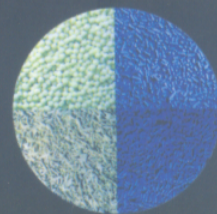




1956 - 2006

TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI
50 NĂM XÂY DỰNG VÀ PHÁT TRIỂN

PGS., TS. MAI XUÂN KỲ



THIẾT BỊ PHẢN ỨNG TRONG CÔNG NGHIỆP HOÁ HỌC

(NGHIÊN CỨU, TÍNH TOÁN VÀ THIẾT KẾ)
TẬP 1



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI
50 NĂM XÂY DỰNG VÀ PHÁT TRIỂN

PGS., TS. MAI XUÂN KỲ

THIẾT BỊ PHẢN ỨNG TRONG CÔNG NGHIỆP HOÁ HỌC (Nghiên cứu, tính toán và thiết kế)

TẬP 1



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT
HÀ NỘI

Lời nói đầu

Nội dung của lĩnh vực học thuật “Công nghệ Hoá học” dựa trên những tri thức của Hoá lý cơ bản và Kỹ thuật công nghệ, trong đó “Kỹ thuật tiến hành phản ứng hoá học, hay còn gọi là tính toán và thiết kế thiết bị phản ứng hoá học” có thể được xem là trọng tâm của lĩnh vực công nghệ hoá học hiện đại.

Trong thực tế đào tạo, sinh viên các ngành Hoá học, nhóm ngành Công nghệ Hoá học, ngành Kỹ thuật công nghệ hoá học và kể cả một bộ phận sinh viên ngành Kinh tế rất cần được trang bị kiến thức của môn học này. Nó sẽ cung cấp cho sinh viên những kiến thức tổng hợp, trang bị cho họ cả những kiến thức về cơ sở nghiên cứu, thiết kế và cả phương thức tư duy chuyên ngành, qua đó chuẩn bị cho họ những điều kiện cần thiết để có thể làm việc, hoà nhập trong những tập thể khoa học kỹ thuật lớn bao gồm cả các nhà nghiên cứu khoa học tự nhiên, các kỹ sư công nghệ và cả các nhà kinh tế.

Phần lớn sinh viên thuộc các chuyên ngành Hoá học và Công nghệ hoá học do các trường Đại học đào tạo ra đều làm việc trong các lĩnh vực công nghiệp. Thế nhưng các Trường Đại học lại thường đã đào tạo quá nhiều, quá sâu về những vấn đề lý thuyết cơ bản mà quên đi hoặc coi nhẹ việc trang bị cho sinh viên những kiến thức mang đặc trưng về một “đời sống nghề nghiệp” có tính công nghiệp của họ trong tương lai. Có lẽ đó là một tồn tại trong đào tạo cần phải được nhận thấy kể từ khi khoa học, và đặc biệt là ngành Hoá học được hình thành hai mảng lớn: Khoa học cơ bản và Khoa học công nghệ.

Giáo trình “Thiết bị phản ứng trong công nghiệp hoá học” là một bộ phận không tách rời của chương trình đào tạo các kỹ sư ngành Máy & Thiết bị Công nghiệp Hoá chất và Dầu khí của Trường Đại học Bách khoa Hà Nội. Giáo trình được hình thành trên cơ sở các bài giảng tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội và tham khảo các tài liệu có tính định hướng trên thế giới.

Giáo trình trình bày các nhóm kiến thức cơ bản về nghiên cứu, tính toán, thiết kế triển khai và kỹ thuật vận hành các hệ thiết bị phản ứng trong công nghiệp hoá học.

Tác giả cũng đã cố gắng lựa chọn, đồng nhất hoá các khái niệm, các định nghĩa và các ký hiệu thông dụng trên thế giới trong lĩnh vực chuyên môn này.

Thông qua việc trình bày, giải các bài toán ví dụ, bạn đọc có thể so sánh với các bài toán thực tế để tìm thấy cho mình những điều bổ ích hoặc cũng có thể tìm cho mình

một phương pháp tính toán phù hợp hơn với kỹ thuật tính toán hiện đại trong điều kiện có thể.

Tên gọi các đại lượng và thứ nguyên của chúng cũng đã được dùng theo IUPAC và TCVN.

Giáo trình là tài liệu giảng dạy, học tập và nghiên cứu của cán bộ, sinh viên & nghiên cứu sinh nhóm ngành Máy & Thiết bị Công nghiệp Hoá chất – Dầu khí, Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội, có thể làm tài liệu tham khảo cho rộng rãi các cán bộ, nghiên cứu sinh và sinh viên thuộc các nhóm ngành công nghệ hoá học: Công nghệ các chất vô cơ, công nghệ các chất hữu cơ và hoá dầu, công nghệ vật liệu polymer, công nghệ luyện kim và vật liệu, cũng như sinh viên ngành hoá học và ngành kinh tế.

Giáo trình cũng là tài liệu học tập, nghiên cứu lĩnh vực chuyên môn: “Động học các quá trình công nghệ hoá học” cho các học viên bậc cao học thuộc nhóm ngành công nghệ hoá học.

Để tiện sử dụng, giáo trình được chia làm 2 tập: Tập 1 bao gồm các chương 1, 2 và 3. Tập 2 bao gồm các chương 4, 5, 6, 7, 8 và 9.

Tác giả xin trân trọng cảm ơn các đồng nghiệp của Bộ môn Máy & Thiết bị Công nghiệp Hoá chất – Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội, đặc biệt là KS. Tống Thị Hoàng Dương, KS. Nguyễn Anh Tuấn, ThS. Tạ Hồng Đức đã có nhiều công lao đóng góp trong việc hoàn thành giáo trình.

Giáo trình không thể không có những thiếu sót, mong bạn đọc lượng thứ và xin được nhận mọi góp ý, phê bình đến Bộ môn Máy & Thiết bị Công nghiệp Hoá chất – Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội.

Tác giả

BÀI MỞ ĐẦU

CÁC KHÁI NIỆM CƠ BẢN VỀ THIẾT BỊ PHẢN ỨNG HOÁ HỌC

I. NHIỆM VỤ CỦA LĨNH VỰC HỌC THUẬT “THIẾT BỊ PHẢN ỨNG TRONG CÔNG NGHIỆP HÓA HỌC”

Trong một quy trình sản xuất hoá học, khâu then chốt, quan trọng nhất là chuyển hoá nguyên liệu ban đầu thành sản phẩm - khâu tiến hành phản ứng hoá học - Lĩnh vực học thuật “Thiết bị phản ứng trong công nghệ hoá học” do đó có nhiệm vụ thực tiễn hoá quá trình chuyển hoá hoá học đó trong những điều kiện cụ thể để tạo ra những sản phẩm với chất lượng nhất định, năng suất nhất định và giá thành hạ nhất có thể được.

Cũng có thể xem lĩnh vực học thuật “Thiết bị phản ứng trong công nghệ hoá học” có nhiệm vụ chuyển quy mô của một phản ứng chuyển hoá hoá học từ quy mô phòng thí nghiệm vào quy mô công nghiệp một cách chắc chắn, tin cậy. Cũng có nghĩa là phải tạo ra được: *một thiết bị phản ứng phù hợp với phản ứng đã cho, với năng suất yêu cầu và biện pháp kỹ thuật tiến hành quá trình một cách tối ưu trong công nghiệp.* Như vậy, nhiệm vụ của lĩnh vực học thuật nói trên có thể tóm tắt là:

Chọn được phương thức tiến hành quá trình hoá học.

Tính toán được các kích thước (quy mô) của thiết bị phản ứng hoá học.

Chọn và quy định vật liệu chế tạo thiết bị.

Chọn và điều khiển được thiết bị để có một bộ thông số công nghệ tối ưu cho quá trình.

Cơ sở khoa học để thực hiện các nhiệm vụ đó trước hết là các kiến thức về *vận tốc của phản ứng hoá học* (microkinetic), thu được bằng các nghiên cứu thực nghiệm. Bước này nhiều tài liệu trên thế giới gọi là: bước *phân tích quá trình phản ứng hoá học* (analysis of the reactions) nhằm xác định các hằng số tốc độ của quá trình phản ứng, và thiết lập được phương trình tốc độ của quá trình.

Khi quá trình hoá học không phải xảy ra trong một pha duy nhất mà ở nhiều pha khác nhau, các quá trình truyền nhiệt và chuyển khối ảnh hưởng lớn đến tiến trình của phản ứng hoá học và việc kết hợp động học của các quá trình vận tải với động học của phản ứng hoá học có ý nghĩa rất lớn (macrokinetic).

Tính toán thiết kế thiết bị phản ứng hoá học còn phải thấy rằng, mỗi dạng thiết bị phản ứng cho một phương thức tiến hành phản ứng rất khác nhau vì cấu trúc dòng và phương thức trao đổi nhiệt, quan hệ về năng lượng nhiệt trong các loại thiết bị phản ứng hoá học cũng rất khác nhau. Cho nên phải dựa trên cơ sở của cả các *phương trình cân bằng chất, cân bằng năng lượng nhiệt và cân bằng xung lượng của hệ thống* mà tiến hành các phép tính toán. Ngoài động học của phản ứng hoá học, phải chú ý thích đáng đến cấu trúc dòng, phương thức vận tải nhiệt, vận tải chất trong hệ và chế độ nhiệt độ (hệ đẳng nhiệt, đoạn nhiệt...), chúng là những yếu tố đóng vai trò nhất định tạo nên năng suất của thiết bị.

Những điều đã trình bày sơ lược trên, cho thấy những yếu tố quan trọng nhất ảnh hưởng đến quá trình phản ứng hoá học trong công nghiệp và cũng cho thấy rằng lĩnh vực học thuật : “Thiết bị phản ứng trong công nghệ hoá học” là một lĩnh vực phức tạp, bao hàm kiến thức của nhiều bộ phận khoa học khác nhau, chính vì vậy mà chỉ mới trong những năm rất gần đây (khoảng 30 năm trở lại) lĩnh vực học thuật này mới được hình thành, được hệ thống hoá như một bộ phận của lĩnh vực kỹ thuật công nghệ hoá học (chemical engineering)

Giáo trình “Thiết bị phản ứng trong công nghệ hoá học” là một bộ phận không tách rời của tập hợp các giáo trình đào tạo chuyên môn thuộc ngành Máy&Thiết bị Công nghiệp Hoá chất - Dầu khí của Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội và cũng như những giáo trình chuyên ngành khác, nhằm cung cấp cho sinh viên những kiến thức cơ bản trong lựa chọn, thiết kế, tính toán và điều khiển tối ưu của các thiết bị phản ứng hoá học trong công nghiệp. Trong khuôn khổ của nó, giáo trình chưa thể đề cập được hết những lĩnh vực chuyên sâu, riêng biệt như các thiết bị phản ứng quang hoá, các thiết bị phản ứng điện hoá, nhưng trên những kiến thức cơ bản có được từ giáo trình này người đọc có thể tự tìm hiểu để mở rộng và đi sâu thêm vào các lĩnh vực đó.

II. PHÂN LOẠI CÁC HỆ PHẢN ỨNG HOÁ HỌC

Như đã trình bày ở trên, các phương pháp tính toán trong lĩnh vực, quá trình và thiết bị phản ứng hoá học nhằm xác lập một hệ thống thiết bị công nghiệp để tiến hành quá trình phản ứng hoá học. Để thực hiện nhiệm vụ đó, trước hết về phương diện vật lý, phải chú ý đến cấu trúc pha, chế độ nhiệt của hệ thống.

Với quan điểm đó, người ta chia ra:

Hệ phản ứng là *đồng thể*: Khi toàn bộ khối phản ứng nằm trong một pha duy nhất và hệ là *dị thể* khi các chất tham gia vào quá trình phản ứng tổng thể ở trong nhiều pha khác nhau. Đây cũng là trường hợp điển hình cho hầu hết các phản ứng xúc tác. Khi đó, ít nhất chất xúc tác nằm trong những pha khác với pha chứa các chất phản ứng.

Về phương thức tiến hành phản ứng, người ta phân chia ra quá trình phản ứng liên tục hay gián đoạn. Trong đó các quá trình *gián đoạn* thường được tiến hành trong các hệ (thiết

bị phản ứng) *kín*, trong khi ở quá trình *liên tục* sự chuyển hoá xảy ra trong một *hệ mở* với những thông số công nghệ chủ yếu là không đổi (theo thời gian).

Theo sự phân bố nhiệt độ trong suốt quá trình chuyển hoá người ta phân chia ra quá trình *đẳng nhiệt*; khi đó nhờ vào sự trao đổi nhiệt giữa vùng phản ứng và môi trường bên ngoài, mà nhiệt độ của khối phản ứng không thay đổi trong suốt quá trình.

Quá trình gọi là *đoạn nhiệt* khi nhiệt độ của khối phản ứng tăng hay giảm một cách tương ứng với sự tăng lên của độ chuyển hoá, ứng với quá trình phản ứng toả nhiệt hay thu nhiệt. Hay nói một cách khác, trong hệ đoạn nhiệt không có sự trao đổi nhiệt cưỡng bức giữa vùng phản ứng với môi trường bên ngoài.

Hệ được gọi là đa nhiệt khi nhiệt độ của thiết bị phản ứng được khống chế theo một chương trình nào đó thông qua cấp nhiệt cho hệ hay rút nhiệt ra khỏi hệ theo yêu cầu. Nhiệt độ của hệ đoạn nhiệt có thể khác nhau theo thời gian và không gian của vùng phản ứng...

Trong tính toán, thiết kế thiết bị phản ứng hoá học người ta còn phải chú ý rằng hệ phản ứng là đơn giản hay phức tạp.

Hệ phản ứng gọi là *đơn giản* khi trong hệ chỉ xảy ra một phản ứng hoá học và ở đây thông qua sự thay đổi nồng độ của một cấu tử duy nhất cũng đủ để mô tả một cách hoàn chỉnh quá trình phản ứng hoá học. Hệ được gọi là hệ *phức tạp* khi trong hệ đồng thời xảy ra nhiều phản ứng hoá học và để mô tả độ chuyển hoá trong một hệ như vậy, cũng cần đến một số phương trình toán học.

Một vấn đề nữa hết sức quan trọng trong việc phân loại các hệ phản ứng hoá học đó là cấu trúc dòng trong thiết bị, nó thể hiện khả năng khuấy trộn các cấu tử tham gia phản ứng, hay tổn thất áp lực trong thiết bị phản ứng. Tất cả những điều đã nêu ra ở trên đây đều bị chi phối, ràng buộc bởi cấu trúc dòng trong thiết bị phản ứng.

Trong phạm vi giáo trình này người ta chia thiết bị phản ứng theo hai quan điểm:

- Theo phản ứng hoá học chia ra hệ đồng thể và dị thể.
- Theo loại thiết bị phản ứng, được chia với quan điểm khác nhau về cấu trúc dòng và có hai loại thiết bị có cấu trúc dòng lý tưởng cơ bản: thiết bị phản ứng kiểu *đẩy lý tưởng* và *khuấy lý tưởng*.

Những yếu tố khác như : loại hình phản ứng hoá học (phản ứng đơn giản hay phức tạp), loại hình phân bố nhiệt độ,... sẽ chỉ là những điểm cần chú ý thêm khi tính toán một quá trình hay một thiết bị cụ thể.

Chương 1

QUAN ĐIỂM KINH TẾ TRONG TIẾN HÀNH CÁC QUÁ TRÌNH CÔNG NGHỆ HOÁ HỌC

Tối ưu hoá các quá trình sản xuất trong công nghiệp hoá học ở một địa điểm cho trước với một nguồn nguyên liệu nhất định và với những điều kiện kỹ thuật công nghệ nào đó, là một lĩnh vực học thuật quan trọng của các cán bộ KHKH và kinh tế trong ngành công nghiệp hoá học, mà mục tiêu cuối cùng của nó là tạo ra những sản phẩm công nghiệp có chất lượng cao, giá thành hạ.

Tối ưu hoá quá trình công nghệ hoá học không chỉ quan trọng để quyết định một giải pháp công nghệ và do đó là để lựa chọn, mua sắm các thiết bị mới tương ứng mà là một nhiệm vụ thường xuyên trong cả quá trình sản xuất, nhằm thích hợp với hoàn cảnh thị trường và do đó nâng cao không ngừng chất lượng sản phẩm cũng như hạ giá thành sản phẩm.

I. KHÁI NIỆM CHUNG

Mục tiêu của bài toán tối ưu các quá trình công nghệ hoá học thường là tìm những điều kiện sản xuất để đạt được giá thành sản phẩm hợp lý nhất. Với mục tiêu đó, bài toán tối ưu thường gọi là bài toán tối ưu kinh tế. Mặt khác mục tiêu của tối ưu hoá quá trình cũng có thể là một mục đích kỹ thuật công nghệ, chẳng hạn để đạt hiệu suất sử dụng nguyên liệu là cực đại, khi đó ta có bài toán tối ưu công nghệ.

Ta hiểu “tối ưu hoá” là đi tìm các cực trị, nghĩa là các trạng thái tốt nhất của hệ thống công nghệ và do đó rõ ràng bài toán tối ưu chỉ có thể đặt ra khi bài toán mô tả hệ có những lời giải, và ta có thể đánh giá được các lời giải đó để lựa chọn được lời giải hợp lý, mô tả trạng thái tối ưu.

Trong các bậc chuyển hoá của những hệ thống công nghệ hoá học, những nhân tố ảnh hưởng lớn nhất lên nghiệm của bài toán tối ưu được gọi là các thông số định lượng, bao gồm: nồng độ, áp suất, nhiệt độ và do đó nhiệm vụ của phương pháp tối ưu hoá là tìm bộ thông số công nghệ để hàm mục tiêu: chẳng hạn giá thành sản xuất, lợi nhuận, ... đạt cực trị.

Bên cạnh các thông số định lượng, trong phương pháp tối ưu hoá còn phải kể đến các thông số định tính, chúng không thay đổi một cách hệ thống nhưng ảnh hưởng lên quá trình,

chẳng hạn: độ phân tán của các phân tử rắn khi phản ứng xảy ra trong huyền phù, ảnh hưởng của loại hình thiết bị phản ứng lên tiến trình phản ứng hoá học và do đó ảnh hưởng lên độ chuyển hoá, độ lựa chọn, chất lượng sản phẩm.

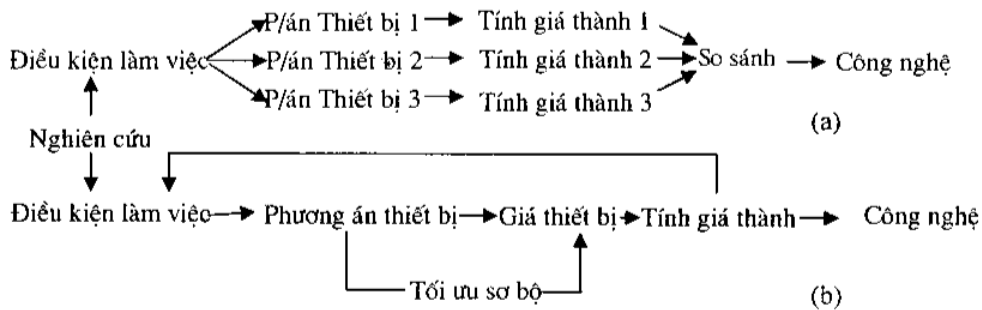
Cơ sở khoa học của bài toán tối ưu trong công nghệ hoá học là các tri thức về cân bằng của quá trình, các hiểu biết về vận tốc của các quá trình vận tải (chất, năng lượng, xung lượng...) và sự hiểu biết đến mức có thể nhất về động học của phản ứng hóa học.

Riêng về động học của quá trình hoá học, để phục vụ cho bài toán tối ưu không thể có những mô tả động học kỹ lưỡng, chính xác về phương diện hoá lý mà thường xây dựng những mô tả giản đơn, mang tính tổng thể có thể thông qua thống kê toán học, nhằm đưa ra ảnh hưởng tổng hợp của các yếu tố công nghệ (chẳng hạn nồng độ, nhiệt độ,...) lên độ chuyển hoá hiệu suất mà không chú ý đến các quá trình hoá lý riêng biệt. Từ mô tả toán học quá trình, người ta tối ưu hoá các bộ thông số công nghệ để hàm mục tiêu đạt cực trị.

Để tổ chức việc giải quyết bài toán tối ưu, hiện nay tồn tại hai phương pháp: phương pháp lập và phương pháp nối tiếp.

Phương pháp nối tiếp giải quyết bài toán trong từng giai đoạn một, cho đến cuối cùng so sánh các kết quả với nhau và chỉ cho phép chọn được kết quả hợp lý nhất trong số đó. Kết quả đó không có khả năng tác động trở lại bước tối ưu nhất.

Ở phương pháp lập đòi hỏi một sự phối hợp chặt chẽ giữa các nhà hoá học, các kỹ sư công nghệ hoá học và chủ đầu tư. Ngay trong những thí nghiệm và tính toán đầu tiên cũng đã cho ta những kết quả về những yếu tố ảnh hưởng quan trọng nhất lên giá thành sản phẩm (chẳng hạn độ suy nguyên liệu, nồng độ đã chọn, nhiệt độ,...) và những thí nghiệm tiếp theo trong phòng thí nghiệm và ở quy mô triển khai sẽ luôn dựa vào những kết quả ban đầu đó. Phép lập đó lặp lại cho đến khi đạt được chẳng hạn một giá thành thấp nhất của sản phẩm.



Hình 1-1: Phương pháp tối ưu trong công nghệ hoá học:
 (a): phương pháp nối tiếp;
 (b): phương pháp lập.

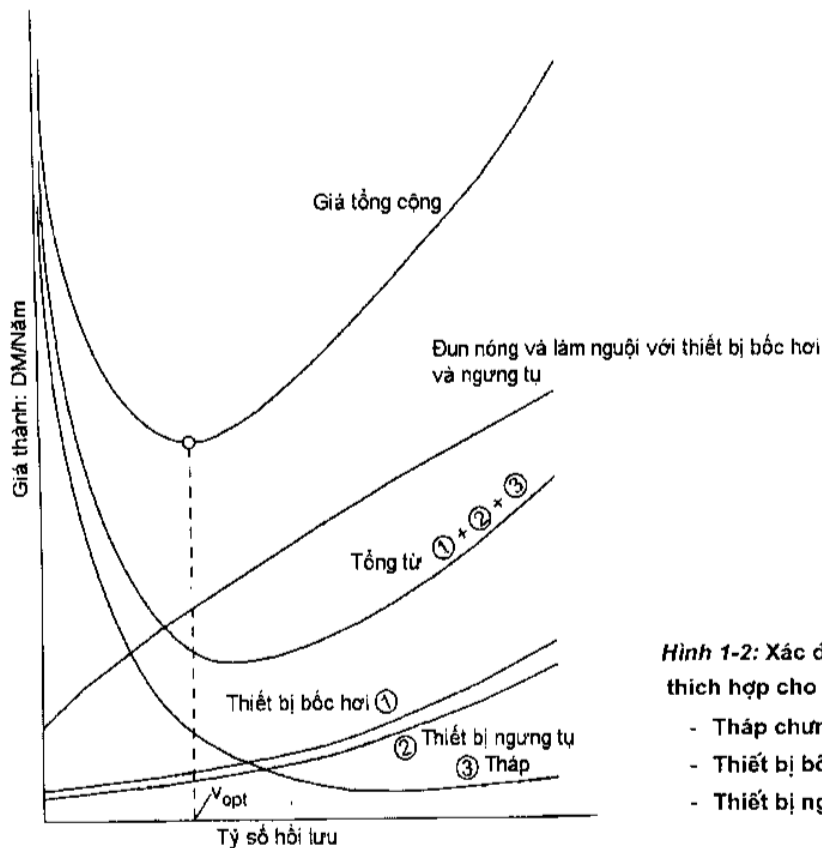
Ở mỗi bậc tối ưu sơ bộ phải quan tâm cả đến chẳng hạn số thiết bị, giải pháp công nghệ như chọn loại thiết bị phản ứng, phương pháp công nghệ phân riêng, kỹ thuật truyền nhiệt, và chọn vật liệu để chế tạo thiết bị cho hệ thống và cho mỗi bậc của hệ công nghệ.

II. TỐI ƯU HOÁ GIÁ THÀNH SẢN XUẤT CỦA MỘT GIAI ĐOẠN CÔNG NGHỆ KHI CÁC LOẠI HÌNH GIÁ THÀNH RIÊNG PHỤ THUỘC KHÁC NHAU VÀO CÁC BIẾN CÔNG NGHỆ

Giá thành sản xuất là một hàm của các thông số công nghệ trong đó loại hình giá thành này có thể tăng và loại hình giá thành khác lại có thể giảm theo các biến công nghệ.

Xét một tháp chưng luyện liên tục và hãy tìm số hồi lưu thích hợp (tối ưu). Rõ ràng nếu như số hồi lưu càng lớn thì tiết kiệm được số đĩa của tháp nhưng sẽ tốn năng lượng để bốc hơi lại, để làm nguội, ngưng tụ,...., và ngược lại.

Cho nên để giải quyết vấn đề, trước hết người ta tính các giá thành riêng, sau đó đem tổng hợp các giá thành riêng lại (hình 1-2).



Hình 1-2: Xác định tỷ số hồi lưu thích hợp cho các loại thiết bị:

- Tháp chưng luyện;
- Thiết bị bốc hơi;
- Thiết bị ngưng tụ.