Công nghệ hạt nhân toàn quốc lần thứ VI, Đà Lạt 26-27/10/2005.*
2. Lê Đại Diễn, *Bài giảng Vật lý lò phản ứng, Viện Khoa học Kỹ thuật Hạt nhân.*
3. Hoàng Xuân Cơ, *Mô Hình Hoá trong quản lý môi trường, Tập bài giảng dành cho sinh viên ngành Khoa học Môi trường – Khoa Môi trường – Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQGHN, 2002*
4. Phạm Ngọc Hồ, *Cơ sở môi trường không khí, Tập bài giảng dành cho sinh viên ngành Khoa học Môi trường - Khoa Môi trường – Trường Đại học Khoa học Tự nhiên – ĐHQGHN, 2006.*
5. Phạm Ngọc Hồ, *Nghiên cứu hiệu chỉnh và tham số hóa mô hình dự báo sự lan truyền chất ô nhiễm trong môi trường không khí trên cơ sở số liệu của các trạm quan trắc và phân tích chất lượng không khí cố định tự động tại Hà Nội, Báo cáo tổng kết đề tài KHCN số 01C-09/05-2001-2, Hà Nội*
6. Đỗ Quý Sơn, *Nhiên liệu và chất thải nhà máy điện hạt nhân, Khóa đào tạo về an toàn hạt nhân lần thứ III, Hà Nội, 9-20/10/2006.*
7. Đỗ Quý Sơn, *Bài giảng Cơ sở hoá phóng xạ, Viện Công nghệ Xạ hiếm.*
8. Trương Ý và nnk, *Nghiên cứu áp dụng mô hình phân tán khí quyển đối với khí thải phát ra từ các cơ sở công nghiệp, Báo cáo tại Hội nghị Khoa học và Công nghệ hạt nhân toàn quốc lần thứ VI, Đà Lạt 26-27/10/2005.*
9. Viện Năng lượng Nguyên tử Việt Nam, *Xây dựng tiềm lực R&D phục vụ chương trình phát triển điện hạt nhân, Báo cáo tóm tắt kết quả đề tài độc lập cấp nhà nước năm 2002-2004 mã số ĐTĐL – 2002/17.*
10. Barry Parks, *Mathematical Models in CAP88-PC, U.S.Department of Energy, 1997.*
11. Brigg, G.A., "Plume Rise, AEC Critical Review Series", TID-20575.
12. Rupp, E.M., Beall, S.E., Bornwasser, L.P., Johnson, D.H., "Dilution of Stack Gases in Cross Winds", USAEC Report AECD-1811 (CE-1620), Clinton Laboratories, 1948.
13. K. Funayama, T. Tachino, N. Sato, T. Matsuishi - Japan Nuclear Energy Safety Organization (JNES)- Dose calculations during Routine Release from LWRs- Application of ANDOSE-JINS, March 20-27, 2008.
14. K. Funayama (JNES), Radiation Dose Evaluation during Normal Operation, March 20-27, 2008.
15. Japan Nuclear Energy Safety Organization (JNES)- Regularory Guide for Meteorological Observation for Safety Analysis of Nuclear Power Reactor Facilities, March 20-27, 2008.
16. Nuclear Energy Agency (OECD), ISBN 92-64-02146-9, Effluent Release Options from Nuclear Installations, 2003.