

PHÂN TÍCH AN TOÀN THỦY NHIỆT NHÀ MÁY ĐIỆN HẠT NHÂN SỬ DỤNG CHƯƠNG TRÌNH RELAP5

NỘI DUNG

I. Phương pháp luận phân tích an toàn NMDHN.....	2
II. Chương trình phân tích an toàn thủy nhiệt RELAP5.....	6
2.1. Lịch sử phát triển RELAP5	6
2.2. Phạm vi ứng dụng của RELAP5.....	9
III. Các thực nghiệm SET và IET	11
3.1. Các bài toán phân tích chuẩn quốc tế (ISP).....	11
3.2. Các thử nghiệm hiệu ứng riêng biệt (SET - Separate Effect Tests)	13
3.3. Các thử nghiệm tích hợp (IET - Integral Effect Tests).....	13
IV. Phân tích hệ thống thủy nhiệt trong RELAP5	14
4.1. Thử nghiệm kiểm soát và các phương trình bảo toàn.....	14
4.2. Phương trình liên tục (bảo toàn khối lượng)	16
4.3. Phương trình bảo toàn động lượng	16
4.4. Phương trình bảo toàn năng lượng.....	18
4.5. Các khí không ngưng tụ trong pha khí.....	22
4.6. Nồng độ Boron trong trường chất lỏng.....	25
V. Phân tích hệ thống thủy nhiệt sử dụng RELAP5	25
5.1. Thu thập và tổ chức thông tin	26
5.2. Xác định và rời rạc hóa mô hình bài toán	27
5.3. Các điều kiện đầu và điều kiện biên	29
5.4. Chạy chương trình và phân tích kết quả.....	29

I. Phương pháp luận phân tích an toàn NMDHN

Vai trò của các chương trình tính toán rất quan trọng vì để thực hiện các thực nghiệm về an toàn hạt nhân đòi hỏi một sự đầu tư lớn cả về mặt con người và đặc biệt là cơ sở vật chất và tài chính. Các nước có nền công nghiệp hạt nhân phát triển là những nước đi đầu trong các thực nghiệm này. Ngoài ra, các tổ chức như OECD hay EU cũng hợp tác và thúc đẩy các hoạt động chung nhằm đẩy mạnh các hoạt động hỗ trợ nghiên cứu về an toàn hạt nhân. An toàn hạt nhân mang tính toàn cầu, và vì thế các tổ chức quốc tế như IAEA hay từng quốc gia đều hết sức quan tâm khi phát triển chương trình hạt nhân.

Phân tích an toàn hạt nhân bao gồm hai cách tiếp cận chính: Phân tích an toàn tất định luận (DSA) và phân tích an toàn xác suất (PSA). Trong phân tích an toàn tất định lại có hai cách tiếp cận. Tiếp cận bảo thủ (Conservative Approach) là cách tiếp cận trong đó:

- Mô hình và các dữ liệu đầu vào nằm trong giới hạn dự trữ an toàn chắc chắn.
- Cho các kết quả tính toán giới hạn ở dưới các giới hạn an toàn
- Đơn giản và rõ ràng
- Không xác định được dự trữ an toàn thực tế

Còn cách tiếp cận ước lượng tốt nhất lại có các đặc điểm sau:

- Các mô hình và dữ liệu vào cho dưới dạng ước lượng tốt nhất có thể (các chương trình như RELAP5, MARS,)
- Cho “Giá trị ước lượng tốt nhất + Độ bất định” nằm trong giới hạn an toàn
- Mô hình hóa phức tạp và cần đánh giá kỹ lưỡng các thông số bất định.

Mặc dù phương pháp tiếp cận bảo thủ hiện vẫn đang được sử dụng trong phân tích thiết kế, song các khuynh hướng chuyển dần sang cách tiếp cận ước lượng tốt nhất đang dần trở nên khả thi khi

- Có nhiều tính chất, hiện tượng được nhận dạng, hiện thực hóa
- Nhiều dự trữ an toàn (safety margin) được sử dụng trong các vấn đề như nâng công suất, tăng độ sâu cháy nhiên liệu hay kéo dài thời gian hoạt động của nhà máy.

Một cách chung nhất, các phân tích an toàn nhằm đánh giá:

- Độ rủi ro của các tai nạn -> Phân tích an toàn xác suất (PSA)

- Hậu quả của tai nạn -> Phân tích an toàn tất định

Việc phát triển các chương trình tính toán theo các phương pháp phân tích an toàn tất định là cần thiết do

- Các hậu quả của các điều kiện gây tai nạn là không thể kiểm chứng (thí nghiệm) được
- Cần xây dựng các mô hình mô phỏng với những quá trình vật lý đã biết và hiện thực hóa thông qua các tính toán bằng các phương pháp số.
- Các kiểm tra, kiểm chứng về độ chính xác có thể tiến hành bằng các thí nghiệm cỡ nhỏ.
- Việc tiên đoán các hậu quả ở mức toàn nhà máy (full scale plant) vẫn còn là vấn đề và có nhiều bất định lớn
- Tiếp cận bảo thủ dựa trên mô hình bảo thủ và giới hạn trạng thái của nhà máy
- Tiếp cận ước lượng tốt nhất dựa trên mô hình ước lượng tốt nhất và trạng thái có thể nhất của nhà máy

Các phân tích an toàn giúp cho công tác thiết kế và hiệu chỉnh thiết kế

- Thực hiện các tính toán cấp phép để minh chứng khả năng của các hệ thống an toàn
- Hỗ trợ các hệ mô phỏng vận hành (Plant simulator)
- Hỗ trợ cho phương pháp PSA
- Hỗ trợ cho việc xây dựng kế hoạch khẩn cấp và quản lý tai nạn, sự cố.
- Phân tích các sự kiện vận hành
- Hỗ trợ pháp quy trong các kiểm tra độc lập các kết quả phân tích an toàn

Các phạm trù của các chương trình tính toán sử dụng trong phân tích an toàn tất định bao gồm:

- Các chương trình tính toán vật lý neutron (Neutron physics code)
- Các chương trình phân tích nhiên liệu (Fuel analysis code)
- Các chương trình phân tích thủy nhiệt (T-H analysis code)
- Các chương trình phân tích cấu trúc (Structural analysis code)
- Các chương trình phân tích sự cố nặng (Severe accident analysis code)

- Các chương trình phân tích lan truyền phóng xạ (Radiological analysis code)

Các chương trình phân tích an toàn hệ thống (System Safety Analysis Code)

- Dựa trên mô hình thủy động chuyển tiếp
- Đơn giản hóa về vật lý neutron bằng mô hình động học lò điểm
- Các mô hình nhiên liệu đơn giản rút ra từ các phân tích chi tiết quá trình cháy nhiên liệu
- Các mô hình nhiệt cho các cấu trúc vật rắn
- Mô hình thành phần đơn giản hóa chẳng hạn như các van, bơm .v.v.
- Mô hình điều khiển nhà máy

Các nghiên cứu hiện nay tập trung vào việc tích hợp các chương trình phân tích thủy nhiệt kết hợp phân tích neutron về động học 3D và cháy nhiên liệu. Phân tích các sự cố nặng do các nguyên nhân liên quan đến nhiệt thủy động kết hợp giữa phân tích hệ thống tải nhiệt và hệ thống nhà lò.

Việc đánh giá các điều kiện phức tạp trong hệ thống bao gồm nhiều thành phần liên hệ phụ thuộc nhau được thực hiện nhờ các chương trình ước lượng tốt nhất (BE) THSC như RELAP5, TRAC, ATHLET hay CATHARE. Do các gần đúng số và bản chất bán thực nghiệm trong các mô hình áp dụng trong các chương trình phân tích thủy nhiệt nên việc làm chính xác hóa các mô hình được đặc biệt quan tâm trong những năm gần đây. Việc chính xác hóa (validation) được thực hiện nhờ các dữ liệu thực nghiệm từ các thiết bị thử nghiệm có tỷ lệ thu nhỏ.

Thêm vào đó, các số liệu ghi nhận được trong các chuyển tiếp của các nhà máy điện hạt nhân đang vận hành cũng được xem như các dữ liệu thực nghiệm với tỷ lệ thực và hình học chính xác mặc dù các dữ liệu này gắn với các điều kiện cụ thể của nhà máy đang vận hành lúc đó và các quá trình dịch chuyển này cũng chỉ là các dịch chuyển trong khi vận hành thử nghiệm khởi động hay đưa vào vận hành. Những hoạt động nghiên cứu này được thực hiện ở mức quốc gia cũng như quốc tế với bốn mức độ khác nhau, chủ yếu liên quan đến lĩnh vực các đánh giá độc lập lên quan đến sử dụng:

- + Các thực nghiệm cơ bản (“Fundamental” experiments)
- + Các thực nghiệm các hiệu ứng riêng rẽ (Separate Effects Test Facilities - SETF)
- + Các thực nghiệm tổng thể (Integral Test Facilities – ITF) cùng với các bài toán chuẩn quốc tế (ISP)

Chương trình RELAP5

+ Số liệu thực của nhà máy

Có thể tóm tắt hiện trạng việc phát triển, chính xác hóa và sử dụng các chương trình tính toán như sau:

+ Các chương trình đạt được mức độ phổ cập (maturity) chấp nhận được mặc dù các áp dụng thực tế vẫn chỉ giới hạn trong phạm vi làm chính xác hóa (validation domain)

+ Mức độ khả dụng của các chương trình tính toán cũng tăng lên nhanh chóng, đặc biệt là ở các nước Đông Âu cũ, các nước đang phát triển hoặc bắt đầu phát triển điện hạt nhân.

+ Việc sử dụng các chương trình có chất lượng đảm bảo ngày càng được áp dụng nhiều hơn trong việc đánh giá an toàn các NMDHN đang vận hành, đặc biệt là ở các nước Đông Âu thuộc Liên Xô cũ cũng như các thiết kế các lò thế hệ mới.

+ Các tiêu chuẩn chính xác hóa và các chương trình đánh giá chất lượng chi tiết cũng đã được đặt ra, mặc dù nó còn chưa được tối ưu một cách đầy đủ cũng như chưa nhận được những thỏa thuận quốc tế.

+ Các phương pháp đánh giá độ bất định (sai số) trong việc tiên đoán các đặc trưng của nhà máy liên quan đến các kịch bản cho các chương trình tính toán đã được đưa ra và đang trong quá trình thử nghiệm.

+ Các vấn đề như hiệu ứng người dùng (ảnh hưởng của người sử dụng chương trình trong việc chuẩn bị số liệu, tính toán và phân tích), chất lượng nút hóa mô hình, độ chính xác của chương trình (so sánh sai số giữa kết quả tính toán và kết quả đo) cũng đã và đang được quan tâm nghiên cứu.

+ Nhiều tổ chức quốc tế như IAEA, Ủy ban an toàn các cơ sở hạt nhân của OECD (CSNI), OECD/NEA cũng như các cơ quan an toàn của các nước như US NRC quan tâm rất nhiều đến việc đánh giá các mô hình của các chương trình tính toán cũng như những tiên đoán mà các chương trình phân tích đưa ra.

Nghiên cứu thực nghiệm về an toàn hạt nhân nói riêng và các nghiên cứu khác trong lĩnh vực năng lượng hạt nhân nói chung đòi hỏi có những đầu tư lớn từ phía nhà nước. Đặc biệt, các thực nghiệm hạt nhân liên quan đến vấn đề an toàn bức xạ và hạt nhân, nó đòi hỏi phải có sự chuẩn bị kỹ lưỡng, cả về mặt trang thiết bị, tài chính cũng như khoa học. Do đó, về cơ bản việc phân tích, đánh giá các hành vi của hệ thống hạt nhân cần dựa trên các chương trình máy tính. Với những dữ liệu về các hệ thống hạt nhân và vận hành các NMDHN trên thế giới, các công cụ phần mềm ngày càng được hoàn thiện dựa trên các phát triển về mặt phương pháp cũng như các dữ liệu do thực

nghiệm cung cấp. Việc đánh giá và xác nhận tính đúng đắn của các chương trình tính toán dựa trên cơ sở so sánh các kết quả tính toán với các số liệu chính xác.

Xác định xem mô hình vật lý, phương pháp số hay chương trình máy tính có thể mô tả đúng đắn các hiện tượng mà chúng được thiết kế để mô phỏng. Xác nhận tính đúng đắn dựa trên phân tích về mặt lý thuyết và đánh giá bằng số hay trên cơ sở thực nghiệm.

Các đánh giá dựa trên:

- Các dữ liệu thực nghiệm: SET (Separate Effect Tests) hoặc IET (Integral Effect Tests)
- Các lời giải giải tích chính xác.

II. Chương trình phân tích an toàn thủy nhiệt RELAP5

2.1. Lịch sử phát triển RELAP5

Phiên bản đầu tiên của RELAP được xây dựng năm 1966 bởi phòng thí nghiệm Idaho (USA) dưới sự tài trợ của Ủy ban Pháp quy Hoa kỳ (USNRC). Một loạt các chương trình RELAP bắt đầu từ RELAPSE (Reactor Leak And Power Safety Excursion) được công bố vào năm 1966. Sau đó các phiên bản của phần mềm này là RELAP2, RELAP3 và RELAP4 trong đó tên ban đầu được gọi ngắn gọn là Reactor Excursion and Leak Analysis Program (RELAP). Tất cả các phần mềm này dựa trên mô hình dòng hai pha cân bằng đồng nhất. Phiên bản cuối cùng của phần mềm trong chuỗi này là RELAP4/MOD7 được National Energy Software Center (NESC) công bố năm 1980.

Tuy nhiên RELAP4 không đáp ứng được yêu cầu khi xét đến các mô hình không đồng nhất và không cân bằng. Vì vậy mà các phần mềm sau này đã được viết lại dưới hình thức khác nhau để có thể đáp ứng mục tiêu này và kết quả của những nỗ lực này là sự bắt đầu của dự án RELAP5 với hàm ý đây là phần mềm thứ 5 trong chuỗi các phần mềm được thiết kế để mô phỏng sự biến đổi trạng thái của hệ thống lò nước nhẹ (LWR) dưới những điều kiện sự cố giả định. RELAP5 theo cách đặt tên truyền thống của phần mềm RELAP trước đó. Chuỗi các phần mềm đánh số lẻ được viết lại theo hình thức khác hoàn toàn trong khi những phiên bản được đánh số chẵn có sự thay đổi mô hình tổng quát nhưng sử dụng cấu trúc của phần mềm trước đó. Mỗi một phiên bản của phần mềm phản ánh sự hiểu biết rộng hơn và những yêu cầu mô phỏng mới từ những thí nghiệm có tỉ lệ lớn và nhỏ, các nghiên cứu có tính lý thuyết

của dòng hai pha, các phương pháp số, những chương trình máy tính tiên tiến và sự phát triển của máy tính.

Nét mới chính của chuỗi các phần mềm RELAP5 là sử dụng mô hình thủy động hai pha không đồng nhất, không cân bằng, mô hình thủy động để mô phỏng diễn biến hệ thống hai pha. RELAP5/MOD2 sử dụng một mô hình hai chất lưu, không cân bằng gồm 6 phương trình. Việc sử dụng mô hình hai chất lưu loại bỏ sự thiếu hụt của các mô hình con của RELAP4, ví dụ như là sự tăng lên của các bọt khí và các mô hình vận chuyển enthalpy đã khắc phục được những hạn chế của mô hình một chất lưu.

RELAP5/ MOD3.0 được phát triển đồng thời bởi NRC, một tổ chức gồm một vài quốc gia và các tổ chức trong nước là thành viên của International Code Assessment and Applications program. Nhiệm vụ của chương trình phát triển RELAP5/MOD3 là để phát triển một phiên bản chương trình phù hợp cho các phân tích của tất cả các chuyển tiếp và các sự cố giả định trong hệ thống lò LWR gồm cả những sự cố mất chất tải nhiệt do vỡ lớn (LB LOCA) và sự cố mất chất tải nhiệt do vỡ nhỏ (SB-LOCA) cũng như các mức độ đầy đủ của các chuyển tiếp trong vận hành. Cho đến hiện nay phiên bản mới nhất của phần mềm này là RELAP5/MOD3.3

Chương trình RELAP5 (Reactor Excursion and Leak Analysis Program) là chương trình phân tích an toàn thủy nhiệt NMDHN theo phương pháp ước lượng tốt nhất. RELAP5 có khả năng mô phỏng hệ thống thủy nhiệt của NMDHN trong điều kiện dừng, các điều kiện chuyển tiếp và sự cố cơ bản theo thiết kế. Có hai bài toán mô phỏng đối với NMDHN là bài toán dừng và vài toán chuyển tiếp. Bài toán dừng nhằm mô phỏng quá trình vận hành bình thường của NMDHN với công suất ổn định. Khi đó các tham số động học nhiệt và các tham số của hệ thống sẽ không thay đổi theo thời gian.

Đối với bài toán chuyển tiếp, giả thiết đặt ra là có sự thay đổi các tham số vận hành như: thêm vào LPU một độ phản ứng dương (bài toán RIA), suy giảm và không có dòng chảy (bài toán LOFA) và mất chất tải nhiệt (bài toán LOCA)...

Phiên bản RELAP5 là cho phép mô hình hóa hệ thủy động hai pha không đồng nhất, không cân bằng. RELAP5/MOD2 sử dụng một mô hình hai chất lưu, không cân bằng gồm 6 phương trình. Việc sử dụng mô hình hai chất lưu khắc phục khiếm khuyết của các mô hình trong RELAP4, ví dụ như sự tăng lên của các bọt khí và các mô hình vận chuyển enthalpy đã khắc phục được những hạn chế của mô hình một chất lưu.

RELAP5/MOD3 là một phiên bản chương trình phù hợp cho các phân tích các chuyển tiếp và các sự cố giả định trong hệ thống lò LWR gồm cả những sự cố mất chất tải nhiệt do vỡ lớn (LB LOCA) và sự cố mất chất tải nhiệt do vỡ nhỏ (SB-LOCA)

Chương trình RELAP5

cũng như các mức độ đầy đủ của các chuyển tiếp trong vận hành. Phiên bản được sử dụng rộng rãi nhất của phần mềm này là RELAP5/MOD3.3. Lịch sử phát triển của RELAP5 có thể tóm lược trong bảng 2.1.

Bảng 2.1. Quá trình phát triển phần mềm RELAP5

Tên phần mềm	Năm	Mô hình thủy động
RELAPSE	1966	Mô hình cân bằng đồng nhất (HEM với 3 phương trình)
RELAP2	1968	HEM
RELAP3	1971	HEM
RELAP4/MOD7	1980	HEM với mô hình trượt (slip)
RELAP5/MOD1	1982	Mô hình hai pha (5 phương trình)
RELAP5/MOD2	1985	Mô hình hai pha (6 phương trình)
RELAP5/MOD3	1990	Mô hình hai pha (phiên bản cho PC và cho workstation)
RELAP5/MOD3.2.1.2	1997	Mô hình hai pha cho AP600
RELAP5/MOD3.2.2.2-g	1999	Mô hình hai pha cải tiến (theo USNRC)
RELAP5/MOD3.3	2002	Bảng hơi mới và cải tiến (theo USNRC)
RELAP5-3D		Các mô hình hình học 3D
RELAP/SCDAP (SCDAP/RELAP)		Kết hợp với các mô hình hư hỏng nhiên liệu (sự cố nghiêm trọng)

Có hai dạng bài toán mô phỏng đối với NMĐHN là bài toán dừng và bài toán chuyển tiếp. Bài toán dừng nhằm mô phỏng quá trình vận hành bình thường của NMĐHN với một trăm phần trăm công suất. Khi đó các tham số động học nhiệt và các tham số của hệ thống sẽ không thay đổi theo thời gian như: nhiệt độ, áp suất tại chân lạnh, chân nóng, vùng hoạt, độ sụt áp tại các hệ cần quan tâm, công suất bơm, công suất LPU..

Đối với bài toán chuyển tiếp thì các giả định đặt ra là có sự thay đổi với các tham số vận hành chẳng hạn: thêm vào LPU một độ phản ứng dương (bài toán RIA), không có dòng chảy (có thể do mất điện đối với hệ thống bơm - bài toán LOFA) và mất nguồn tải nhiệt (vỡ đường ống nước - bài toán LOCA)...

Bài toán chuyển tiếp thường lấy dữ liệu ban đầu của của bài toán dừng và thêm vào các giả định nào đấy để có sự kiện khởi đầu theo kịch bản định trước xảy ra. Do vậy giả sử chương trình RELAP5 xử lý một tệp dữ liệu vào mô phỏng hệ thống có tên

Problem.i thì kết quả sẽ có tệp được ghi ra: Problem.O thể hiện diễn biến của hệ thống trong thời gian mô phỏng và Problem.R là một tệp nhị phân chứa đựng mọi thông tin về hệ thống và có thể dùng làm đầu vào cho các bài toán chuyển tiếp.

2.2. Phạm vi ứng dụng của RELAP5

RELAP5/MOD3.3 phân tích những biến đổi của hệ thống thủy nhiệt trong lò phản ứng nước nhẹ. Nó được thiết kế trước tiên là để phân tích sự tương tác thủy động phức tạp xuất hiện trong các sự cố LOCA vỡ nhỏ và vỡ lớn được giả định trong lò nước áp lực. Tuy nhiên khi được tiếp tục phát triển phạm vi ứng dụng của chương trình được mở rộng gồm có rất nhiều kịch bản chuyển tiếp xuất hiện trong hệ thống thủy nhiệt (chuyển tiếp trong vận hành: ATWS, Loss of Feedwater, Loss of Off site Power, Loss of Flow, Overcooling accidents, tuabin bị hỏng...). Vì vậy chương trình được sử dụng thành công để phân tích không chỉ sự cố LOCA lớn, nhỏ mà còn có các chuyển tiếp vận hành trong PWR và những chuyển tiếp khác nhau trong các lò phản ứng và lò thực nghiệm và các hệ mô phỏng lò phản ứng. Chương trình cũng đã sử dụng (với phạm vi nhỏ hơn) cho các phân tích hệ thống thủy nhiệt của lò phản ứng nước sôi.

RELAP5/MOD3.3 mô phỏng hệ thống hai pha 6 phương trình, không đồng nhất, không cân bằng. Sự có mặt của boron và khí không ngưng tụ cũng được mô tả bằng cách sử dụng các phương trình tách riêng cho mỗi loại. Chương trình có mô hình động học điểm để mô tả vận chuyển nơ tron. Các phương trình trường được kết hợp với mô hình động học điểm vì vậy cho phép mô tả sự liên hệ ngược giữa hệ thống thủy động và vận chuyển nơ tron. Chương trình có khả năng mô tả sự có mặt của các vật liệu tấm gần kề chất lỏng. Vì vậy mà có thể mô tả sự truyền năng lượng tới các tấm vật liệu đứng yên và ngược lại. Hệ thống điều khiển và các mô hình thành phần cho phép mô tả các thiết bị nhà máy (tua bin, bơm, bình ngưng) và biểu thị bằng sơ đồ rời rạc hóa các quá trình khác nhau (chẳng hạn, truyền nhiệt từ một thể tích này đến thể tích khác).

RELAP5 sử dụng mô hình dòng chảy hai pha và dẫn nhiệt một chiều, các thành phần chất lưu gồm có: hơi, nước, chất khí không ngưng tụ (nitrogen) và chất tan không bay hơi (boron). Vì vậy mà các phương trình đưa ra ở đây gồm có các phương trình được viết cho dòng hai pha (hai chất lưu) một chiều gồm có 8 phương trình cho 8 biến phụ thuộc cơ bản. Các phương trình đó là:

- Phương trình liên tục (bảo toàn khối lượng)
- Phương trình bảo toàn động lượng

- Phương trình bảo toàn năng lượng
- Phương trình cân bằng đối với khí không ngưng tụ
- Phương trình vận chuyển boron

Các biến phụ thuộc cơ bản gồm có:

- Áp suất (P)
- Nội năng riêng của từng pha (U_g, U_f) .
- Hệ số pha hơi (hệ số rỗng-phần rỗng) α_g
- Vận tốc của từng pha (v_g, v_f)
- Đặc trưng của khí không ngưng tụ (X_n)
- Mật độ bo (ρ_b).

Đối với một hệ thống thủy nhiệt, diễn biến của các thuộc tính động học nhiệt theo thời gian phản ánh trạng thái của hệ và như vậy cần phải giải các phương trình phản ánh bản chất vật lý của hệ để tính được các tham số động học nhiệt và các tham số khác liên quan của hệ. RELAP5 và các chương trình phân tích an toàn tất định khác đều tiếp cận việc giải các tham số động học nhiệt của hệ dựa trên các phương trình bảo toàn trong một thể tích cho trước – được gọi là thể tích kiểm soát.

Trong động học nhiệt, thể tích kiểm soát được xác định là vùng cố định trong không gian đang nghiên cứu về khối lượng và năng lượng đi qua biên của vùng này. Khái niệm về thể tích kiểm soát rất hữu ích trong việc phân tích các bài toán dòng chất lưu. Biên của thể tích kiểm soát đối với dòng chất lưu thường lấy là biên vật lý của một phần nào đấy mà dòng chảy qua đó. Khái niệm thể tích kiểm soát được dùng trong các ứng dụng động học nhiệt, ứng dụng tính liên tục, momentum và các nguyên lý năng lượng đã nêu. Một khi thể tích kiểm soát và biên của nó được thiết lập, các dạng khác nhau của năng lượng đi qua biên cùng với chất lưu sẽ phải tuân theo các dạng phương trình để giải bài toán chất lưu. Do bài toán dòng chất lưu thường được xử lý chất lưu đi qua biên của thể tích kiểm soát, tiếp cận thể tích kiểm soát được xem là phân tích hệ “mở” tương tự với những khái niệm trong động học nhiệt. Có một vài trường hợp đặc biệt trong lĩnh vực hạt nhân khi mà chất lưu không đi qua biên kiểm soát. Những trường hợp này được nghiên cứu theo cách tiếp cận hệ “đóng”. Khi xem bản chất của dòng chảy, tất cả tình huống dòng chảy phải được tìm ra để thiết lập các định luật cơ bản có thể biểu diễn ở dạng phương trình. Bảo toàn khối lượng và bảo toàn năng lượng luôn luôn thỏa mãn trong các bài toán chất lưu cùng với định luật

Newton về chuyển động. Ngoài ra mỗi bài toán sẽ có các ràng buộc vật lý, được hiểu về mặt toán học là điều kiện biên, mà nó phải thỏa mãn để lời giải của bài toán phù hợp với các kết quả vật lý.

III. Các thực nghiệm SET và IET

3.1. Các bài toán phân tích chuẩn quốc tế (ISP)

Các chương trình tính toán phân tích hệ thống thủy nhiệt ước lượng tốt nhất (BE) được áp dụng rộng rãi trong các phân tích an toàn và cấp phép cho các nhà máy điện hạt nhân cũng như trong thiết kế các lò phản ứng hạt nhân tiên tiến.. Việc đánh giá các khả năng và tính khả dụng của các chương trình này vì vậy trở nên rất quan trọng. Công việc này thường đòi hỏi việc tiến hành các so sánh giữa các kết quả tính toán và các số liệu thực nghiệm thu được trên các thiết bị thực nghiệm khác nhau với quy mô và các điều kiện thí nghiệm khác nhau. Ủy ban về an toàn các thiết bị hạt nhân CSNI (Committee on the Safety of Nuclear Installations) thuộc OECD/NEA nơi tập hợp hầu hết các quốc gia phát triển và vận hành nhiều nhà máy điện hạt nhân nhất trên thế giới, là tổ chức đi đầu trong việc đề xuất và trợ giúp các nghiên cứu về an toàn hạt nhân, trong hơn 30 năm qua đã hỗ trợ và đề xuất hơn 50 bài toán chuẩn quốc tế (international standard problems - ISPs).

Bài toán chuẩn quốc tế đầu tiên được đề xuất năm 1975 dựa trên thực nghiệm nổi tiếng về ống xả Edwards (“Edwards blowdown pipe” experiment). Các bài toán chuẩn quốc tế (ISP) được thực hiện trong nhiều lĩnh vực khác nhau như các tính chất nhiệt thủy động khác nhau bên trong thùng lò phản ứng, các tính chất của nhiên liệu hạt nhân dưới các điều kiện tai nạn, sự phát thải và lan truyền các sản phẩm phân hạch, tương tác giữa bức xạ từ lò phản ứng với bê tông bảo vệ, phân bố và pha trộn khí hidro, các tính chất nhiệt động của nhà chứa lò phản ứng .v.v.. Vào khoảng 60% các bài toán ISP liên quan đến tính chất nhiệt thủy động.

Mục tiêu chính của các bài toán ISP là nhằm nâng cao và củng cố sự tin tưởng vào tính chính xác của việc áp dụng các công cụ khác nhau trong đánh giá an toàn của các thiết bị hạt nhân, đặc biệt là nhà máy điện hạt nhân. Những công cụ này có thể có những thay đổi, cập nhật khác nhau ở những nước khác nhau và điều đặc biệt là các công cụ này rất phức tạp. Vì vậy, các bài toán ISP được đề xuất còn nhằm xây dựng và đạt được sự nhận thức và hiểu biết chung cũng như sự phán xét chung về năng lực của các công cụ cũng như năng lực của người sử dụng trên cơ sở quốc tế chung.

Thực vậy, trong các tiên đoán thu được từ các bài toán ISP với việc áp dụng các công cụ tính toán khác nhau cho cùng một đối tượng vật lý cụ thể giúp cho việc có

thể so sánh các kết quả phân tích và các kết quả thực nghiệm làm cơ sở để nâng cao năng lực phân tích của người sử dụng cũng như việc tiến hành các hiệu chỉnh cần thiết cho các công cụ tính toán và đề xuất các điều kiện thực nghiệm hoặc mô hình thực nghiệm.

Trong khi việc đánh giá nhằm phát triển và hoàn thiện các công cụ phân tích vẫn thuộc về các cơ sở phát triển công cụ tính toán, các bài toán ISP có thể được xem như một hoạt động bổ sung, thông qua việc phân tích và đánh giá của các chuyên gia từ nhiều lĩnh vực khác nhau như những người phát triển các công cụ tính toán, đặc biệt là các tính toán được thực hiện trong một phạm vi rộng bao gồm các kịch bản vật lý-thủy nhiệt khác nhau cũng như các giá trị của các thông số khác nhau sẽ góp phần cho việc phát triển và hoàn thiện công cụ tính toán.

Tóm lại, các mục tiêu của các bài toán ISP có thể được tóm tắt như sau:

- (i) Đóng góp cho việc hiểu biết tốt hơn các sự kiện giả định,
- (ii) So sánh và đánh giá khả năng của các công cụ tính toán (chủ yếu là các chương trình ước lượng tốt nhất – BE code)
- (iii) Đề nghị những cải tiến cần thiết cho người phát triển chương trình
- (iv) Nâng cao và hoàn thiện năng lực sử dụng công cụ tính toán của người sử dụng;
- (v) Đánh giá và nhận xét về các hiệu ứng như hiệu ứng tỷ lệ (scaling effect) hay hiệu ứng người dùng (user effect).

Các bài toán ISP có thể được đề xuất dưới hai dạng: Dạng mở (open) và dạng kín (blind). Trong bài toán mở, những người tham gia được biết các kết quả chi tiết của thực nghiệm trước khi tiến hành các tính toán. Ngược lại, các kết quả được giữ kín cho đến khi người tham gia gửi các kết quả tính toán phân tích của mình để so sánh trong dạng bài toán đóng kín.

Các hiện tượng vật lý-thủy nhiệt xảy ra trong các điều kiện vận hành bình thường cũng như khi có sự cố trong các lò LWR là vô cùng phức tạp và thường rất khó mô hình hóa, đặc biệt là trong việc mô hình hóa dòng hỗn hợp hai pha (hơi và nước). Việc tiên đoán của các công cụ tính toán về các hiện tượng này cần phải có kiểm chứng và làm chính xác hóa nhờ các thực nghiệm. Đối với việc phát triển các công cụ tính toán, có rất nhiều hiệu ứng và nhiều thách thức cho người phát triển chương trình như các dòng nhiều chiều trong các hình học phức tạp trong đó các thực

thực nghiệm cỡ lớn (large scale) sẽ đóng vai trò quan trọng để khẳng định tính chính xác của các tính toán.

3.2. Các thử nghiệm hiệu ứng riêng biệt (SET - Separate Effect Tests)

Được thiết kế để đánh giá chất lượng của các dự đoán thu được từ các mô hình vật lý cụ thể. Các thực nghiệm này cung cấp các thông tin về :

- Tính thích hợp của mô hình mô tả hiện tượng vật lý quan tâm.
- Độ chính xác của mô hình có thể cho các kết quả gần với các phép đo thực nghiệm.
- Thiết lập khoảng giá trị của các thông số vật lý liên quan cho việc áp dụng các mô hình.

Ưu điểm của các thực nghiệm này là :

- Tập trung vào một vài các quá trình vật lý.
- Các phép đo có thể bao trùm các vùng rộng của không gian trạng thái của mô hình.

Tuy nhiên, các thực nghiệm này cũng có những nhược điểm :

- Không mô tả đặc trưng của hệ thống.
- Các vấn đề tỷ lệ (Scaling) làm cho nó khó có thể ngoại suy các kết quả cho toàn bộ nhà máy.
- Các điều kiện lý tưởng làm cho nó khó có thể áp dụng các kết luận cho tính chất động của nhà máy thực.

3.3. Các thử nghiệm tích hợp (IET - Integral Effect Tests)

Được thiết kế để phân tích đặc tính của các hệ thống trong các điều kiện tai nạn khác nhau. Cung cấp các dữ liệu có giá trị cho việc đánh giá các chương trình tính toán hệ thống (RELAP, TRACE....).

Các thực nghiệm này có ưu điểm :

- Đề cập tới đặc trưng của hệ thống phức tạp.
- Có thể xem xét một cách chi tiết các đặc trưng của hệ thống tích hợp đối với các kịch bản tai nạn.
- Rất hữu ích cho việc khảo sát các quy trình giảm thiểu tai nạn.
- Và các nhược điểm :

- Vấn đề tỷ lệ (Scaling) làm cho khó có thể ngoại suy các kết quả cho đặc trưng của nhà máy thực.
- Khó có thể cô lập các quá trình vật lý để đánh giá ảnh hưởng của các mô hình vật lý của các chương trình tính toán khác nhau

Nhiều thiết bị thực nghiệm IET cũng như SET đã được xây dựng và vận hành từ những năm 1960, cung cấp lượng dữ liệu lớn hữu ích về các đặc trưng của các lò phản ứng nước nhẹ trong các điều kiện tai nạn hay sự cố chuyển tiếp khác nhau. Các thực nghiệm điển hình như Semiscale, LOFT (Loss-of-Fluid-Test), FLECHT (Full-Length Emergency Cooling Heat Transfer Tests), TLTA (Two Loop Test Apparatus) ở Hoa Kỳ; LSTF (Large-Scale Test Facility), CCTF (Cylindrical Core Test Facility), ROSA (Rig of Safety Assessment) và SCTF (Slab Core Test Facility) ở Nhật Bản; UPTF (Upper Plenum Test Facility) và PKL ở Đức; BETHSY ở Pháp .v.v.

Nhiều công ty trong lĩnh vực phát triển thiết kế, xây dựng, vận hành các nhà máy điện hạt nhân cũng như các cơ sở nghiên cứu, các cơ quan pháp quy và các tổ chức quốc tế đã phát triển các công cụ phần mềm tính toán phân tích an toàn thủy nhiệt nhằm tăng cường việc đảm bảo an toàn hạt nhân. Các phần mềm điển hình như FLASH, RELAP, TRAC, COBRA-TRAC, RETRAN, ATHLET, CATHARE, CATHENA và APROS.

IV. Phân tích hệ thống thủy nhiệt trong RELAP5

4.1 Thể tích kiểm soát và các phương trình bảo toàn

Đối với một hệ thống thủy nhiệt, diễn biến của các tính chất nhiệt động theo thời gian phản ánh trạng thái của hệ và cần phải giải các phương trình mô phỏng các tính chất vật lý-thủy nhiệt của hệ để tính được các tham số vận hành của hệ thống. RELAP5 và các chương trình phân tích an toàn tất định khác đều tiếp cận việc giải các tham số nhiệt động của hệ dựa trên các phương trình bảo toàn cho yếu tố thể tích – được gọi là thể tích kiểm soát.

Trong hệ thủy nhiệt, thể tích kiểm soát được xác định là vùng cố định trong không gian đang nghiên cứu và việc phân chia các yếu tố thể tích này được gọi là nút hóa hệ thống trong đó mỗi nút là một yếu tố thể tích. Khái niệm về thể tích kiểm soát rất hữu ích trong việc phân tích các bài toán dòng chất lưu. Khi thể tích kiểm soát và biên của nó được thiết lập, các dạng khác nhau của năng lượng đi qua biên cùng với chất lưu sẽ phải tuân theo các dạng phương trình để giải bài toán chất lưu. Do bài toán dòng chất lưu thường xử lý chất lưu đi qua biên của thể tích kiểm soát, tiếp cận thể tích kiểm soát được xem là phân tích hệ “mở” tương tự với những khái niệm trong nhiệt động học. Bảo toàn khối lượng và bảo toàn năng lượng luôn luôn thỏa mãn trong

Chương trình RELAP5

các bài toán chất lưu cùng với định luật Newton về chuyển động (bảo toàn động lượng). Ngoài ra mỗi bài toán sẽ có các ràng buộc vật lý, được hiểu về mặt toán học là điều kiện biên, mà nó phải thỏa mãn để lời giải của bài toán phù hợp với các kết quả vật lý.

RELAP5 sử dụng mô hình dòng chảy hai pha và dẫn nhiệt một chiều, các thành phần chất lưu gồm có: hơi, nước, chất khí không ngưng tụ (nitrogen) và chất tan không bay hơi (boron). Vì vậy mà các phương trình đưa ra gồm có các phương trình được viết cho dòng hai pha (hai chất lưu) một chiều gồm có 8 phương trình cho 8 biến phụ thuộc cơ bản. Các phương trình đó là:

- Phương trình liên tục (bảo toàn khối lượng)
- Phương trình bảo toàn động lượng
- Phương trình bảo toàn năng lượng
- Phương trình cân bằng đối với khí không ngưng tụ
- Phương trình vận chuyển boron
- Các biến phụ thuộc cơ bản gồm có:
 - Áp suất (P)
 - Nội năng riêng của từng pha (U_g, U_f) .
 - Hệ số pha hơi (hệ số rỗng-phần rỗng) α_g
 - Vận tốc của từng pha (v_g, v_f)
 - Đặc trưng của khí không ngưng tụ (X_n)
 - Mật độ bọt (ρ_b).

Đặc trưng của khí không ngưng tụ được định nghĩa là tỉ số giữa khối lượng khí không ngưng tụ và tổng khối lượng của pha khí:

$$X_n = \frac{M_n}{M_n + M_s} \quad (4.1)$$

Trong đó:

M_n là khối lượng của khí không ngưng trong pha khí.

M_s là khối lượng của hơi trong pha ở thể khí.

Các biến độc lập : Thời gian (t), khoảng cách (x).

Các biến phụ thuộc thứ cấp được sử dụng trong các phương trình bao gồm các mật độ pha (ρ_g, ρ_f); nhiệt độ của các pha T_g, T_f , nhiệt độ bão hòa T^s

Hệ số khối lượng của khí không ngưng tụ thứ i có chứa trong pha khí (X_{ni})

$$X_{ni} = \frac{M_{ni}}{\sum_{i=1}^n M_{ni}} = \frac{M_{ni}}{M_n} \quad (4.2)$$

Trong đó:

M_{ni} là khối lượng của khí không ngưng tụ thứ i trong pha khí

M_n là tổng khối lượng của khí không ngưng tụ trong pha khí

N là số khí không ngưng tụ có trong pha khí

Trước hết các phương trình được biểu diễn ở dạng vi phân một chiều cho trường hợp hệ thống gồm có một thành phần (tức là chưa xét đến sự có mặt của khí không ngưng tụ và chất tan không bay hơi). Sau đó sẽ có những hiệu chỉnh cần thiết để xét đến sự có mặt của hai loại này. Khí không ngưng tụ được xem như là một thành phần của pha khí còn boron được xem như là thành phần chất tan của pha lỏng.

4.2. Phương trình liên tục (bảo toàn khối lượng)

Phương trình liên tục đối với từng pha có dạng

$$\frac{\partial}{\partial t}(\alpha_g \rho_g) + \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial x}(\alpha_g \rho_g v_g A) = \Gamma_g \quad (4.3)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\alpha_f \rho_f) + \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial x}(\alpha_f \rho_f v_f A) = \Gamma_f \quad (4.4)$$

Điều kiện nhảy: $\Gamma_f = -\Gamma_g$. Nói chung, dòng chảy không bao gồm nguồn khối lượng vào và ra, do vậy tính liên tục biểu diễn với số hạng sinh pha lỏng bằng số hạng sinh pha hơi nhưng ngược dấu.

Sự truyền khối lượng tại bề mặt tiếp xúc được chia thành 2 thành phần: Truyền khối lượng tại bề mặt tiếp xúc bên trong khối chất lỏng (Γ_{ig}) và truyền khối lượng tại bề mặt phân giới trong lớp biên gần các thành (Γ_w).

Mô hình truyền khối lượng ở phần giao tiếp giả định rằng việc truyền khối lượng tổng cộng được chia thành truyền khối lượng pha hơi và lỏng ở mặt giao tiếp với chất lỏng (Γ_{ig}) và truyền pha hơi và lỏng ở biên gần thành ống (Γ_w)

$$\Gamma_g = \Gamma_{ig} + \Gamma_w \quad (4.5)$$

4.3. Phương trình bảo toàn động lượng

Cân bằng động lượng đối với pha hơi

$$\begin{aligned} \alpha_g \rho_g A \frac{\partial v_g}{\partial t} + \frac{1}{2} \alpha_g \rho_g A \frac{\partial v_g^2}{\partial x} = & -\alpha_g A \frac{\partial P}{\partial x} + \alpha_g \rho_g B_x A - (\alpha_g \rho_g A) FWG(v_g) + \Gamma_g A (v_{gl} - v_g) \\ & - (\alpha_g \rho_g A) FIG(v_g - v_f) - C \alpha_g \alpha_f \rho_m A \left[\frac{\partial (v_g - v_f)}{\partial t} + v_f \frac{\partial v_g}{\partial x} - v_g \frac{\partial v_f}{\partial x} \right] \end{aligned} \quad (4.6)$$

Cân bằng động lượng cho pha lỏng

$$\begin{aligned} \alpha_f \rho_f A \frac{\partial v_f}{\partial t} + \frac{1}{2} \alpha_f \rho_f A \frac{\partial v_f^2}{\partial x} = & -\alpha_f A \frac{\partial P}{\partial x} + \alpha_f \rho_f B_x A - (\alpha_f \rho_f A) FWF(v_f) - \Gamma_f A (v_{fl} - v_f) \\ & - (\alpha_f \rho_f A) FIF(v_f - v_g) - C \alpha_f \alpha_g \rho_m A \left[\frac{\partial (v_f - v_g)}{\partial t} + v_g \frac{\partial v_f}{\partial x} - v_f \frac{\partial v_g}{\partial x} \right] \end{aligned} \quad (4.7)$$

Ý nghĩa của các số hạng ở vế phải của phương trình (6.6) và (6.7) bao gồm :

- Gradient áp suất
- Lực khối (gồm: trọng lực và cột áp của bơm),
- Ma sát thành
- Sự truyền động lượng do sự truyền khối lượng ở mặt giao tiếp
- Lực cản do ma sát mặt giao tiếp
- Các lực do khối lượng ảo

Các số hạng FWG và FWF là một phần của lực cản do ma sát thành ống mà nó biến đổi tuyến tính theo vận tốc và bằng tích của hệ số ma sát, diện tích tham chiếu ma sát trên một đơn vị thể tích và độ lớn của vận tốc khối chất lỏng. Vận tốc giao tiếp trong số hạng truyền mô men phân giao tiếp là mô men đơn vị với sự xuất hiện hay mất đi của pha.

Các hệ số FIG và FIF là một phần của lực ma sát do ma sát mặt tiếp xúc sử dụng hai mô hình khác nhau (thông lượng lệch và hệ số kéo) phụ thuộc vào chế độ dòng. Hệ số của khối lượng ảo C phụ thuộc vào chế độ dòng chảy. Ví dụ đối với dòng sủi bọt và phân tán $C > 1/2$ còn đối với dòng phân tầng và tách biệt $C=0$, ngoài ra $C > 1/2$ dùng cho mọi chế độ dòng.

Sự bảo toàn của động lượng tại bề mặt tiếp xúc đòi hỏi rằng các số hạng liên quan liên quan đến sự trao đổi khối lượng và động lượng tại bề mặt tiếp xúc có tổng tiến tới 0

$$\begin{aligned} \Gamma_g A v_{gl} - (\alpha_g \rho_g A) FIG(v_g - v_f) - C \alpha_g \alpha_f \rho_m A \left[\frac{\partial (v_g - v_f)}{\partial t} \right] \\ - \Gamma_g A v_{fl} - (\alpha_f \rho_f A) FIF(v_f - v_g) - C \alpha_f \alpha_g \rho_m A \left[\frac{\partial (v_f - v_g)}{\partial t} \right] = 0 \end{aligned} \quad (4.8)$$

Dạng đặc biệt này đối với cân bằng mô men động lượng ở phần giao tiếp suy ra từ việc nghiên cứu các phương trình mô men động lượng dạng không mở rộng. Các số hạng lực gắn liền với gia tốc khối lượng ảo có tổng bằng 0 là do việc chọn dạng đặc biệt này. Thêm nữa, thường giả thiết sự truyền mô men động lượng phần giao tiếp là do ma sát và do truyền khối lượng độc lập có tổng bằng 0, do vậy:

$$v_{gI} = v_{fI} = v_I \quad (4.9)$$

$$\alpha_g \rho_g FIG = \alpha_f \rho_f FIF = \alpha_g \alpha_f \rho_g \rho_f FI \quad (4.10)$$

Những giả thiết này đủ để đảm bảo cho phương trình (6.10) được thỏa mãn.

4.4. Phương trình bảo toàn năng lượng

Phương trình năng lượng nhiệt cho từng pha:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\alpha_g \rho_g U_g) + \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial x}(\alpha_g \rho_g v_g A) = -P \frac{\partial \alpha_g}{\partial t} - \frac{P}{A} \frac{\partial}{\partial x}(\alpha_g v_g A) \\ + Q_{wg} + Q_{ig} + \Gamma_{ig} h_g^* + \Gamma_w h'_g + DISS_g \end{aligned} \quad (4.11)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\alpha_f \rho_f U_f) + \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial x}(\alpha_f \rho_f v_f A) = -P \frac{\partial \alpha_f}{\partial t} - \frac{P}{A} \frac{\partial}{\partial x}(\alpha_f v_f A) \\ + Q_{wf} + Q_{if} + \Gamma_{if} h_f^* + \Gamma_w h'_f + DISS_f \end{aligned} \quad (4.12)$$

Trong phương trình năng lượng nhiệt cho từng pha Q_{wg} và Q_{wf} là tốc độ truyền nhiệt ở thành của từng pha trên một đơn vị thể tích và chúng thỏa mãn phương trình

$$Q = Q_{wg} + Q_{wf} \quad (4.13)$$

Trong đó Q là tổng tốc độ truyền nhiệt tại thành trên một đơn vị thể tích. Enthalpy của từng pha h_g^* , h_f^* liên quan đến sự truyền khối lượng ở bề mặt tiếp xúc trong khối chất lỏng trong phương trình (4.11) và (4.12) được xác định sao cho các điều kiện nhảy năng lượng ở mặt phân cách giữa chất lỏng và hơi được thỏa mãn. Cụ thể:

- Đối với trường hợp bay hơi: $h_g^* = h_g^s$ và $h_f^* = h_s$
- Đối với trường hợp ngưng tụ: $h_g^* = h_g$, $h_f^* = h_g^s$.

Tương tự đối với enthalpy h'_g , h'_f liên quan tới sự truyền khối lượng tại thành (lớp biên nhiệt)

Sự hình thành hơi (sự ngưng tụ) gồm có 2 phần: Sinh hơi do sự trao đổi năng lượng năng lượng (Γ_{ig}) và sự hình thành hơi do ảnh hưởng của sự truyền nhiệt ở thành Γ_w . Mỗi quá trình hình thành hơi (ngưng tụ) liên quan đến ảnh hưởng của sự truyền

nhệt qua bề mặt tiếp xúc chung. Các số hạng truyền nhiệt bề mặt tiếp xúc chung (Q_{ig}) và Q_{if} xuất hiện trong phương trình (4.11) và (4.12) gồm có sự truyền nhiệt từ các trạng thái lỏng tới bề mặt tiếp xúc chung do sự trao đổi năng lượng tại bề mặt tiếp xúc trong khối chất lỏng và trong lớp biên nhiệt gần với thành. Tốc độ tạo thành hơi (hoặc ngưng tụ) thu được từ việc xem xét cân bằng năng lượng tại bề mặt tiếp xúc.

Lấy tổng 2 phương trình (4.11) và phương trình (4.12) thu được phương trình năng lượng hỗn hợp mà từ đó thỏa mãn rằng các số hạng truyền phân giao tiếp có tổng bằng 0.

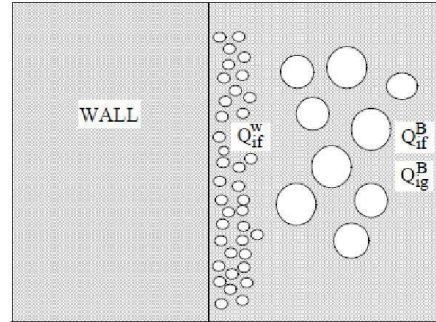
$$Q_{ig} + Q_{if} + \Gamma_{ig}(h_g^* - h_f^*) + \Gamma_w(h_g' - h_f') = 0 \quad (4.14)$$

Các số hạng truyền nhiệt ở bề mặt tiếp xúc (Q_{ig} và Q_{if}) gồm có 2 phần: Truyền nhiệt ở bề mặt tiếp xúc chung trong khối chất lỏng và truyền nhiệt ở bề mặt tiếp xúc trong lớp biên nhiệt gần thành Q_{ig}^w và Q_{if}^w . Cụ thể

$$Q_{ig} = Q_{if}^B + Q_{if}^W \quad (4.15)$$

$$Q_{if} = Q_{ig}^B + Q_{ig}^W \quad (4.16)$$

Sự truyền nhiệt tại bề mặt tiếp xúc trong khối chất lỏng có nghĩa là truyền nhiệt ở bề mặt tiếp xúc giữa hơi và chất lỏng trong khối chất lỏng. Sự truyền nhiệt này biểu diễn sự trao đổi năng lượng nhiệt giữa mặt giao tiếp chất lỏng (ở nhiệt độ bão hòa T^s tương ứng với áp suất tổng cộng P) và trạng thái khối chất lỏng.



Hình 4. 1 Truyền nhiệt trong dòng hai pha

Đối với chất khí, nhiệt ở bề mặt tiếp xúc chung trong khối chất lỏng được cho bởi công thức:

$$Q_{ig}^B = H_{ig}(T^s - T_g) \quad (4.17)$$

Trong đó H_{ig} là hệ số truyền nhiệt ở bề mặt tiếp xúc của khí trên một đơn vị thể tích, T_g là nhiệt độ khí

Đối với chất lỏng, nhiệt truyền trên toàn bộ bề mặt tiếp xúc được cho bởi công thức:

$$Q_{if}^B = H_{if}(T^s - T_f) \quad (4.18)$$

Trong đó :

H_{if} là hệ số truyền nhiệt ở bề mặt tiếp xúc của chất lỏng trên một đơn vị thể tích, T_f là nhiệt độ của chất lỏng.

Q_{ig}^w và Q_{if}^w là tốc độ truyền nhiệt bề mặt tiếp xúc ở gần thành và được xác định thông qua quá trình hình thành hơi (hoặc ngưng tụ) ở thành.

Thế phương trình (4.17) và phương trình (4.18) vào phương trình (4.15) ta được:

$$Q_{ig} = H_{ig}(T^s - T_g) + Q_{ig}^w \quad (4.19)$$

và
$$Q_{if} = H_{if}(T^s - T_f) + Q_{if}^w \quad (4.20)$$

Giả thiết phương trình (6.14) được thỏa mãn bởi yêu cầu tổng của các số hạng trao đổi năng lượng tiếp xúc trong khối chất lỏng và tổng của các số hạng trao đổi năng lượng bề mặt tiếp xúc ở gần thành phải tiến tới 0 một cách độc lập, tức là:

$$H_{ig}(T^s - T_g) + H_{if}(T^s - T_f) + \Gamma_{ig}(h_g^* - h_f^*) = 0 \quad (4.21)$$

Và

$$Q_{ig}^w + Q_{if}^w + \Gamma_w(h_g' - h_f') = 0 \quad (4.22)$$

Thêm vào đó, vì nó được giả thiết rằng hơi xuất hiện ở trạng thái bão hòa, nó cho phép rằng $Q_{ig}^w = 0$ cho quá trình sôi trong lớp biên gần thành. Phương trình (4.22) sau đó có thể được sử dụng để giải cho tốc độ bay hơi tại bề mặt tiếp xúc lớp biên.

$$\Gamma_w = \frac{-Q_{if}^w}{h_g' - h_f'} \quad (4.23)$$

Tương tự, vì giả thiết rằng chất lỏng xuất hiện ở trạng thái bão hòa cho phép rằng $Q_{if}^w = 0$ cho quá trình ngưng tụ trong lớp biên ở gần thành. Phương trình (4.22) cũng có thể sử dụng để giải cho tốc độ ngưng tụ bề mặt tiếp xúc trong lớp biên gần các thành

$$\Gamma_w = \frac{-Q_{ig}^w}{h_g' - h_f'} \quad (4.24)$$

Giải phương trình (4.23) và phương trình (4.24) cho Q_{if}'' và Q_{ig}'' và thế những số hạng này vào phương trình (4.29) và phương trình (4.20), các số hạng năng lượng truyền ở bề mặt tiếp xúc Q_{ig} và Q_{if} vì vậy có thể được biểu diễn dưới dạng:

$$Q_{ig} = H_{ig}(T^s - T_g) - \left(\frac{1-\varepsilon}{2}\right) \Gamma_w (h'_g - h'_f) \quad (4.25)$$

Và

$$Q_{if} = H_{if}(T^s - T_f) - \left(\frac{1-\varepsilon}{2}\right) \Gamma_w (h'_g - h'_f) \quad (6.26)$$

Trong đó $\varepsilon = 1$ khi lớp biên ở gần thành sôi hoặc có sự ngưng tụ

Cuối cùng phương trình (46.24) có thể được sử dụng để giải cho tốc độ bay hơi (ngưng tụ) trong khối chất lỏng.

$$\Gamma_{ig} = -\frac{Q_{ig} + Q_{if}}{h_g^* - h_f^*} - \Gamma_w \frac{(h'_g - h'_f)}{h_g^* - h_f^*} \quad (4.27)$$

Thế vào phương trình (6.25) và phương trình (4.26)

$$\Gamma_{ig} = \frac{H_{ig}(T^s - T_g) + H_{if}(T^s - T_f)}{h_g^* - h_f^*} \quad (4.28)$$

Quá trình thay đổi pha này xuất hiện tại bề mặt tiếp xúc được hình dung như là quá trình trong khối chất lỏng được đốt nóng hoặc làm lạnh tới nhiệt độ bão hòa và sự thay đổi pha xuất hiện ở trạng thái bão hòa. Quá trình trao đổi năng lượng bề mặt từ một pha phải thỏa mãn ít nhất sự chuyển đổi năng lượng cần đạt đến trạng thái bão hòa. Nói cách khác, có thể chỉ ra rằng quá trình thay đổi pha dẫn đến năng lượng truyền từ nhiệt độ thấp hơn tới nhiệt độ cao hơn. Những điều kiện như vậy có thể được tránh bởi sự lựa chọn phù hợp của các biến h_g^* và h_f^* đối cho khối lượng truyền ở bề mặt tiếp xúc trong khối chất lỏng cũng như h'_g và h'_f cho khối lượng truyền ở bề mặt tiếp xúc ở gần thành. Cụ thể có thể biểu diễn h_g^* và h_f^* như sau:

$$h_g^* = \frac{1}{2} \left[(h_g^s + h_g) + \eta (h_g^s - h_g) \right] \quad (4.29)$$

Và

$$h_f^* = \frac{1}{2} \left[(h_f^s + h_f) + \eta (h_f^s - h_f) \right] \quad (4.30)$$

Trong đó $\eta = 1$ đối với $\Gamma_{ig} \geq 0$

Đối với các trường hợp nhiệt tăng từ từ hay đẳng nhiệt, $\eta = 1$, $h_f^* = h_f$, $h_g^* = h_g^s$

Đối với trường hợp ngưng tụ, $\eta = 1$, $h_f^* = h_f^s$, $h_g^* = h_g$

Ta cũng có thể biểu diễn h'_g và h'_f như sau

$$h'_g = \frac{1}{2} \left[(h_g^s + h_g) + \varepsilon (h_g^s - h_g) \right] \quad (4.31)$$

$$\text{Và} \quad h'_f = \frac{1}{2} \left[(h_f^s + h_f) + \varepsilon (h_f^s - h_f) \right] \quad (6.32)$$

Trong đó $\varepsilon = 1$ đối với $\Gamma_w \geq 0$, $\varepsilon = -1$ đối với $\Gamma_w < 0$

Đối với các trường hợp nhiệt tăng từ từ hay đẳng nhiệt

$$\Gamma_w \geq 0, h'_f = h, h'_g = h_g^s$$

Đối với trường hợp ngưng tụ, $\Gamma_w < 0$, $h'_f = h_f^s$, $h'_g = hg$

Thế phương trình (4.28) vào phương trình (4.23) đưa ra được biểu thức cuối cùng cho tổng khối lượng truyền ở bề mặt tiếp xúc:

$$\Gamma_g = - \frac{H_{ig}(T^s - T_g) + H_{if}(T^s - T_f)}{h_g^* - h_f^*} + \Gamma_w \quad (4.33)$$

Các số hạng hao tán năng lượng pha $DISS_g$, $DISS_f$ là tổng của ma sát thành ống và hiệu ứng bơm. Sự hao tán là do sự truyền khối lượng bề mặt ở bề mặt tiếp xúc, ma sát ở bề mặt tiếp xúc và khối lượng ảo được bỏ qua. Đây là những giả thiết hợp lý vì những số hạng này có giá trị rất nhỏ trong phương trình năng lượng. Trong phương trình động lượng và khối lượng bao gồm các đại lượng như sự truyền khối lượng ở bề mặt tiếp xúc, ma sát ở bề mặt tiếp xúc và thông số khối lượng ảo (virtual mass). Sự hao tán ma sát ở thành được định nghĩa là:

$$DISS_g = \alpha_g \rho_g FWGv_g^2 \quad (4.34)$$

$$DISS_f = \alpha_f \rho_f FWGv_f^2 \quad (4.35)$$

Các số hạng hao tán năng lượng của từng pha thỏa mãn biểu thức

$$DISS = DISS_g + DISS_f \quad (4.36)$$

Trong đó $DISS$ là năng lượng hao tán.

4.5. Các khí không ngưng tụ trong pha khí

Mô hình cơ bản hai pha một thành phần vừa được trình bày ở trên có thể được mở rộng bao gồm cả thành phần khí không ngưng tụ trong pha khí. Thành phần khí không ngưng tụ được giả thiết di chuyển với vận tốc và nhiệt độ bằng với pha khí đó là

$$v_n = v_g \quad (4.37)$$

$$\text{và} \quad T_n = T_g \quad (4.38)$$

Trong đó chỉ số dưới n dùng để kí hiệu cho thành phần khí không ngưng tụ. Các điều kiện pha trộn hơi/khí không ngưng tụ có thể không thuần nhất và không cân bằng so với chất lỏng và sự bão hòa.

Cách tiếp cận tổng quát đối với trường hợp có chứa cả thành phần khí không ngưng tụ gồm có các giả thiết là hỗn hợp hơi/khí không ngưng tụ cũng có tính chất giống với tính chất của pha khí. Cần bổ sung phương trình bảo toàn khối lượng cho tổng các thành phần khí không ngưng tụ được cho bởi phương trình:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\alpha_g \rho_g X_n) + \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial x}(\alpha_g \rho_g X_n v_g A) = 0 \quad (4.39)$$

Trong đó X_n là tổng khối lượng của khí không ngưng tụ trong pha khí

$$X_n = \frac{\sum_{i=1}^N M_{ni}}{\sum_{i=1}^N M_{ni} + M_s} = \frac{M_n}{M_n + M_s} \quad (4.40)$$

Trong đó:

M_{ni} là khối lượng của khí không ngưng tụ thứ i

M_n : tổng khối lượng của khí không ngưng tụ trong pha khí

M_s : khối lượng của hơi trong pha khí

N: số khí không ngưng tụ

Đối với từng thành phần khí không ngưng tụ, phương trình bảo toàn khối lượng có dạng

$$\frac{\partial}{\partial t}(\alpha_g \rho_g X_n X_{ni}) + \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial x}(\alpha_g \rho_g X_n X_{ni} v_g A) = 0 \quad (4.41)$$

Trong đó X_{ni} được định nghĩa trong phương trình (4.2). Chỉ có N-1 phương trình cho khí không ngưng tụ cần được giải vì hệ số khối lượng của loại khí không ngưng tụ thứ N có thể tìm do sự chênh lệch của tổng hệ số khối lượng khí không ngưng tụ và tổng hệ số khối lượng của N-1 loại khí không ngưng tụ.

Các phương trình năng lượng được sửa đổi để bao hàm số hạng gia nhiệt bề mặt Q_{gf} . Số hạng này cần thiết vì các số hạng giao tiếp sử dụng nhiệt độ bão hòa dựa trên áp suất riêng của khối hơi chứ không phải nhiệt độ bão hòa dựa trên áp suất riêng của hơi tại mặt giao tiếp. Đây là một tình huống trong đó giả định không có gradient theo chiều ngang trong công thức một chiều của phương trình bảo toàn cần được bổ sung bởi mô hình đặc biệt. các phương trình trường do vậy có dạng:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\alpha_g \rho_g U_g) + \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial x}(\alpha_g \rho_g U_g v_g A) = & -P \frac{\partial \alpha_g}{\partial t} - \frac{P}{A} \frac{\partial}{\partial x}(\alpha_g v_g A) \\ & + Q_{wg} + Q_{ig} + \Gamma_{ig} h_g^* + \Gamma_w h_g' - Q_{gf} + DISS_g \end{aligned} \quad (4.42)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\alpha_f \rho_f U_f) + \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial x}(\alpha_f \rho_f U_f v_f A) = -P \frac{\partial \alpha_f}{\partial t} - \frac{P}{A} \frac{\partial}{\partial x}(\alpha_f v_f A) \\ + Q_{wf} + Q_{if} - \Gamma_{ig} h_g^* - \Gamma_w h_g' + Q_{gf} + DISS_f \end{aligned} \quad (4.43)$$

Số hạng Q_{gf} trong phương trình (4.42) và (4.43) là tốc độ truyền nhiệt tường minh trên một đơn vị thể tích. Đây là sự truyền nhiệt ở mặt tiếp xúc giữa chất lỏng và khí không ngưng tụ và mô tả sự trao đổi năng lượng nhiệt giữa các trạng thái chất lỏng khối với nhau khi có mặt của khí không ngưng tụ. Số hạng này được đưa ra bởi công thức:

$$Q_{gf} = \frac{(P - P_s)}{P} H_{gf} (T_g - T_f) = \frac{P_n}{P} H_{gf} (T_g - T_f) \quad (4.44)$$

Trong đó H_{gf} là hệ số truyền nhiệt hiện trên một đơn vị thể tích. Sử dụng định luật Dalton $P = P_s + P_n$ trong đó P_n là áp suất riêng phần của khí không ngưng tụ.

Giá trị của hệ số truyền nhiệt phụ thuộc vào hình dạng của mặt tiếp xúc giữa chất lỏng và khí không ngưng tụ cũng giống như trường hợp đối với mặt tiếp xúc giữa hơi-chất lỏng.

Các số hạng biểu diễn sự truyền nhiệt và truyền năng lượng giữa hai mặt cũng được sửa đổi khi có mặt của khí không ngưng tụ.

Truyền nhiệt phân giao tiếp của khối khí (phương trình (4.17)) bây giờ có dạng:

$$Q_{ig}^B = \frac{P_s}{P} H_{ig} [T^s(P_s) - T_g] \quad (4.45)$$

Trong đó mặt tiếp xúc chất lỏng được giả thiết đạt tới nhiệt độ bão hòa ($T^s(P_s)$) tương ứng với áp suất riêng phần của hơi (P_s).

$$\frac{P_s}{P} H_{ig} (T^s(P_s) - T_g) + H_{if} (T^s(P_s) - T_f) + \Gamma_{ig} (h_g^* - h_g') = 0 \quad (4.46)$$

Vì vậy tổng lượng nhiệt truyền ở bề mặt tiếp xúc của khí là

$$Q_{ig} = \frac{P_s}{P} H_{ig} [T^s(P_s) - T_g] + Q_{ig}^w \quad (4.47)$$

Giả thiết rằng tổng của toàn bộ các số hạng thay đổi bề mặt tiếp xúc tiến tới 0 (phương trình (4.22)) có dạng:

$$Q_{ig} = \frac{P_s}{P} H_{ig} [T^s(P_s) - T_g] - \left[\frac{1 - \varepsilon}{2} \right] \Gamma_w (h_g' - h_f') \quad (4.48)$$

Tốc độ truyền khối lượng giao tiếp khối có dạng:

$$T_{ig} = - \frac{\frac{P_s}{P} H_{ig} [T^s(P_s) - T_g] + H_{if} [T^s(P_s) - T_f]}{h_g^* - h_f'} \quad (4.49)$$

Và tổng tốc độ truyền khối lượng ở mặt tiếp xúc có dạng:

$$T_g = -\frac{\frac{P_s}{P} H_{ig} [T^s(P_s) - T_g] + H_{if} [T^s(P_s) - T_f]}{h_g^* - h_f^*} + \Gamma_w \quad (4.50)$$

Enthalpy khí h_g^* được sử dụng trong phương trình trường năng lượng và trong sự truyền khối lượng T_g được dựa trên áp suất riêng phần của hơi thay cho áp suất tổng khí có mặt của khí không ngưng tụ. Trong tất cả các phương trình, các tính chất của hơi được ước lượng cho hỗn hợp hơi và khí không ngưng tụ.

4.6. Nồng độ Boron trong trường chất lỏng

Mô hình theo dõi Boron trong biểu diễn dạng Euler được sử dụng trong RELAP5 mô phỏng sự vận chuyển của thành phần hòa tan trong pha lỏng. Giải pháp được giả định để được pha loãng đầy đủ là cần có các giả thiết sau:

- Các tính chất của chất lỏng không bị thay đổi khi có mặt của chất hòa tan
- Các chất hòa tan được vận chuyển chỉ trong pha lỏng và bằng với vận tốc của chất lỏng
- Bỏ qua năng lượng được vận chuyển bởi chất hòa tan
- Bỏ qua quán tính của chất hòa tan

Với những giả thiết này chỉ cần thêm một phương trình trường cho sự bảo toàn của chất hòa tan có dạng

$$\frac{\partial \rho_b}{\partial t} + \frac{1}{A} \frac{\partial (\alpha_f \rho_f C_b v_f A)}{\partial x} = 0 \quad (4.51)$$

Trong đó

$$C_b = \frac{\rho_b}{\rho_m (1-X)} = \frac{\rho_b}{\alpha_f \rho_f} \text{ là nồng độ của boron (khối lượng của boron trên một}$$

đơn vị khối lượng).

ρ_b mật độ không gian của boron (khối lượng của boron trên thể tích của chất lỏng và khí)

X là lượng tĩnh (static quality).

V. Phân tích hệ thống thủy nhiệt sử dụng RELAP5

Để phân tích hệ thống thủy nhiệt sử dụng phần mềm RELAP5 việc phân tích được thực hiện theo các bước:

Thu thập và tổ chức thông tin xác định các điều kiện đầu và điều kiện biên. Những thông tin còn thiếu phải thu thập từ các nguồn như : nhà cung cấp, người sử dụng, hoặc các nhà tư vấn để hoàn tất những thông tin cần thiết cho chương trình. Việc mô tả bài toán và giải đều được ghi lại để làm thành tư liệu cho bài toán.

Đảm bảo độ tin cậy của mô hình. Kiểm tra một cách độc lập dữ liệu đưa vào, cách mô tả và lời giải cho bài toán. Việc kiểm tra này đảm bảo rằng các nguồn thông

tin được kiểm chứng, các đại lượng quan tâm được tính toán chính xác và các giả thiết của mô hình là hợp lý.

Chạy chương trình và phân tích bài toán. Chương trình chạy tới khi hoàn tất và nghiệm được phân tích. Tất cả quá trình phân tích, tìm kiếm và những chú ý được ghi lại trong việc mô tả và giải bài toán.

5.1. Thu thập và tổ chức thông tin

Về cơ bản, dữ liệu cần cho RELAP5 có thể được chia thành các phạm trù: Cấu hình thủy động của hệ thống tải nhiệt, cấu trúc nhiệt, hệ thống điều khiển và động học lò. Toàn bộ các yêu cầu đầu vào được liệt kê như dưới đây:

5.1.1. Thủy động

- Tất cả các diện tích dòng chảy
- Tất cả chiều dài dòng chảy
- Sự định hướng so với chiều thẳng đứng
- Chi tiết hình học (tính toán các yếu tố thể tích, đường kính thủy lực .v.v.)
- Độ nhám bề mặt vật liệu tại bề mặt tiếp xúc giữa chất lỏng và thành
- Các đặc trưng của bơm
- Các thông tin tính toán tổn thất áp suất, mất mát dòng (ví dụ chỗ uốn cong, các van, tốc độ dòng qua van)
- Các điều kiện đầu của nhà máy

5.1.2. Cấu trúc nhiệt

- Bề dày của vật liệu
- Khối lượng của vật liệu
- Chiều dài ống
- Đường kính trong và ngoài
- Dạng vật liệu
- Tính chất vật liệu như là một hàm của nhiệt độ (độ dẫn nhiệt, mật độ và nhiệt dung)
- Vị trí của nguồn nhiệt
- Sự phân bố nhiệt độ ban đầu

5.1.3. Hệ thống điều khiển

- Sơ đồ khối hệ thống điều khiển
- Nhận biết được mối quan hệ giữa những hệ thống điều khiển khác nhau và hệ thống thủy động hoặc cấu trúc nhiệt được điều khiển
- Các đặc trưng của bộ điều khiển
- Các đặc trưng của bộ lọc
- Các ngưỡng / điểm đặt (setpoint)

- Thu nhận
- Độ trễ của thiết bị
- Đặc trưng của các thiết bị điều khiển
- Tốc độ bơm lớn nhất/nhỏ nhất

5.1.4. Phân bố neutron

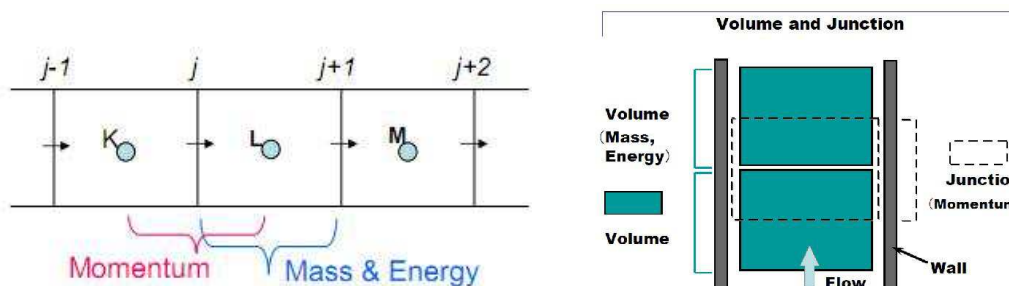
- Độ phản ứng ban đầu
- Dữ liệu về hệ số neutron được làm chậm
- Dữ liệu tỷ lệ neutron trễ
- Tỷ lệ sinh sản phần phân hạch
- Các đặc trưng của độ phản ứng

5.2. Xác định và rời rạc hóa mô hình bài toán

Sự biến đổi theo thời gian của các thuộc tính động học nhiệt phản ánh trạng thái của hệ thống thủy nhiệt. Các thuộc tính này hoàn toàn có thể được tính bằng việc giải các phương trình bảo toàn cho mỗi thể tích kiểm soát. Các thuộc tính này được chia thành thuộc tính động học nhiệt vô hướng (áp suất, nội năng, nhiệt độ, mật độ) và thuộc tính động học nhiệt vectơ (vận tốc). Trong mỗi thể tích kiểm soát các đại lượng này được xem là không đổi tức là trong mỗi thể tích kiểm soát nhiệt độ, áp suất là không đổi. Tuy nhiên các giá trị này lại là khác nhau ở các thể tích kiểm soát khác nhau. Khi đó giữa các thể tích kiểm soát có sự chênh lệch về áp suất và nhiệt độ tạo ra dòng chảy qua các biên của hai thể tích kiểm soát liền kề. Như vậy các thuộc tính động học nhiệt vô hướng được tính đến ở bên trong (ở tâm) của thể tích kiểm soát còn thuộc tính động học nhiệt có hướng được tính đến ở biên của thể tích kiểm soát.

Xuất phát từ điều này trong RELAP5 khi mô hình hóa hệ thống thủy nhiệt người ta sử dụng hai khái niệm thể tích kiểm soát (CV - Control Volume) và kết nối (Junction).

Sau khi thu thập tất cả những thông tin chính xác về hệ thống, bước tiếp theo là tách biệt những thành phần quan trọng của hệ thống cần được mô phỏng. Trong thực tế, người sử dụng phải vẽ đường biên xung quanh hệ thống cần được mô phỏng. Biên định xác định phạm vi của mô hình và mô hình gồm các thể tích kiểm soát. Thể tích kiểm soát được xác định tùy theo ý của người sử dụng Điều này đóng góp vào sự sai khác trong các phân tích gọi là hiệu ứng người sử dụng (user effect). Quá trình của việc tạo ra các thể tích kiểm soát được gọi là rời rạc hóa mô hình.



Hình 5.1. Các đại lượng có hướng và vô hướng trong thể tích và biên vào/ ra

Thông thường việc xác định biên của mô hình phụ thuộc vào dạng của bài toán được phân tích. Chẳng hạn, nếu chỉ quan tâm tới đặc trưng nhiệt trong vùng hoạt và các điều kiện tại lối vào và ra khỏi vùng hoạt như là một hàm của thời gian thì biên mô hình được xác định chỉ bao gồm vùng hoạt cùng với các đường vào và ra khỏi vùng hoạt. Một ví dụ khác nếu nghiên cứu toàn bộ hệ thống sơ cấp, mô hình là toàn bộ hệ sơ cấp cùng với một phần của hệ thống thứ cấp có ảnh hưởng tới hệ sơ cấp. Phạm vi của hệ thứ cấp được mô phỏng tùy thuộc vào bài toán. Ví dụ nếu phân tích sự cố LOCA mà dẫn đến các van đường hơi chính của hệ thống thứ cấp bị đóng sớm trong chuyển tiếp thì chỉ một phần của hệ thứ cấp từ phía trên của bình sinh hơi tới các van của đường hơi chính cần được mô phỏng. Theo một cách khác, nếu người sử dụng phân tích một sự kiện nhà máy liên quan đến sự tương tác ảnh hưởng lẫn nhau giữa những thành phần khác nhau của các thiết bị nhà máy ở trạng thái cân bằng (ví dụ như các tuabin, các bình sinh hơi, bơm nước cấp, bơm tăng áp...) thì các thiết bị nhà máy ở trạng thái cân bằng sẽ phải được đưa vào trong biên mô hình...

Sau khi xác định biên mô hình, bước tiếp theo là rời rạc hóa mô hình. Mỗi phần của chương trình phải được chia thành các thành phần riêng biệt. Mô hình được chia thành các thể tích kiểm soát mà về bản chất là các đường dẫn dòng có các kết nối (junction) tại lối vào và lối ra. Các kết nối liên kết các thể tích kiểm soát. Chương trình tính toán các thuộc tính trung bình của chất lỏng ở trung tâm của thể tích kiểm soát và các thuộc tính vectơ của chất lỏng thì được tính tại các kết nối.

Đơn giản nhất là chia mô hình thành tập hợp của các thể tích kiểm soát (nút) có kích thước xấp xỉ tương đương nhau. Việc xấp xỉ kích thước nút bị chi phối bởi một vài yếu tố: sự ổn định của phương pháp số, thời gian chạy và độ hội tụ. Để có sự ổn định của phương pháp số yêu cầu tỉ lệ giữa chiều dài nút và đường kính là 1 hoặc lớn hơn 1. Nói chung, các nút được xác định lớn nhất có thể mà không ảnh hưởng tới sự hội tụ của các kết quả. Kích thước của các nút ảnh hưởng trực tiếp đến thời gian chạy, kích thước các nút càng nhỏ bước thời gian lớn nhất càng nhỏ. Xác định độ hội tụ của kết quả số là một quá trình không đơn giản. Mức độ phù hợp của sơ đồ nút hóa phụ thuộc vào bài toán và kinh nghiệm của người sử dụng.

Việc rời rạc hóa mô hình là một phần đặc biệt quan trọng. Mô hình sẽ được rời rạc dựa trên các kết quả nghiên cứu về sự rời rạc trước đó và các yêu cầu cụ thể của phép phân tích. Căn cứ vào kết quả rời rạc hóa bao gồm cả những tài liệu hướng dẫn người sử dụng sẽ có những kiểm tra độc lập mô hình để đảm bảo rằng các thông số và các giả thiết là chính xác.

5.3. Các điều kiện đầu và điều kiện biên

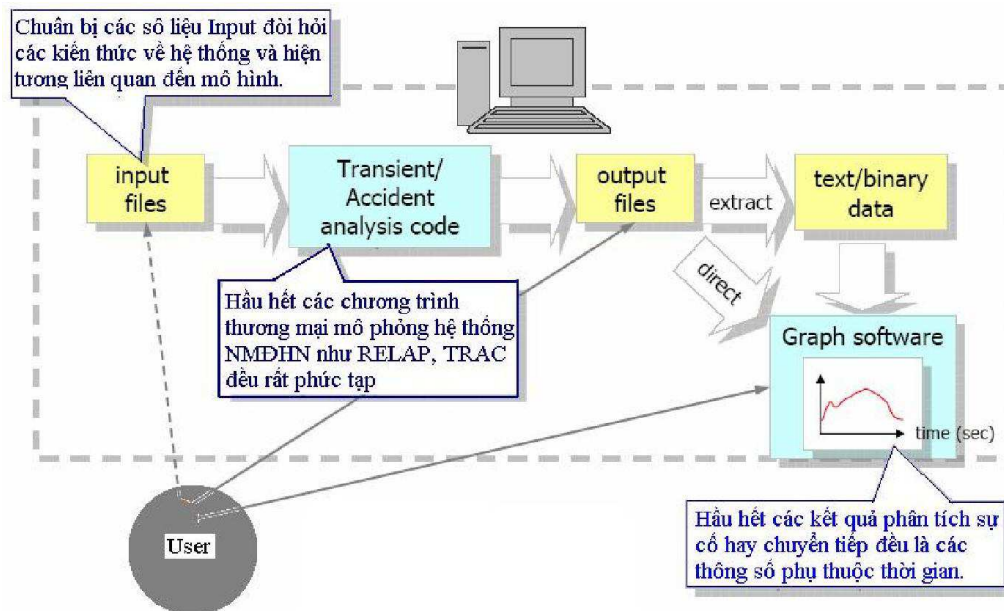
Tất cả các bài toán phân tích chuyển tiếp đều cần có các điều kiện đầu để từ các điều kiện này bắt đầu việc mô phỏng sự chuyển tiếp. Thông thường những điều kiện đầu sẽ tương ứng với trạng thái dừng và trạng thái chuyển tiếp bắt đầu khi thay đổi một vài điều kiện biên ở trạng thái dừng. Tổng quát các điều kiện đầu là một tập hợp xác định các biến phụ thuộc của bài toán. Mô hình thủy động cần có 4 biến trạng thái thủy động trong mỗi thể tích và các vận tốc tại mỗi kết nối. Cấu trúc nhiệt cần có điều kiện đầu về nhiệt độ tại mỗi nút, hệ thống kiểm soát cần có giá trị ban đầu của các biến điều khiển và tính toán động học cần có giá trị ban đầu của công suất và độ phản ứng. Tất cả các tham số này được đưa vào input và quá trình khởi tạo cho một bài toán mới. Đối với bài toán restart các giá trị được lấy từ các tính toán trước đó. Có thể đạt được kết quả mô phỏng chính xác hay không phụ thuộc các điều kiện đầu và điều kiện biên.

Hầu hết các tính toán chuyển tiếp đều cần có các điều kiện biên. Những điều kiện biên được mô phỏng bằng các thể tích phụ thuộc thời gian, các biên vào ra phụ thuộc thời gian cho những dòng xác định hoặc thông lượng bề mặt của cấu trúc nhiệt xác định và các nguồn năng lượng. Biến thiên thời gian của các điều kiện biên được chỉ rõ bởi các bảng dữ liệu đầu vào có thể được thay đổi về mặt động học bằng cách sử dụng các đóng ngắt.

Tính toán trạng thái dừng của hệ thống là một sự chuẩn bị quan trọng cho các tính toán chuyển tiếp. Mô phỏng trạng thái dừng của hệ thống cho biết độ chính xác và tin cậy của mô phỏng so với các thông số vận hành của nhà máy thực hay mô hình tham chiếu. Kết quả mô phỏng trạng thái dừng sẽ là dữ liệu cho việc mô phỏng các kịch bản chuyển tiếp. Việc chạy chương trình cần thực hiện với thời gian đủ dài để đạt được trạng thái dừng một cách ổn định.

5.4. Chạy chương trình và phân tích kết quả

Bước cuối cùng là chạy bài toán trên máy tính và phân tích các kết quả. Phân tích các kết quả của RELAP5 là một trong các bước quan trọng trong quá trình phân tích. Người sử dụng phải đánh giá mỗi lựa chọn, mỗi xu hướng được chỉ ra bằng tính toán có phù hợp với những điều kiện biên, các điều kiện đầu. Hiệu ứng người dùng và các tính toán độ bất định là rất quan trọng trong việc đánh giá các kết quả tính toán.



Hình 5.2. Các bước phân tích an toàn tất định sử dụng chương trình máy tính