

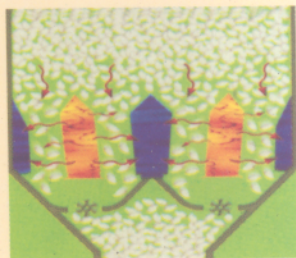
NGUYỄN VĂN MÂY

Giáo trình

KỸ THUẬT SẤY NÔNG SẢN THỰC PHẨM



NHÀ XUẤT BẢN
KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT



NGUYỄN VĂN MÂY

**GIÁO TRÌNH
KỸ THUẬT SẤY
NÔNG SẢN THỰC PHẨM**

(In lần thứ hai)

**NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT
HÀ NỘI**

6C2 . 27
KHKT - 04 469 - 133 - 04

LỜI NÓI ĐẦU

Kỹ thuật sấy nông sản - thực phẩm là môn học quan trọng của sinh viên ngành Máy và thiết bị công nghệ thực phẩm, công nghệ sinh học. Ngoài ra nó còn là tài liệu tham khảo trong học tập, giảng dạy, nghiên cứu khoa học của các ngành có liên quan đến kỹ thuật sấy. Nó cũng rất cần cho những người nghiên cứu thiết kế, chế tạo, lắp đặt, vận hành và sửa chữa các loại máy sấy.

Nội dung giáo trình đề cập đầy đủ và sâu sắc lý thuyết sấy nói chung và kỹ thuật sấy nông sản thực phẩm nói riêng. Sau phần lý thuyết là các hệ thống sấy được đề cập rất phong phú đa dạng. Nó còn đưa ra những cấu tạo cụ thể của các loại tủ sấy, buồng sấy, hầm sấy, tháp sấy, máy sấy băng tải, máy sấy phun, v.v..., cùng những ưu, nhược điểm của mỗi loại. Vì vậy nó cũng giúp ích cho những nhà đầu tư, kinh doanh lựa chọn và sử dụng tốt các loại máy sấy hiện có trên thương trường.

Mặc dù rất cố gắng trong biên soạn giáo trình này, nhưng cũng khó tránh khỏi những thiếu sót, mong độc giả xa gần góp ý để những lần tái bản được tốt hơn.

Tác giả

MỤC LỤC

Lời nói đầu

Chương I. VẬT LIỆU ẨM, KHÔNG KHÍ ẨM VÀ HỆ CÂN BẰNG

9

1.1. Vật liệu ẩm

9

1.1.1. Khái niệm chung

9

1.1.2. Đặc tính và phân loại các đối tượng sấy

11

1.1.3. Những đặc tính cấu trúc của đối tượng sấy

12

1.1.4. Các dạng liên kết giữa nước và vật liệu

14

1.1.4.1. Liên kết hoá học

15

1.1.4.2. Liên kết hoá lý

15

1.1.4.3. Liên kết cơ lý

16

1.2. Không khí ẩm và khối lò

18

1.2.1 Không khí ẩm

18

1.2.2. Đồ thị $i - d$ và trạng thái của không khí ẩm

21

1.2.3. Khối lò đốt (khối lò)

23

1.3. Hệ cân bằng giữa vật liệu ẩm và khí ẩm

27

Chương II. CÁC QUÁ TRÌNH TRUYỀN NHIỆT VÀ ẨM KHI SẤY

32

2.1. Quan hệ giữa nhiệt và truyền ẩm

32

2.2. Các giai đoạn sấy

34

2.3. Các đường cong sấy và tốc độ sấy

37

2.4. Thời gian sấy	46
Chương III. CÔNG NGHỆ SẤY	48
3.1. Những tính chất công nghệ của các sản phẩm thực phẩm là đối tượng sấy	48
3.2. Lựa chọn phương pháp và chế độ sấy	52
Chương IV. SẤY ĐỐI LƯU	54
4.1. Đặc tính chung và phân loại các hệ thống sấy đối lưu	55
4.1.1. Chế độ làm việc của hệ thống sấy đối lưu	55
4.1.2. Dạng vật sấy	56
4.1.3. Căn cứ vào áp suất trong buồng sấy	56
4.1.4. Theo cách nung nóng không khí thành tác nhân sấy	57
4.1.5. Căn cứ vào chuyển động của tác nhân sấy	57
4.1.6. Căn cứ theo sơ đồ làm việc	58
4.1.7. Căn cứ vào cấu trúc buồng sấy	58
4.2. Tính toán hệ thống sấy đối lưu	58
4.2.1. Phương pháp tạo dựng hệ thống sấy	58
4.2.2. Tính lượng ẩm bay hơi	59
4.2.3. Xác định các kích thước cơ bản của buồng sấy	61
4.2.4. Tính lượng không khí cần cho sấy	63
4.2.5. Tính toán nhiệt hệ thống sấy	64
4.2.6. Tính bổ sung nhiệt bù tổn thất	68
4.2.7. Xác định lượng tiêu hao riêng của không khí và nhiệt khi sấy	72
4.2.8. Các sơ đồ làm việc của hệ thống sấy đối lưu	77
4.2.8.1. Hệ thống tuần hoàn một phần tác nhân sấy	78
4.2.8.2. Hệ thống tuần hoàn toàn bộ tác nhân sấy	84

4.2.8.3. Hệ thống có đốt nóng bổ sung cho tác nhân sấy	86
4.2.8.4. Hệ thống có đốt nóng bổ sung và tuần hoàn một phần tác nhân sấy	90
4.2.8.5. Hệ thống sấy điều chỉnh năng suất nhiệt của tác nhân sấy	92
4.3. Các yếu tố ảnh hưởng đến cường độ sấy	94
4.3.1. Ảnh hưởng của nhiệt độ tác nhân sấy	95
4.3.2. Ảnh hưởng của độ ẩm tương đối của tác nhân sấy	96
4.3.3. Ảnh hưởng của tốc độ tác nhân sấy	96
4.3.4. Ảnh hưởng của các thông số chế độ sấy đến hàm ẩm lúc kết thúc giai đoạn thứ nhất	97
4.4. Sấy đối lưu các vật liệu rời xếp lớp	98
4.4.1. Những quy luật đối với sấy đối lưu vật liệu rời xếp lớp	99
4.4.2. Buồng sấy	102
4.4.3. Hầm sấy	109
4.4.3.1. Hầm sấy có xe goòng	109
4.4.3.2. Hầm sấy có xe treo	112
4.4.3.3. Máy sấy băng tải	114
4.4.4. Tháp sấy	122
4.4.5. Máy sấy thùng quay	132
4.5. Sấy đối lưu các vật liệu rời lưu động	139
4.5.1. Các định luật về lưu động tầng sôi và phụt	139
4.5.1.1. Động lực học và sức cản động lực của tầng sôi và phụt	140
4.5.1.2. Chuyển khối và truyền nhiệt với tầng sôi và phụt (sôi tuần hoàn)	145
4.5.2. Các hệ thống và thiết bị sấy tầng sôi	148

4.5.3. Các định luật với lớp rung	155
4.5.4. Máy sấy lớp sôi rung	161
4.6. Sấy đối lưu vật liệu rời hoặc dung dịch theo dòng lưu động	165
4.6.1. Các định luật về dòng lưu động	165
4.6.1.1. Các đặc tính của dòng lưu động	165
4.6.1.2. Thủy động học và sức cản với dòng lưu động	169
4.6.1.3. Truyền nhiệt và chuyển khối với dòng lưu động	178
4.6.2. Hệ thống sấy dòng lưu động dạng ống, xyclon, xoáy lốc	182
4.6.3. Các hệ thống sấy phun	188
4.6.3.1. Phương pháp và cơ cấu phun	189
4.6.3.2. Buồng và cơ chế sấy phun	192
4.6.3.3. Tính thiết kế buồng sấy phun	195
Chương V. SẤY RANG	200
(sấy trên bề mặt vật nóng)	
5.1. Quá trình sấy rang	200
5.2. Các kiểu máy sấy rang	202
5.3. Tính thiết kế máy sấy rang	207
Chương VI. CÁC HÌNH THỨC SẤY KHÁC	213
6.1. Sấy bức xạ	213
6.1.1. Cơ chế truyền nhiệt và chuyển khối trong sấy bức xạ	214
6.1.2. Các hệ thống sấy bức xạ	217
6.1.3. Các thiết bị phát tia bức xạ	218
6.1.4. Các bước cơ bản tính thiết kế hệ thống sấy bức xạ	219
6.2. Sấy thăng hoa	221
Phụ lục	227

Vật liệu ẩm, không khí ẩm và hệ cân bằng

1.1. VẬT LIỆU ẨM

1.1.1. Khái niệm chung

Trong vật liệu ẩm gồm có vật rắn, chất lỏng và khí. Vì khối lượng của chất khí rất nhỏ (mặc dù nó chiếm dung tích lớn trong vật ẩm) có thể bỏ qua, nên vật ẩm được xem như gồm hai thành phần là chất rắn và chất lỏng thấm ướt (gọi là ẩm).

Chất rắn gọi là vật chất khô tuyệt đối.

Độ ẩm của vật liệu được ký hiệu là w

$$w = \frac{m_n}{m} = \frac{m_n}{m_o + m} \quad (1-1)$$

m_n - khối lượng của ẩm (nước), kg;

m_o - khối lượng của chất khô, kg;

m - khối lượng của vật liệu ẩm, kg.

Độ ẩm tính theo công thức (1-1) là đại lượng không thứ nguyên. Nếu tính theo phần trăm thì ta dùng công thức (1-2) sau đây:

$$w = \frac{m_n}{m} 100, \% \quad (1-2)$$

Độ chứa ẩm u của vật liệu là tỷ số giữa m_n và m_o :

$$u = \frac{m_n}{m_o} = \frac{m - m_o}{m_o} = \frac{m_n}{m - m_n} \quad (1-3)$$

hoặc:

$$u = \frac{m_n}{m_o} \times 100, \% \quad (1-4)$$

Từ các quan hệ trên ta có:

$$u = \frac{w}{1-w} \quad \text{và} \quad w = \frac{u}{1+u} \quad (1-5)$$

Quan hệ giữa w và u được thể hiện ở hình 1 - 1:

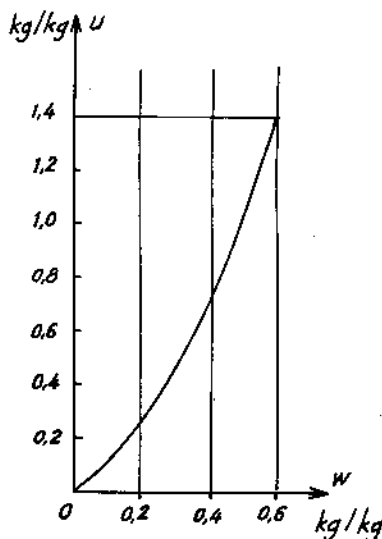
Tích số giữa khối lượng riêng ρ_o của chất khô và độ chứa ẩm u gọi là mật độ ẩm C và được tính theo công thức sau:

$$C = \rho_o u \quad (1-6)$$

Vật liệu bị sấy là vật liệu ẩm đã bị tách một phần hay toàn bộ lượng ẩm. Thông thường vật liệu ẩm được sấy đến độ ẩm phù hợp nào đó chứ không sấy đến mức chỉ còn chất khô tuyệt đối.

Đối tượng sấy là vật liệu ẩm đang sấy hay sẽ sấy.

Tác nhân sấy là chất khí hoặc lỏng tạo thành môi trường bọc lấy đối tượng sấy, để ẩm tách khỏi đối tượng sấy và đi theo nó. Nhiệt độ, độ ẩm và tốc độ của tác nhân sấy ảnh hưởng lớn đến quá trình sấy.



Hình 1 - 1. Quan hệ giữa độ ẩm và độ chứa ẩm của vật liệu

1.1.2. Đặc tính và phân loại các đối tượng sấy

Theo quan điểm hoá lý, vật ẩm là một hệ liên kết phân tán giữa pha phân tán và môi trường phân tán. Pha phân tán là một chất có cấu trúc mạng hay khung không gian từ chất rắn phân đều trong môi trường phân tán (là một chất khác).

Hệ phân tán được chia làm ba nhóm: phân tán thô, keo và phân tử (ion).

Trong hệ phân tán thô, các phần tử có kích thước lớn hơn 10^{-7}m . Trong hệ này gồm có huyền phù và nhũ tương, chúng không bền vững nên dễ dàng phân lớp.

Hệ keo được xác định bởi các phần tử có kích thước từ 10^{-9} đến 10^{-7}m . Do các phần tử của pha phân tán lớn hơn của môi trường phân tán nên hấp phụ các phần tử của môi trường phân tán lên bề mặt của các phần tử của pha phân tán.

Hệ phân tán phân tử hoặc ion có kích thước nhỏ hơn 10^{-9}m . Đây thực chất là hệ phân tán của các phân tử hay ion. Hệ này rất bền vững.

Keo là một dạng của hệ phân tán phân tử. Với keo thì các phần tử của pha phân tán không chuyển dịch tự do như trong dung dịch mà liên kết với nhau. Các phần tử của môi trường phân tán choán đầy không gian giữa các phần tử của pha phân tán.

Keo có nguồn gốc hữu cơ hay vô cơ, tự nhiên hay nhân tạo, đàn hồi hoặc không đàn hồi. Keo không đàn hồi hút chất lỏng thấm ướt nó. Khi hút hay nhả nước, keo không đàn hồi hầu như không thay đổi dung tích.

Keo đàn hồi chỉ hút một số chất lỏng, khi đó dung tích của nó gia tăng và vỡ ra, tan ra thành dung dịch. Quá trình này phụ thuộc vào nhiều yếu tố như cường độ tan phân tán của pha, nhiệt độ, áp suất của môi trường v.v.

Từ những đặc tính trên người ta chia những vật rắn ẩm thành ba

nhóm: keo, xốp mao dẫn và keo - xốp mao dẫn.

Trong nhóm keo thì loại đàn hồi sẽ thay đổi thể tích (giảm đi) khi sấy nhưng vẫn giữ được tính đàn hồi.

Trong nhóm xốp mao dẫn là keo không đàn hồi, sau khi sấy nó vỡ vụn ra và có thể thành bột.

Nhóm keo - xốp mao dẫn có tính chất của cả hai nhóm trên. Khi hút nước nó trương nở ra, khi sấy nó co lại và phần lớn vỡ vụn ra.

Các đối tượng sấy trong công nghiệp thực phẩm có cấu trúc rất phức tạp. Vì vậy với cách chia nhóm như trên (theo A.V.Likov) là chưa thỏa đáng cả về thực tiễn và lý thuyết trong khi sấy.

1.1.3. Những đặc tính cấu trúc của đối tượng sấy

Phần lớn các vật liệu ẩm có cấu trúc xốp. Khoảng cách giữa các phân tử cấu tạo nên khung vật chất khô lớn hơn kích thước của phân tử. Không gian giữa các phân tử gọi là các mao dẫn hay các lỗ xốp. Đối với vật liệu ẩm thì các mao dẫn hay lỗ xốp chứa đầy nước. Lực liên kết giữa bề mặt của các mao dẫn và lỗ xốp với nước cùng với trường hấp dẫn xác định trạng thái của chất lỏng trong vật ẩm.

Cấu trúc không gian của các mao dẫn hay lỗ xốp rất phức tạp. Tính chất của chúng được xác định bởi hàng loạt đặc tính cấu tạo của vật xốp. Những đặc tính đó là độ xốp, độ thấm thấu, dạng và kích thước của các lỗ xốp.

Độ xốp của vật thể là ε_v , được xác định theo công thức (1-7) dưới đây:

$$\varepsilon_v = \frac{V_L}{V} = \frac{V - V_k}{V} = 1 - \frac{\rho}{\rho_m} \quad (1-7)$$

trong đó:

V_L - thể tích của các lỗ xốp, m^3 ;

V_k - thể tích của các phần tử cấu tạo khung vật chất khô, m^3 ;

ρ , ρ_m - khối lượng riêng của vật xốp, vật chất (các phần tử) cấu tạo khung, kg/m^3 .

Ngoài độ xốp ε_v còn có độ xốp bề mặt ε_s , được xác định theo công thức (1- 8) sau:

$$\varepsilon_s = \frac{F_L}{F} \quad (1-8)$$

trong đó:

F_L - tổng diện tích của các lỗ xốp trên mặt cắt nào đó qua vật xốp, m^2 ;

F - diện tích mặt cắt của vật xốp, m^2 .

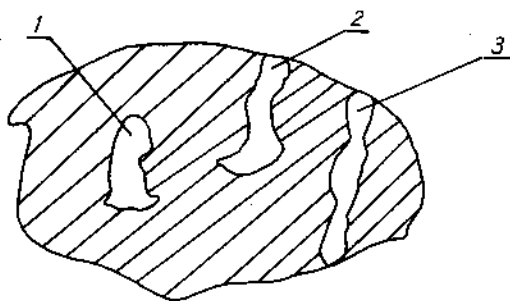
Với giá trị gần đúng:

$$\varepsilon_s = \varepsilon_v = \varepsilon$$

Độ thấm thấu của vật xốp là khả năng cho chất lỏng thấm qua khi có tác dụng của trường áp suất nào đó.

Do cấu trúc của các mao dẫn hay lỗ xốp rất đa dạng và ít mang tính quy luật nên không thể áp dụng thuyết giải tích để khảo sát chúng. Thay vào đó người ta dùng mô hình mao dẫn và mô hình phân tán để khảo sát các ảnh hưởng đến trạng thái của ẩm trong vật xốp.

Với mô hình mao dẫn, không gian thực của các lỗ xốp được thay bằng các ống mao dẫn có cùng đường kính phân bố đều trong dung tích của vật ẩm.



Hình 1-2. Mặt cắt của vật xốp.

1-lỗ (rãnh) bao; 2-rãnh cắt; 3-rãnh hở

Trong môi trường phân tán, không gian thực của các lỗ trống được thay thế bằng không gian giữa các phần tử hình cầu có cùng đường kính.

Chiều dài của mao dẫn hở hay rãnh hở (hình 1-2).

bao giờ cũng lớn hơn chiều dày của vật xốp. Tỷ số giữa chiều dài của mao dẫn hở trên chiều dài của vật xốp theo chiều thấm thấu (chiều lọc) của vật xốp gọi là hệ số khúc khuỷu ξ_K :

$$\xi_K = \frac{l_L}{b} \quad (1-9)$$

trong đó:

l_L - chiều dài của mao dẫn;

b - chiều dày vật xốp (chiều dày lớp lọc).

Thông thường ξ_K có giá trị trong khoảng 1,13 đến 17,5.

Đối với vật xốp hình thành từ việc đổ thành lớp các phần tử nhỏ (vật liệu rời xếp lớp) có hình dạng bất kỳ thì hệ số khúc khuỷu có các giá trị ξ_K từ 1 đến 1,47 với ε từ 0,84 đến 0,36.

1.1.4. Các dạng liên kết giữa nước và vật liệu

Nước có trong vật liệu ẩm có thể chia làm hai nhóm: nước tự do và nước liên kết.

Nước tự do nằm ở bề mặt của vật, có áp suất riêng bằng áp suất hơi nước bão hoà ứng với nhiệt độ hiện tại của vật ẩm.

Nước tự do nằm trong vật ẩm là lượng nước tạo ra trên bề mặt của vật ẩm hơi nước có áp suất riêng đạt giá trị bão hoà ở nhiệt độ hiện tại của vật ẩm.

Nước liên kết tạo ra trên vật ẩm hơi nước có áp suất riêng nhỏ hơn áp suất bão hoà ứng với nhiệt độ của vật.

Do khả năng phản ứng hoá học và hoà tan mạnh các chất nên trong các sản phẩm thực phẩm không có nước nguyên chất mà dưới dạng dung dịch.

Muốn tách nước ra khỏi vật ẩm cần có năng lượng bằng hay lớn hơn năng lượng liên kết của nó với vật ẩm. Để có thể lựa chọn phương

pháp tách nước tốt nhất, cần phải biết các dạng liên kết của nó với vật ẩm.

1.1.4.1. Dạng liên kết hoá học

Liên kết hoá học của nước với vật chất khác được xác định với tỷ lệ thành phần nghiêm ngặt. Liên kết hoá học của nước có hai loại: liên kết ion và liên kết phân tử.

Liên kết ion được hình thành bởi những phản ứng hoá học nên rất bền vững. Muốn phá vỡ liên kết này phải dùng các phản ứng hoá học hoặc nung đến nhiệt độ rất cao.

Liên kết phân tử có thể quan sát qua quá trình kết tủa của các dung dịch.

Trong quá trình sấy không đặt vấn đề tách nước ở dạng liên kết hoá học với vật ẩm, vì vậy ta không đi sâu về liên kết dạng này của nước.

1.1.4.2. Liên kết hoá lý

Liên kết hoá lý không đòi hỏi nghiêm ngặt về tỷ lệ thành phần liên kết. Liên kết hoá lý có hai loại: liên kết hấp phụ và liên kết thẩm thấu.

Liên kết hấp phụ của nước gắn liền với các hiện tượng xảy ra trên bề mặt giới hạn các pha (rắn hoặc lỏng).

Các phân tử hay ion nằm trong lòng pha (lỏng chẳng hạn) chịu các lực kéo về mọi phía là bằng nhau về độ lớn và chúng bằng 0 khi tổng hợp lại. Trong khi đó các phân tử hay ion nằm sát bề mặt giới hạn pha (mặt thoáng) thì lực kéo tổng hợp có xu hướng kéo chúng vào lòng pha lỏng. Phương trình (1-10) thể hiện các lực tác dụng lên phân tử:

$$F = U - T.S \quad (1-10)$$

trong đó:

F - năng lượng tự do của phân tử;

U - nội năng;

S - entropi;

T - nhiệt độ tuyệt đối.

Năng lượng tự do trên một đơn vị diện tích bề mặt giới hạn đúng bằng sức căng bề mặt σ .

Nếu ta để một mẫu vật khô tuyệt đối trong không khí có chứa hơi nước thì trường lực bề mặt không cân bằng sẽ kéo các phân tử nước. Giữa các phân tử nước và vật rắn xuất hiện lực hấp phụ. Nếu các phân tử của mỗi chất vẫn giữ nguyên tính chất thì đó là quá trình hấp phụ vật lý. Trường hợp các phân tử hấp phụ nhận hay cho các điện tử thì gọi là hấp phụ hoá học.

Liên kết thẩm thấu là liên kết mang tính cơ học của nước với vật liệu có tính keo - xốp mao dẫn. Những vật liệu này có cấu trúc khung, nước thấm vào và nằm trong không gian các khung. Nước trong vật thể này không phải là nguyên chất mà dưới dạng dung dịch. Việc nước thấm từ ngoài vào trong vật hay ngược lại từ trong vật thể ra ngoài giống như nước thấm qua màng ngăn cách từ dung dịch có nồng độ thấp sang dung dịch có nồng độ cao.

Khi nước ở lớp bề mặt của vật thể bay hơi thì nồng độ của dung dịch ở đó tăng lên và nước ở sâu bên trong sẽ thấm ra ngoài. Ngược lại, khi ta đặt vật thể vào trong nước thì nước sẽ thấm vào trong.

1.1.4.3. Liên kết cơ lý

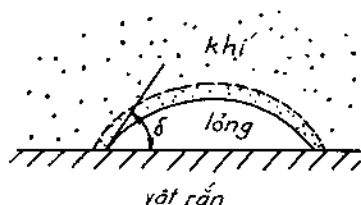
Dạng liên kết này của nước với vật thể gồm nước bề mặt và nước trong mao dẫn.

Nước bề mặt là liên kết cơ học của nước với bề mặt vật thể khi ta nhúng nó vào nước, hoặc nhỏ nước trên bề mặt của nó. Hình 1-3 cho ta thấy trạng thái cân bằng của giọt nước trên bề mặt vật rắn. Đó là sự

cân bằng giữa rắn - lỏng - khí.
Góc δ gọi là góc thấm ướt; Khi

$\delta < \frac{\pi}{2}$, thì chất lỏng thấm ướt,

khi $\delta > \frac{\pi}{2}$ thì chất lỏng không thấm ướt. Nước bề mặt còn gọi là nước tự do).



Hình 1-3. Trạng thái của nước
trên mặt vật rắn

Khi ta cắm ống hình trụ có đường kính nhỏ vào cốc nước (hoặc chất lỏng) thì mặt thoáng

(mức) của chất lỏng trong ống sẽ khác bên ngoài. Nếu mức chất lỏng trong ống cao hơn bên ngoài thì chất lỏng đó thấm ướt, còn ngược lại là không thấm ướt. Khoảng cách giữa hai mức lỏng gọi là chiều cao thấm mao dẫn h . Chiều cao h phụ thuộc vào chất lỏng. Ống mao dẫn là hình trụ, nón, đặt thẳng đứng hay nghiêng v.v.

Ngoài ra thấm mao dẫn còn xảy ra với vật thể là lớp cấu trúc phân tán gồm các hạt hình cầu (gân hình cầu) không hút chất lỏng. Chất lỏng sẽ thấm vào không gian giữa các hạt.

Để tách ẩm khỏi vật ẩm bằng sấy nhiệt thì phải làm cho ẩm bay hơi và rời khỏi vật thể. Do có lực liên kết giữa ẩm và vật thể nên nhiệt lượng bay hơi của 1 kg ẩm lớn hơn nhiệt hoá hơi của nước tự do:

$$r_h = r + \Delta r \quad (1-11)$$

r - nhiệt hoá hơi của nước tự do, kJ/kg;

Δr - nhiệt lượng để thắng lực liên kết giữa ẩm với vật thể, kJ/kg.

$$\Delta r = -RT \ln \frac{P_h}{P_0} = e \quad (1-12)$$

P_h - áp suất riêng của hơi nước trên bề mặt vật ẩm, N/m²;

P_b - áp suất hơi bão hoà trên bề mặt nước nguyên chất ở nhiệt độ T , N/m^2 ;

e - năng lượng liên kết riêng của nước, kJ/kg .

1.2. KHÔNG KHÍ ẨM VÀ KHỐI LÒ

1.2.1. Không khí ẩm

Trong không khí ẩm gồm có không khí khô và hơi nước. Trạng thái của không khí ẩm ảnh hưởng trực tiếp đến quá trình sấy và bảo quản sản phẩm sấy. Vì vậy việc tìm hiểu không khí ẩm là rất cần thiết.

Như chúng ta đã biết theo định luật Dalton, áp suất của không khí ẩm bằng áp suất của hơi nước cộng với áp suất của không khí khô:

$$P = P_k + P_h ; N/m^2 \quad (1-13)$$

trong đó:

P - áp suất của không khí ẩm, N/m^2 ;

P_k - áp suất của không khí khô, N/m^2 ;

P_h - áp suất riêng của hơi nước, N/m^2 .

Độ ẩm tuyệt đối của không khí là khối lượng của hơi nước có trong $1 m^3$ không khí ẩm, ký hiệu là ρ_h , (kg/m^3 không khí ẩm).

Độ ẩm tương đối φ là tỷ số giữa độ ẩm tuyệt đối ρ_h trên độ ẩm tuyệt đối lớn nhất $\rho_{h,max}$, ứng với nhiệt độ nào đó của không khí ẩm.

$$\varphi = \frac{\rho_h}{\rho_{h,max}} \times 100, \% \quad (1-14)$$

$$\rho_h = \frac{I}{v_h} = \frac{P_h}{R_h \cdot T}, \text{ kg/m}^3 \quad (1-15)$$

$$\rho_{h,max} = \rho'' = \frac{I}{v''} = \frac{P_b}{R_h \cdot T}, \text{ kg/m}^3 \quad (1-15')$$

trong đó:

v_h - thể tích riêng của hơi nước chưa bão hoà, m^3/kg ;

R_h - hằng số của hơi nước, $J/kg \cdot ^\circ K$;

T - nhiệt độ của không khí ẩm, $^\circ K$;

ρ'' - khối lượng riêng của hơi nước bão hoà, kg/m^3 ;

v'' - thể tích riêng của hơi nước bão hoà, m^3/kg ;

P_b - áp suất riêng của hơi nước bão hoà, N/m^2 .

Thay các giá trị tương ứng từ (1-15), (1-15') vào (1-14) ta thu được:

$$\varphi = \frac{P_h}{P_b} \cdot 100 \% \quad (1-16)$$

Giá trị của φ thay đổi từ 0 đến 1 hoặc từ 0% đến 100%. Nếu $\varphi = 0$ thì trong không khí không có hơi nước, khi ấy ta có không khí khô tuyệt đối. Khi không khí ẩm là tác nhân sấy thì φ càng nhỏ khả năng sấy của nó càng tốt và ngược lại.

Độ chứa ẩm d của không khí ẩm là tỷ số giữa khối lượng hơi nước và khối lượng không khí khô:

$$d = \frac{m_h}{m_k} = \frac{\frac{P_h \cdot V}{R_h \cdot T}}{\frac{P_k \cdot V}{R_k \cdot T}} = 0,622 \frac{P_h}{P - P_h} \quad (1-17)$$

$$R_h = 461,5 \text{ J/kg} \cdot ^\circ K \text{ và } R_k = 287,1 \text{ J/kg} \cdot ^\circ K.$$

Do khối lượng hơi nước ít nên thứ nguyên của d là $g/kg.kk$.

Thể tích riêng của không khí ẩm là v :

$$v = \frac{V}{m_h + m_k} ; m^3/kg \quad (1-18)$$

trong đó:

m_h - khối lượng của hơi nước, kg;

m_k - khối lượng của không khí, kg;

$$m = m_h + m_k, \text{ kg}$$

Khối lượng riêng của không khí ẩm là tỷ số giữa khối lượng m và thể tích V .

$$\rho = \frac{m}{V}, \text{ kg/m}^3 \quad (1-19)$$

Nhiệt độ điểm sương của không khí ẩm là nhiệt độ của điểm cắt nhau giữa đường $\varphi = 1$ và $d = \text{const}$ nào đó. Nhiệt độ điểm sương ký hiệu là t_s .

Entanpi của không khí ẩm ký hiệu là I :

$$I = i_k + di_h \quad (1-20)$$

trong đó:

i_k, i_h - entanpi của không khí khô, hơi nước, kJ/kg:

$$i_k = C_k \cdot t = 1,00 t \quad (1-21)$$

$$i_h = r_h + C_h \cdot t = 2500 + 1,86 t \quad (1-22)$$

C_k, C_h - nhiệt dung riêng của không khí khô, hơi nước, kJ/kg.độ;

t - nhiệt độ không khí ẩm, °C;

r_h - nhiệt hoá hơi của nước, kJ/kg.

Thay các giá trị từ (1-21) và (1-22) vào (1-20) ta thu được:

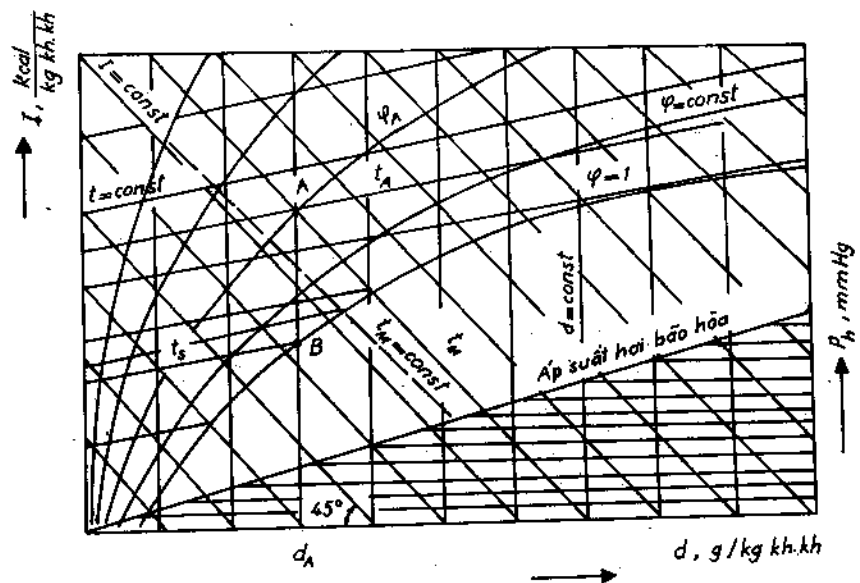
$$I = t + (2500 + 1,86 t) d \quad (1-23)$$

Trong khoảng $t = 0^\circ\text{C}$ đến 100°C thì giá trị của I tính từ (1-23) có sai số dưới 0,5 %.

1.2.2. Đồ thị $I-d$ và trạng thái của không khí ẩm

Ngoài phương pháp giải tích như trên, ta có thể xác định các thông số của không khí ẩm bằng phương pháp đồ thị như $t-d$ và $I-d$. Trong thực tế, thuận tiện nhất là dùng đồ thị $I-d$, vì trên đó biểu diễn các quá trình thay đổi trạng thái của không khí ẩm rất đơn giản và rõ ràng.

Không khí ẩm là hệ một pha hai cấu tử. Theo thuyết các pha thì nó có ba bậc tự do. Để vẽ đồ thị $I-d$ ta đã cho một thông số là hằng số, đó là $P = \text{const}$. P là áp suất của khí quyển, nó phụ thuộc vào độ cao địa lý so với mặt nước biển. Vì vậy đồ thị $I-d$ có thể vẽ với $P = 0,1 \text{ MPa} = 760 \text{ mmHg}$; 740 mmHg ; 710 mmHg v.v. Ở Việt Nam, các vùng đồng bằng và trung du có chiều cao ứng với 760 mmHg .



Hình 1-4. Đồ thị $I-d$ của không khí ẩm

Đồ thị $I - d$ ở hình 1-4 được vẽ với góc giữa đường I và d là 135° , với đường $d = \text{const}$ thẳng đứng. Đường $\varphi = \text{const}$ là những đường cong, $t = \text{const}$ là những đường thẳng nghiêng. Khi làm giảm nhiệt độ của không khí ẩm ở điều kiện đẳng d ($d = \text{const}$) đến giá trị mà tại đó hơi nước đọng lại thành sương gọi là nhiệt độ điểm sương t_s .

Quan hệ giữa các đại lượng t , d và I của không khí ẩm chưa bão hoà (thuộc vùng phía trên đường $\varphi = 1$) thể hiện ở biểu thức (1-24):

$$I = (1 + 1,86 d) t + 2500 d \quad (1-24)$$

Khi $d = 0$ thì $I = t$; khi d tăng thì giá trị trước t cũng tăng.

Đường đẳng nhiệt ở vùng sương mù là t_M còn gọi là nhiệt độ bầu ướt. $t_M = \text{const}$ đi qua điểm cắt nhau giữa đường $I = \text{const}$ nào đó với đường $\varphi = 1$. Đường t_M bị gãy khúc với góc nghiêng thể hiện ở biểu thức (1-25):

$$\left(\frac{\partial I}{\partial d} \right)_T = C_K \cdot t \approx 4,19 t \quad (1-25)$$

$$I = C_K (d - d_s) t + I_s \quad (1-26)$$

trong đó:

d_s , I_s - độ chứa ẩm và entanpi của không khí ẩm bão hoà ở nhiệt độ điểm sương t_s .

Vì vậy đường nhiệt độ không đổi ở vùng bão hoà là t_M bị gãy khúc so với $t = \text{const}$ và có độ nghiêng gần với đường I .

Đường $\varphi = \text{const}$ được vẽ theo quan hệ (1-27):

$$\varphi = \frac{d}{0,622 + d} \cdot \frac{P}{P_b} \quad (1-27)$$

Đường $\varphi = 1$ (100%) biểu diễn các trạng thái bão hoà của không khí ẩm ở những nhiệt độ khác nhau. Phía trên nó là vùng không khí ẩm chưa bão hoà, phía dưới nó là vùng sương mù.

Đường quan hệ giữa áp suất riêng của hơi nước P_h với d thể hiện

ở phương trình (1-28):

$$P_b = P \frac{d}{0,622 + d} \quad (1-28)$$

Với $d \ll 0,622$ thì nó gần như đường thẳng.

Từ đồ thị $I - d$ ta dễ dàng khảo sát sự thay đổi trạng thái của không khí ẩm khi nhiệt độ của nó thay đổi. Chẳng hạn ta có không khí ẩm với trạng thái điểm A (hình 1-4), có các thông số t_A, I_A, φ_A, d_A .

Khi ta hạ nhiệt độ của không khí xuống thì trạng thái của nó chạy theo đường $d_A = \text{const}$. Tại điểm B là điểm cắt nhau giữa $d_A = \text{const}$ và $\varphi = 1$, là điểm sương của không khí có nhiệt độ là $t_s = t_B$. Nếu tiếp tục hạ nhiệt độ xuống dưới t_s thì hơi nước trong không khí ẩm sẽ đọng thành sương, thành lỏng, thành tuyết. Nhiệt độ bầu ướt là t_M đi qua điểm cắt nhau của đường $I_A = \text{const}$ và $\varphi = 1$. Từ điểm sương (điểm B) ta tăng nhiệt dần từ t_s đến t_A hoặc cao hơn nữa thì mặc dù $d_A = \text{const}$ nhưng giá trị của φ giảm dần.

Tất cả các quá trình theo các phương thuộc bên trái đường $d_A = \text{const}$ đều làm mất nước trong không khí ẩm; ngược lại, các quá trình theo các phương bên phải đường $d_A = \text{const}$ đều làm cho không khí nhận thêm nước.

Đồ thị $I - d$ được dùng rộng rãi trong kỹ thuật sấy, kỹ thuật lạnh, thông gió và điều hoà không khí.

1.2.3. Khí lò đốt (khối lò)

Khối lò là sản phẩm khí của quá trình đốt cháy một chất đốt nào đó. Khối lượng, thành phần và các thông số trạng thái của khối lò phụ thuộc vào thành phần của chất đốt và phương pháp đốt cháy.

Chất đốt gồm dạng rắn (than đá, củi), dạng lỏng (xăng, dầu) hoặc dạng khí. Chất lượng của chất đốt phụ thuộc vào thành phần cấu tạo của nó, thể hiện ở công thức (1-29):

$$c + h + o + s + n + a + w = 1 \quad (1-29)$$

trong đó:

c, h, o, s, n, a, w - thành phần khối lượng của cacbon, hydro, oxy, lưu huỳnh, nitơ, tro, nước. Tro và nước là thành phần không cháy.

Khối lượng không khí khô dùng để đốt cháy hoàn toàn một k chất đốt được gọi là khối lượng không khí lý thuyết, ký hiệu là $m_{K,l}$:

$$m_{K,l} = 11,61 c^p + 34,78 h^p + 4,35(s^p - o^p) \quad (1-30)$$

Thực tế để đốt cháy hoàn toàn một kilôgam chất đốt trong lò đốt cần có khối lượng không khí khô thực tế là $m_{K,t} > m_{K,l}$.

$$m_{K,t} = \alpha \cdot m_{K,l} \quad (1-31)$$

α là hệ số bổ sung của lò đốt.

Việc chọn giá trị của α rất quan trọng. Nếu α nhỏ dẫn tới quá trình đốt cháy không hoàn toàn của chất đốt. Khi đó sản phẩm cháy (khối lò) có chứa các chất khí độc như CO và cacbon, nhiệt độ lò đốt không cao và không kinh tế. Ngược lại nếu ta chọn giá trị α lớn sẽ làm cho nhiệt độ trong lò đốt quá cao làm chảy tro và xỉ.

Nhiệt độ trong lò đốt dùng trong quá trình sấy tốt nhất là 900°C đến 1000°C . Căn cứ vào nhiệt độ cháy tối ưu và theo công thức (1-32) ta tính được α trong công thức:

$$t_K = \frac{Q_d^p \cdot \eta + \alpha \cdot m_{K,l} \cdot C_{Pb} \cdot t_o}{(\alpha \cdot m_{K,l} + 1) C_{PK}} \quad (1-32)$$

trong đó:

Q_d^p - nhiệt trị dưới của chất đốt, kJ/kg;

η - hệ số hiệu dụng của lò đốt;

$\eta \leq 0,85$ với chất đốt dạng rắn;

$\eta = 0,95 \div 0,98$ với chất đốt dạng lỏng;

t_o - nhiệt độ không khí ngoài trời, $^\circ\text{C}$;

t_K - nhiệt độ cháy trong lò đốt, °C;

$C_{p,o}$ - nhiệt dung riêng đẳng áp của không khí, kJ/kg.độ;

$C_{p,K}$ - nhiệt dung riêng đẳng áp của khối lò, kJ / kg.độ.

$$Q_d^p = 33900c^p + 117000(h^p - 0,125.o^p) + 10500s^p - 2500w^p \quad (1-33)$$

Khối lượng thành phần của các chất trong khối lò được tính như sau:

$$\left. \begin{aligned} m_{CO_2} &= 3,67.c^p; \\ m_{SO_2} &= 2.s^p; \\ m_{O_2} &= 0,23(\alpha - 1).m_{K,l}; \\ m_{N_2} &= 0,77\alpha.m_{K,l} + n^p; \\ m_{H_2O} &= 9h^p + w^p + \alpha.m_{K,l}.d_o; \end{aligned} \right\} \quad (1-34)$$

d_o - độ chứa ẩm của không khí ngoài trời, kg/kg.k.k.

Khối lượng của khối lò thu được khi đốt cháy hoàn toàn 1 kg chất đốt bằng tổng khối lượng của chất đốt và không khí cần cho quá trình đốt cháy:

$$m_K = m_{K,l}(1 + d_o) + 1 - \alpha^p = \alpha.m_{K,l}(1 + d_o) + 1 - \alpha^p \quad (1-35)$$

α - hệ số bổ sung không khí, nó phụ thuộc vào dạng chất đốt và cấu tạo của lò đốt.

Đối với các lò đốt trong các lò hơi công nghiệp và nhiệt điện, ta lấy giá trị của α như sau:

$\alpha = 1,2 \div 1,5$ với chất đốt dạng rắn;

$\alpha = 1,1 \div 1,3$ với chất đốt dạng lỏng;

$\alpha = 1,05 \div 1,1$ với chất đốt dạng khí;

Đối với lò đốt trong quá trình sấy thì không cần nhiệt độ cao nhưng phải duy trì quá trình cháy tốt, vì vậy α phải có giá trị cao.

$\alpha = 2 \div 2,5$ với hệ thống sấy.

Do nhiệt độ khối lò lúc vừa rời buồng đốt cao hơn nhiệt độ sấy

nhiều nên trước khi đi vào buồng sấy, khối lò phải được hoà trộn với không khí ngoài trời để giảm nhiệt độ. Quá trình hoà trộn được tiến hành trong buồng hoà trộn. Hệ số bổ sung không khí khi hoà trộn là α , được tính theo công thức (1-36) sau đây:

$$\alpha_b = \frac{Q_t^p \cdot \eta + C_{p,d} \cdot t_{p,d} (9h^p + w^p) \cdot i_{h,K} - (1 - 9h^p - w^p - a^p) C_{p,K} \cdot t_K}{m_{K,l} [d_o (i_{h,K} - i_{h,o}) + C_{p,K} \cdot t_K - C_{p,o} \cdot t_o]} \quad (1-36)$$

trong đó:

Q_t^p - nhiệt trị trên của chất đốt, kJ/kg;

$C_{p,d}$, $C_{p,K}$, $C_{p,o}$ - nhiệt dung riêng đẳng áp của chất đốt, khối khô, không khí ngoài trời, kJ/kg.độ;

t_K , t_o - nhiệt độ khối lò, không khí ngoài trời, °C;

$i_{h,o}$, $i_{h,K}$ - entanpi của hơi nước theo nhiệt độ ngoài trời, của khối lò (theo nhiệt độ của khối lò sau buồng hoà trộn), kJ/kg;

$$Q_t^p = Q_d^p + 22300 h^p + 2500 w^p, \quad (1-37)$$

Phương trình (1-36) bỏ qua nhiệt lượng của tro, xỉ và tổn thất qua thành lò vì giá trị của chúng nhỏ. Nhiệt độ của chất đốt và nhiệt độ không khí trước khi vào lò đốt là bằng nhau. Nếu $\alpha > 5$ thì xem như $C_{p,K} = C_p$.

Độ chứa ẩm của khối lò là d_K được tính theo công thức (1-38) sau đây:

$$d_K = \frac{m_{H_2O}}{m_K} = \frac{9h^p - w^p + \alpha \cdot m_{K,l} \cdot d_o}{\alpha \cdot m_{K,l} + 1 - (a^p + w^p + 9h^p)} \quad (1-38)$$

trong đó:

$$m_K = \alpha m_{K,l} + 1 - (a^p + w^p + 9h^p), \text{ kg/kg.c.đ}$$

Entanpi của khối lò là I_K :

$$I_K = \frac{Q_t^p \cdot \eta + C_{p,d} \cdot t_{p,d} + \alpha \cdot m_{K,l} (C_{p,o} t_o + i_{h,o} \cdot d_o)}{m_K} \quad (1-39)$$

hoặc:

$$I_K = C_{P,K} \cdot I_K + (2500 + 1,86 t_K) d_K \quad (1-40)$$

Từ hình 1-5 ta thấy, không khí ngoài trời có trạng thái là điểm A với các thông số: $t_A = t_o$, $\varphi_A = \varphi_o$, $d_A = d_o$, $I_A = I_o$, được hoà trộn với khối lò có trạng thái điểm K có: t_K , d_K , I_K , φ_K , ta thu được điểm M có: t_M , d_M , I_M , φ_M . Điểm M nằm trên đoạn thẳng $\overline{AK}$ và chia nó thành các đoạn $\overline{AM}$ và $\overline{MK}$ theo tỷ lệ hoà trộn. Độ nghiêng của đoạn $\overline{AK}$ phụ thuộc vào độ ẩm của chất đốt (w) và nhiệt trị trên Q_i^P . Nếu w lớn và Q_i^P nhỏ thì đoạn $\overline{AK}$ có độ nghiêng nhỏ và ngược lại. Đoạn $\overline{AK}$ không bao giờ thẳng đứng vì độ ẩm của khối lò bao giờ cũng lớn hơn độ ẩm của không khí ngoài trời ($d_K > d_o$).

Các thông số của điểm M được xác định như sau:

$$d_M = \frac{d_K + n d_A}{1 + n}; \quad I_M = \frac{I_K + n I_A}{1 + n} \quad (1-41)$$

trong đó:

$$n = \frac{m_A}{m_K} = \frac{m_o}{m_K}, \quad (1-42)$$

n là bội số hoà trộn.

1.3. HỆ CÂN BẰNG VẬT ẨM - KHÔNG KHÍ ẨM

Như chúng ta đã biết, các vật ẩm hay các sản phẩm sấy thường được bảo quản trong môi trường không khí. Riêng các sản phẩm sấy đến độ ẩm thấp lại có tính háo nước thì cần phải bảo quản trong các bao bì kín, hoặc trong môi trường khí trơ.

Quá trình tiếp xúc giữa không khí ẩm và vật ẩm trong thời gian nhất định giữa chúng sẽ xảy ra cân bằng.

Nếu không khí ẩm có hơi nước với áp suất riêng là P_b lớn hơn áp suất hơi nước P_m ngay trên bề mặt vật ẩm thì hơi nước từ không khí sẽ động và thấm vào vật ẩm. Trường hợp ngược lại với $P_m > P_b$ thì vật ẩm

sẽ truyền ẩm vào không khí.

Thời gian truyền ẩm để đến cân bằng phụ thuộc vào nhiều yếu tố như: nhiệt độ, độ ẩm của không khí và vật ẩm, tốc độ của không khí, cấu trúc của vật ẩm.

Khi cân bằng, áp suất hơi nước P_h trong không khí bằng áp suất hơi nước P_m ngay trên bề mặt vật ẩm ($P_h = P_m$).

Ở Việt Nam, đặc biệt là từ miền Trung trở ra miền Bắc, môi trường không khí thay đổi lớn giữa các mùa trong năm, vì vậy sự cân bằng giữa vật ẩm và không khí cũng khác nhau theo mùa.

Khi cân bằng, tỷ số giữa P_h và P_b (áp suất hơi nước bão hoà) bằng tỷ số giữa P_m và P_b , đúng bằng độ ẩm tương đối φ của không khí:

$$\varphi = \frac{P_m}{P_b} = \frac{P_h}{P_b} \quad (1-43)$$

Độ chứa ẩm của vật ẩm khi cân bằng được ký hiệu là u_c ; nó phụ thuộc vào cấu tạo của vật, dạng liên kết giữa ẩm và vật chất khô, các điều kiện tương tác giữa vật ẩm và môi trường không khí ẩm.

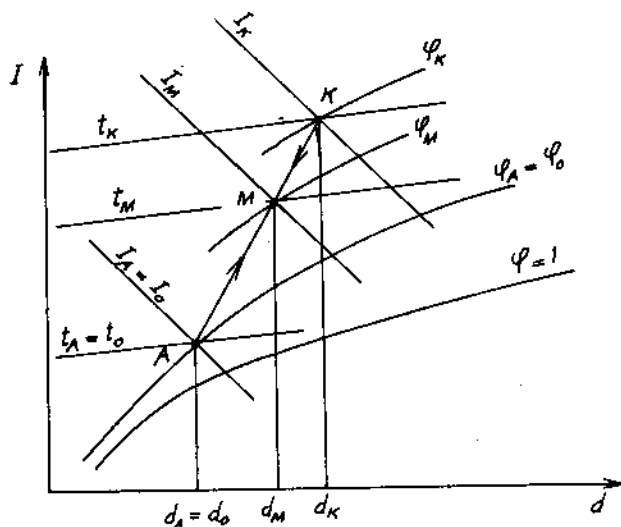
Độ chứa ẩm cân bằng u_c phụ thuộc vào nhiệt độ và độ ẩm tương đối của không khí. Khi nhiệt độ của không khí là $t = \text{const}$ thì quan hệ giữa u_c và φ thể hiện ở công thức (1-44) và trên đồ thị hình 1-6.

$$u_c = f(\varphi) \quad (1-44)$$

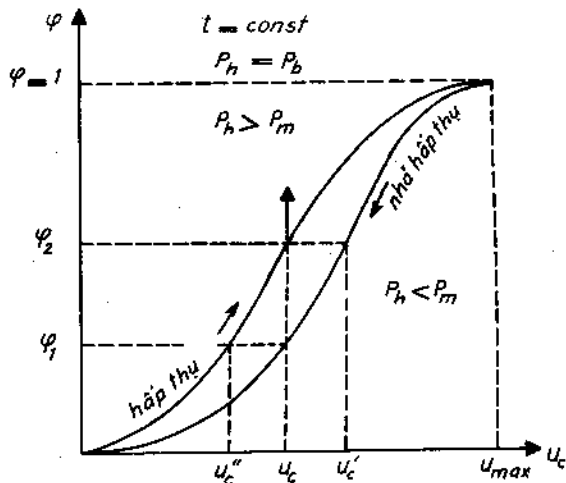
Trên hình 1-6 ta thấy, đường hút và nhả ẩm không trùng nhau. Như vậy nếu độ ẩm của không khí là φ_1 thì độ ẩm cân bằng của vật khi hút là u''_c , khi nhả u_c . Tương tự với độ ẩm là φ_2 ta có u_c và u'_c . Như vậy cùng một độ ẩm tương đối φ của không khí thì độ ẩm cân bằng của vật ở quá trình hút bao giờ cũng nhỏ hơn ở quá trình nhả.

Đường nhả ẩm ứng với quá trình sấy, đường hút ứng với quá trình bảo quản sản phẩm sấy. Nếu ta dùng không khí có $\varphi = \varphi_1$ để sấy vật ẩm thì độ ẩm của nó giảm xuống mức tối đa là $u = u_c$. Trong quá trình bảo quản, sản phẩm tiếp xúc với không khí có $\varphi \geq \varphi_2$ thì nó sẽ hút ẩm trở

lại. Những vật hão nước thì sau khi sấy phải được bảo quản trong bao gói kín hoặc trong khí trơ.



Hình 1-5. Hoà trộn khối lò với không khí ngoài trời.

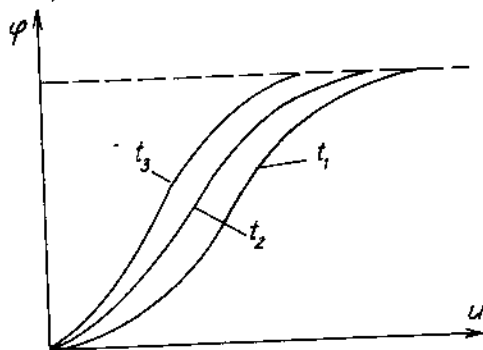


Hình 1-6. Hút và nhả ẩm của vật khi nhiệt độ không khí không đổi (đẳng nhiệt)

Khi độ ẩm của không khí là $\varphi = 1(100\%)$ thì độ ẩm của vật sẽ tương ứng là u_b . Tuy vậy u_b vẫn nhỏ hơn độ ẩm của vật khi chìm nó vào nước. u_b là độ ẩm bão hòa của vật.

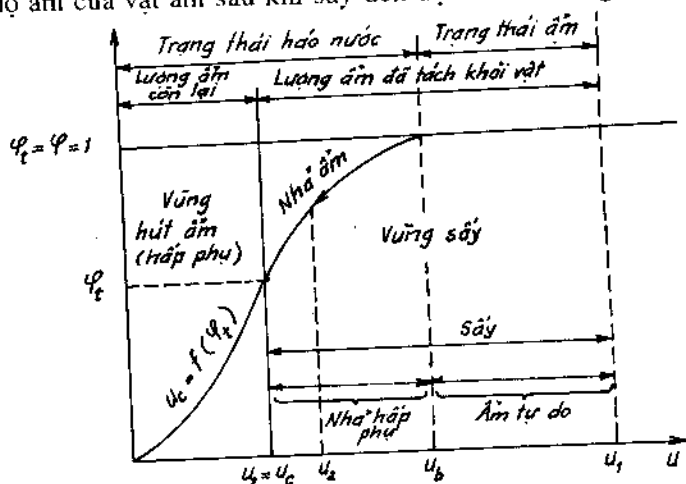
Nhìn chung đường cong cân bằng khi hút và nhả ẩm đẳng nhiệt của các vật ẩm có nguồn gốc hữu cơ hay vô cơ đều có dạng gần như chữ S.

Với các mức nhiệt độ không đổi khác nhau: $t_3 > t_2 > t_1$ thì độ dốc của đường cân bằng khác nhau (hình 1-7).



Hình 1-7. Ảnh hưởng của nhiệt độ đến cân bằng đẳng nhiệt

Trong quá trình sấy đối lưu, tác nhân sấy có thể là không khí hoặc khối lò có độ ẩm tương đối $\varphi_1 < \varphi = 1$. φ_1 là độ ẩm tương đối của tác nhân sấy, nó quyết định độ ẩm của vật ẩm sau khi sấy đến độ ẩm cân bằng là u_c (hình 1-8).



Hình 1-8. Phân loại ẩm trong quá trình sấy.

Vật ẩm đem sấy được gọi là vật sấy, nó có độ ẩm đầu là u_1 và độ ẩm cuối là u_2 . Tùy từng loại vật sấy, tùy mục đích sử dụng và bảo quản sau sấy mà quyết định độ ẩm cuối của vật sấy. Vật sấy sau quá trình sấy gọi là sản phẩm sấy. Nếu bảo quản sản phẩm sấy trong môi trường không khí tự nhiên (sản phẩm sấy tiếp xúc với không khí) có độ ẩm φ trong giới hạn $1 > \varphi > \varphi_1$ thì không nên sấy đến độ ẩm cân bằng ($u_2 = u_c$), vì sau thời gian bảo quản, sản phẩm sấy hút ẩm trong không khí và sẽ có độ ẩm cân bằng tương ứng với φ của không khí. Sấy đến độ ẩm bao nhiêu còn phụ thuộc vào quy trình công nghệ và hiệu quả kinh tế.

Các quá trình truyền nhiệt và ẩm khi sấy

Sấy là quá trình tách một phần hay phần lớn lượng ẩm có trong vật ẩm. Quá trình sấy rất phức tạp và không ổn định, trong đó đồng thời xảy ra nhiều quá trình như quá trình truyền nhiệt từ tác nhân sấy cho vật sấy, dẫn nhiệt trong vật sấy, bay hơi của ẩm, dẫn ẩm từ trong ra bề mặt của vật sấy, truyền ẩm từ bề mặt vật sấy vào môi trường sấy (tác nhân sấy). Các quá trình trên đều tuân theo quá trình truyền nhiệt và ẩm. Để nghiên cứu các quá trình này, người ta dùng các mô hình toán đơn giản.

2.1. QUAN HỆ GIỮA NHIỆT VÀ TRUYỀN ẨM

Thông thường khi sấy, ẩm tách khỏi vật sấy dưới dạng hơi. Trừ một số trường hợp do nhiệt độ cao, trường nhiệt độ lớn dẫn tới trường áp suất tăng, đẩy ẩm ở dạng lỏng ra bề mặt vật sấy, bay hơi mạnh và làm văng cả các hạt lỏng vào môi trường sấy.

Quan hệ giữa nhiệt và truyền ẩm thể hiện ở các phương trình vi phân sau:

$$Q_1 = (C_o m_o + C_u m_u) \frac{dt}{d\tau} \quad (2-1)$$

$$Q_2 = r \frac{dm_u}{d\tau} = r \cdot m_o \frac{du}{d\tau} \quad (2-2)$$

trong đó:

C_o, C_n - nhiệt dung riêng của chất khô, ẩm (nước), kJ/kg.độ;

r - nhiệt hoá hơi của nước liên kết trong vật ẩm, kJ/kg;

m_o, m_n - khối lượng chất khô, nước trong vật ẩm, kg;

Q_1, Q_2 - nhiệt lượng nung nóng vật ẩm, nhiệt lượng để nước bay hơi.

Nhiệt hoá hơi của nước liên kết trong vật ẩm bằng tổng nhiệt hoá hơi của nước, nhiệt nung nóng hơi nước, nhiệt lượng thăng năng lượng liên kết giữa nước với chất khô:

$$r = r_n + C_n(t - t_b) + \Delta r \quad (2-3)$$

trong đó:

r_n - nhiệt hoá hơi của nước, kJ/kg;

C_n - nhiệt dung riêng của nước, kJ/kg.độ;

t - nhiệt độ của hơi bị đốt nóng, °C;

t_b - nhiệt độ bay hơi của nước, °C;

Δr - nhiệt lượng liên kết của nước, kJ/kg.

Cường độ truyền nhiệt từ tác nhân sấy đến vật sấy được thể hiện ở công thức (2-4) sau đây:

$$\begin{aligned} q &= \frac{1}{F} \int_{(F)} q dF = \frac{1}{F} (Q_1 + Q_2) = \\ &= \frac{1}{F} \left[\left(C_o + C_n \frac{m_n}{m_o} \right) m_o \frac{dt}{d\tau} + r \cdot m_o \frac{du}{d\tau} \right] \end{aligned} \quad (2-4)$$

trong đó:

F - bề mặt của vật ẩm, m².

Từ công thức (2-4) ta biến đổi và thu được phương trình (2-5):

$$q = \rho_o R_o r \left(1 + \frac{C}{r} \cdot \frac{dt}{du} \right) \frac{du}{d\tau} \quad (2-5)$$

trong đó:

R_v - tỷ số thể tích trên bề mặt vật ẩm:

$$R_v = R_{v0} (1 + \alpha_F u)^{-n} \quad (2-6)$$

$$R_{v0} = \frac{V}{F_0} \quad (2-7)$$

V - thể tích vật ẩm, m^3 ;

F_0 - diện tích bề mặt vật khô tuyệt đối, m^2 ;

α_F - hệ số co bề mặt của vật sấy;

n - đại lượng không đổi;

u - độ chứa ẩm trung bình của vật sấy;

C - nhiệt dung riêng của vật ẩm, $\text{kJ/kg} \cdot \text{độ}$.

Khi sấy nếu kích thước của vật sấy không thay đổi thì $R_v = R_{v0}$.

$\frac{dt}{dt}$ - biểu diễn sự gia tăng nhiệt độ trung bình của vật sấy, còn gọi

là tốc độ nung nóng;

$\frac{du}{dt}$ - sự thay đổi độ ẩm trung bình của vật sấy, còn gọi là tốc độ sấy.

2.2. CÁC GIAI ĐOẠN SẤY

Trong quá trình sấy, độ ẩm của vật sấy liên tục thay đổi theo hướng giảm dần. Tùy cấu tạo của vật sấy và phương pháp sấy mà độ ẩm và nhiệt độ của vật sấy ở các phần trong và trên bề mặt cũng khác nhau theo từng giai đoạn sấy. Các giai đoạn sấy gồm: giai đoạn đầu hay còn gọi là giai đoạn nung nóng vật sấy đến nhiệt độ bay hơi của ẩm, giai đoạn thứ nhất hay giai đoạn có tốc độ sấy không đổi, giai đoạn thứ hai còn gọi là giai đoạn tốc độ sấy giảm dần.

Để giải thích các giai đoạn sấy ta sử dụng quá trình sấy đối lưu. Ở đây ta dùng tác nhân sấy là không khí có độ ẩm tương đối (ϕ), nhiệt độ t , tốc độ w , là ổn định (không thay đổi). Vật sấy mỏng, quá trình

sấy chậm sao cho độ ẩm và nhiệt độ ở mọi chỗ là như nhau.

Ở giai đoạn đầu (nung nóng), nhiệt độ tác nhân sấy cao hơn nhiệt độ bay hơi của ẩm, nhiệt độ của vật sấy được nâng lên đến nhiệt độ bay hơi của ẩm.

Thời gian của giai đoạn đầu được tính từ công thức sau:

$$\int_0^{t_o} \alpha(t_i - t_m) dt = \rho_o \cdot R_v \int_0^{t_b} c dt = \rho_o \cdot R_v \int_0^{t_b} (c_o + C_n \cdot u) dt \quad (2-8)$$

Quá trình sấy chỉ có thể xảy ra khi nhiệt độ của vật sấy cao hơn nhiệt độ điểm sương của tác nhân sấy, nếu ngược lại, hơi nước từ tác nhân sấy sẽ ngưng và thấm vào vật sấy.

Trong giai đoạn sấy thứ nhất, nhiệt độ của vật sấy bằng nhiệt độ bay hơi của nước. Tốc độ bay hơi nước và nhiệt độ của vật sấy là không thay đổi. Nhiệt lượng từ tác nhân sấy truyền cho vật sấy cấp hết cho nước bay hơi:

$$q = \alpha(t_i - t_m) \quad (2-9)$$

Từ phương trình (2-5) và (2-9) ta có thể thu được phương trình (2-10), từ đó giải thích ảnh hưởng của từng yếu tố đến tốc độ sấy.

Trong giai đoạn thứ nhất, chủ yếu làm bay hơi nước tự do trong vật sấy. Hơi bay lên từ bề mặt vật sấy là hơi nước bão hoà, nhiệt hoá hơi đúng bằng nhiệt hoá hơi của nước tự do. Vì vậy phương trình (2-10) đã đơn giản hoá thành (2-11):

$$\frac{du}{d\tau} = \frac{\alpha(t_i - t_m) - c \cdot \rho_o \cdot R_v \frac{dt}{d\tau}}{\rho_o \cdot R_v \cdot r} \quad (2-10)$$

$$\frac{du}{d\tau} \approx \frac{\alpha}{\rho_o \cdot R_v \cdot r_u} (t_i - t_b) \quad (2-11)$$

trong đó:

α - hệ số toả nhiệt từ tác nhân sấy cho vật sấy;

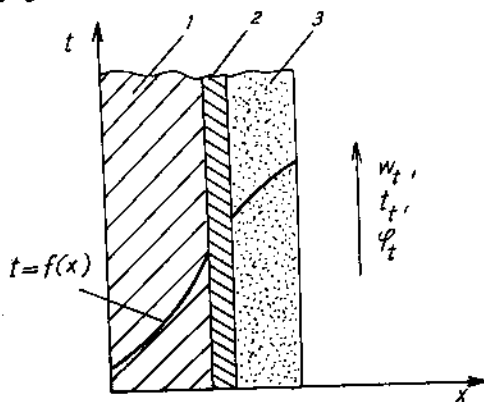
t_i - nhiệt độ tác nhân sấy;
 t_b - nhiệt độ bay hơi của nước;
 r_n - nhiệt hoá hơi của nước tự do;
 u - độ ẩm trung bình của vật sấy;
 τ - thời gian sấy.

Đối với vật sấy không có kích thước, ở giai đoạn thứ nhất của quá trình sấy các thông số ở vế phải của phương trình (2-11) là các hằng số. Nếu vật sấy có kích thước chút ít thì α và R_v sẽ thay đổi tăng lên nhưng tỷ số của chúng không đổi ($\alpha/R_v = \text{const}$). Như vậy có nghĩa là $\frac{du}{d\tau} = \text{const}$. Vì vậy giai đoạn thứ nhất còn được gọi là giai đoạn tốc độ sấy không đổi.

Để có tốc độ sấy không đổi, lượng ẩm đã bay hơi phải bằng lượng ẩm sâu bên trong truyền ra bề mặt của vật sấy. Nếu dẫn ẩm không kịp bay hơi thì vùng bay hơi ẩm sẽ lấn sâu vào phía tâm của vật sấy. Khi đó ở vật sấy hình thành ba vùng có nhiệt độ khác nhau (hình 2-1). Vùng tâm của vật sấy gọi là vùng ẩm, vùng tiếp theo là vùng bay hơi ẩm, vùng thứ ba là vùng sấy hoàn thành. Nhiệt độ tương ứng của từng vùng thoả mãn điều kiện sau:

$$t_1 < t_2 < t_3 \quad (2-12)$$

Nhiệt độ của vùng khô chính là nhiệt độ bề mặt của vật sấy ($t_3 = t_m$). Nhiệt độ vùng hai bằng nhiệt độ bay hơi ($t_2 = t_b$). Nhiệt độ của



Hình 2-1. Vùng bay hơi sâu vào trong vật sấy.

1- vùng ẩm; 2- vùng bay hơi;
 3- vùng khô.

vùng 3 sẽ tăng dần và bằng nhiệt độ tác nhân sấy ($t_3 \approx t_1$). Vùng 2 càng lấn sâu vào trong thì vùng 1 co lại, vùng 3 mở rộng. Trong quá trình này thì nhiệt độ trung bình của vật sấy tăng dần. Vì vậy giai đoạn này gọi là giai đoạn thứ hai hay giai đoạn tăng nhiệt độ của quá trình sấy.

Trong giai đoạn này hiệu ($t_1 - t_3$) giảm dần do t_3 tăng dần đến bằng t_1 . Ở vùng 3 bắt đầu bay hơi nước liên kết nên $r > r_0$.

Những điều kiện đều dẫn đến kết quả làm giảm $du/d\tau$, nên còn gọi là giai đoạn giảm dần tốc độ sấy.

Tốc độ sấy không đổi ở giai đoạn thứ nhất, giảm dần ở giai đoạn thứ hai, bằng không khi quá trình sấy hoàn thành. Kết quả là độ ẩm của sản phẩm sấy đạt độ ẩm cân bằng với tác nhân sấy.

2.3. CÁC ĐƯỜNG CONG SẤY VÀ TỐC ĐỘ SẤY

Đường cong biểu diễn sự thay đổi độ ẩm của vật sấy theo thời gian sấy gọi là đường cong sấy:

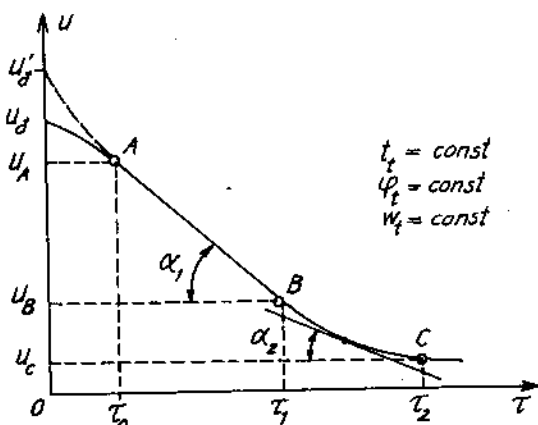
$$u = f(\tau) \quad (2-13)$$

Dạng của đường cong sấy phụ thuộc vào nhiều yếu tố như dạng liên kết giữa nước và vật sấy, hình dáng, kích thước và đặc tính của vật sấy, phương pháp và chế độ sấy. Đường cong sấy là hàm của quá trình sấy, vì vậy tuy là ở các chế độ sấy và phương pháp sấy khác nhau nhưng dạng đường cong là tương tự.

Hình 2-2 biểu diễn đường cong sấy khi sấy đối lưu vật sấy có kích thước mỏng, ở chế độ sấy không đổi (các thông số của tác nhân sấy không thay đổi).

Từ hình 2-2 ta thấy, trong khoảng thời gian từ 0 - τ_0 là giai đoạn đầu của quá trình sấy. Trong giai đoạn này nếu nhiệt độ tác nhân sấy cao hơn nhiệt độ của vật sấy ($t_1 > t$) thì đường cong sấy là đoạn $u_d - A$ (vật sấy bị đốt nóng), nếu $t > t_1$ thì đường cong sấy là $u'_d - A$ (vật sấy

được làm nguội).



Hình 2-2. Đường cong sấy

Trong khoảng thời gian $\tau_0 - \tau_1$ là giai đoạn thứ nhất của quá trình sấy. Tốc độ sấy trong giai đoạn này là không đổi, nên nó còn được gọi là giai đoạn sấy tốc độ không đổi: (A - B).

$$\frac{du}{d\tau} = \text{tg} \alpha_1 \quad (2-13)$$

Khi sấy vật có kích thước rất mỏng thì giai đoạn đầu ($u_d - A$) rất ngắn đến mức có thể xem như giai đoạn sấy thứ nhất bắt đầu từ khi $\tau = 0$.

Ngược lại khi sấy vật sấy có kích thước lớn (dày), độ ẩm thấp thì giai đoạn sấy thứ nhất rất ngắn (đoạn A-B quá ngắn) có thể bỏ qua, khi đó gần như chỉ có giai đoạn sấy thứ hai (giai đoạn tốc độ sấy giảm dần).

Trong khoảng thời gian $\tau_1 - \tau_2$ ta có:

$$\frac{du}{d\tau} = \text{tg} \alpha_2 \quad (2-14)$$

Giá trị của tốc độ tính từ (2-14) giảm dần nên góc α , giảm dần từ $B - C$. Đường cong sấy tiệm cận với hàm ẩm cân bằng u_c . Đây là giai đoạn sấy thứ hai.

Điểm B gọi là điểm chuyển từ giai đoạn sấy thứ nhất sang giai đoạn sấy thứ hai. u_B gọi là độ ẩm tới hạn thứ nhất của vật sấy, nó nói lên đặc tính của vật sấy và tác nhân sấy.

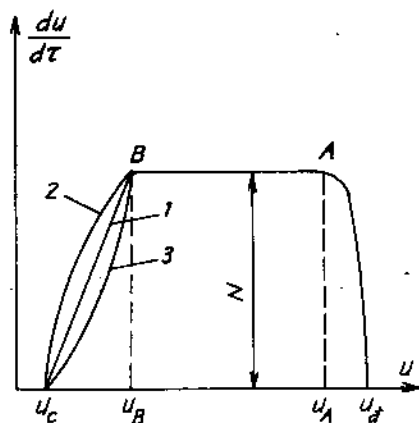
Đường cong tốc độ sấy biểu diễn quan hệ giữa tốc độ sấy ($du/d\tau$) và hàm ẩm u của vật sấy:

$$\frac{du}{d\tau} = f(u) \quad (2-15)$$

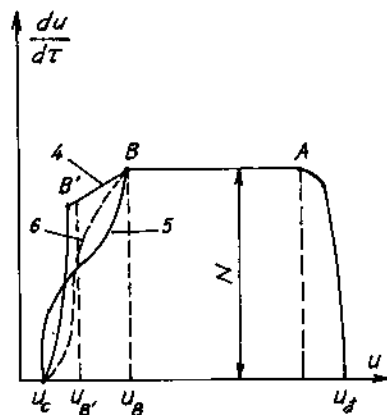
Đường cong tốc độ sấy thu được từ việc đạo hàm đường cong sấy theo thời gian.

Hình 2-3 biểu diễn đường cong tốc độ sấy phụ thuộc vào hàm ẩm. Trong quá trình sấy do hàm ẩm u giảm dần nên đường cong tốc độ sấy bắt đầu từ bên phải chạy sang trái. Từ lúc bắt đầu sấy, tốc độ sấy tăng mạnh và rất nhanh đạt đến giá trị ổn định của giai đoạn sấy thứ nhất. Trong giai đoạn sấy thứ nhất, tốc độ sấy là không đổi nên đường cong tốc độ sấy chạy song song với trục hoành từ A đến B . Từ sau điểm B thì tốc độ sấy giảm dần cho đến không, ứng với độ ẩm cân bằng của vật sấy (u_c). Đường cong tốc độ sấy trong giai đoạn thứ hai này phức tạp. Nó phụ thuộc vào cấu trúc của vật sấy, và dạng liên kết giữa ẩm với vật chất khô trong vật sấy. Có sáu dạng đường cong tốc độ sấy ở giai đoạn thứ hai (hình 2-3 và 2-4).

Đường 1 ứng với sấy giấy và cactông mỏng, thể hiện sự giảm tuyến tính của tốc độ sấy vào hàm ẩm u . Đường 2 cong sang trái, nó giống với quá trình sấy hàng dệt (vải, quần áo,...), da, mì sợi, mì ống, v.v. Đường 3 ứng với quá trình sấy vật liệu có tính xốp. Đường 4 gãy khúc tại B' có hàm ẩm $u_{B'}$ gọi là hàm ẩm tới hạn thứ hai (tới hạn thứ nhất là u_B). Đường này ứng với quá trình sấy cát, phèn hoặc vật khác tương tự. Đường 5 ứng với sấy bánh mì. Đường 6 ít gặp.



Hình 2-3. Các dạng đường cong tốc độ sấy



Hình 2-4. Các đường cong phức tạp của tốc độ sấy.

Đường cong sấy (hình 2-2) và các đường cong tốc độ sấy (hình 2-3 và 2-4) giúp ta tính toán thiết kế hệ thống sấy. Chúng xác định đặc tính quá trình, động học tách ẩm, thời gian sấy. Cũng qua đó chúng ta biết được cấu trúc của vật sấy, sự liên kết ẩm với vật chất khô trong vật sấy.

Các đường cong sấy (hình 2-2) và đường cong tốc độ sấy (hình 2-3) được xây dựng bằng thực nghiệm đối với một loại sản phẩm nào đó. Các đường cong trên cũng có thể biểu diễn bằng các phương trình gần đúng. Đối với đường cong tốc độ sấy giữa hai giai đoạn có phương trình riêng.

Trong giai đoạn sấy thứ nhất, do tốc độ sấy là hằng số N nên ta dễ dàng lập phương trình sau:

$$-\frac{du}{d\tau} = N = \text{const} \quad (2-16)$$

Dấu trừ thể hiện sự giảm dần của hàm ẩm u theo thời gian sấy.

Nếu xem thời gian nung nóng vật sấy là rất ngắn so với thời gian của giai đoạn sấy thứ nhất và tích phân phương trình (2-16) từ

$\tau = 0$ đến τ , ta có:

$$u_d - u = N \cdot \tau \quad (2-17)$$

trong đó:

$$u = u_d - N \cdot \tau \quad (2-18)$$

Phương trình (2-17) là phương trình đoạn đường cong tốc độ sấy ở giai đoạn thứ nhất.

Tốc độ sấy N bằng tang của góc nghiêng đường cong sấy (hình 2-2) thực nghiệm cho loại vật sấy cụ thể nào đó. Khi không có số liệu thực nghiệm thì N có thể tính như sau:

Vì trong giai đoạn thứ nhất, nhiệt lượng từ tác nhân sấy truyền cho vật sấy đúng bằng nhiệt lượng cấp cho lượng ẩm bay hơi, nhiệt độ vật sấy không đổi nên ta có:

$$q = \rho_o \cdot R_v \cdot r \frac{du}{d\tau} = \rho_o \cdot R_v \cdot r \cdot N \quad (2-19)$$

trong đó:

$$N = \frac{q}{\rho_o \cdot R_v \cdot r} \quad (2-20)$$

vì $q = q_m \cdot r$ nên:

$$N = \frac{q_m}{\rho_o \cdot R_v} \quad (2-21)$$

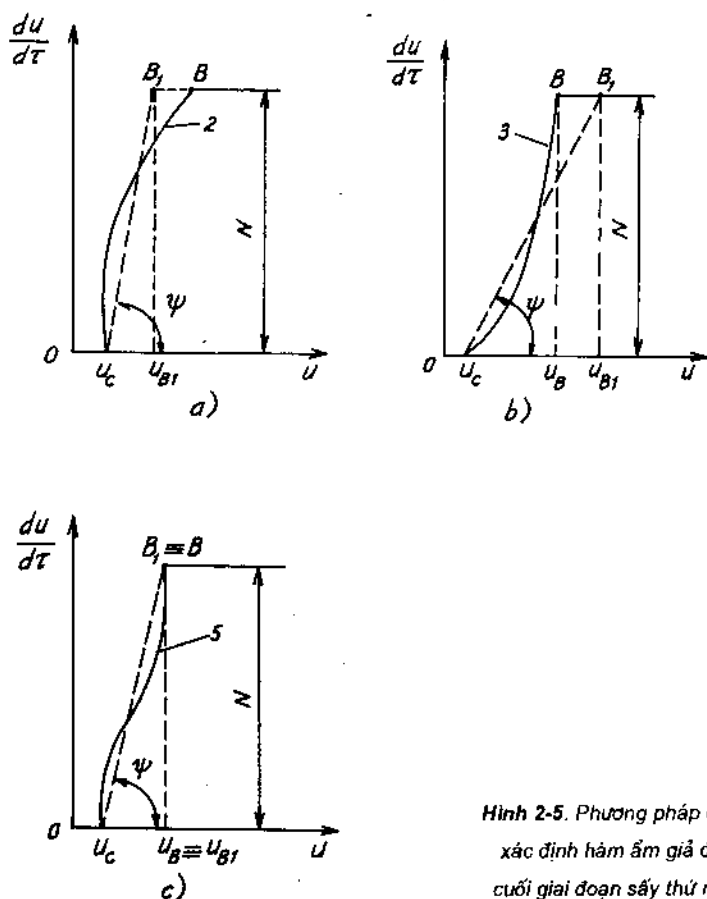
Phương trình đường cong sấy có dạng:

$$u = u_d - \frac{q_m}{\rho_o \cdot R_v} \cdot \tau \quad (2-22)$$

q_m là mật độ dòng hơi nước từ bề mặt vật sấy toả vào tác nhân sấy hay còn gọi là cường độ sấy. Quan hệ giữa hàm ẩm và cường độ sấy thể hiện ở phương trình sau:

$$q_m = \rho_o R_v \frac{du}{d\tau} \quad (2-23)$$

Cường độ sấy q_m là kết quả của quá trình truyền nhiệt và truyền ẩm giữa tác nhân sấy và vật sấy, nó phụ thuộc vào bề mặt vật sấy, phụ thuộc vào nhiệt độ t , độ ẩm tương đối φ , tốc độ w , của tác nhân sấy.



Hình 2-5. Phương pháp đồ thị xác định hàm ẩm giả định cuối giai đoạn sấy thứ nhất.

Việc xây dựng phương trình cho đoạn đường cong tốc độ sấy ở giai đoạn sấy thứ hai là tương đối khó khăn. Có nhiều học giả sử dụng phương pháp vật lý để khái quát thành các phương trình thực nghiệm hoặc bán thực nghiệm từ một vài số liệu thực nghiệm. Sau đây là phương pháp của Fisher.

Fisher thay đường cong bằng đoạn thẳng sao cho ít sai sót (hình 2-5).

Như vậy các đường cong dạng 2, 3, 5 đã được thay bằng các đoạn thẳng tương ứng có góc nghiêng là Ψ khác nhau.

Do cách thay như trên nên điểm B đã trở thành điểm giả định B_1 có hàm ẩm là u_{B1} . Khi ấy phương trình đường tốc độ sấy ở giai đoạn hai có dạng sau:

$$-\frac{du}{d\tau} = K(u - u_c) \quad (2-24)$$

Tích phân phương trình (2-24) ta có:

$$\ln = \frac{u_{B1} - u_c}{u - u_c} = K \cdot \tau \quad (2-25)$$

trong đó:

$$u - u_c = (u_{B1} - u_c) \exp(-K \cdot \tau) \quad (2-26)$$

K là hệ số sấy:

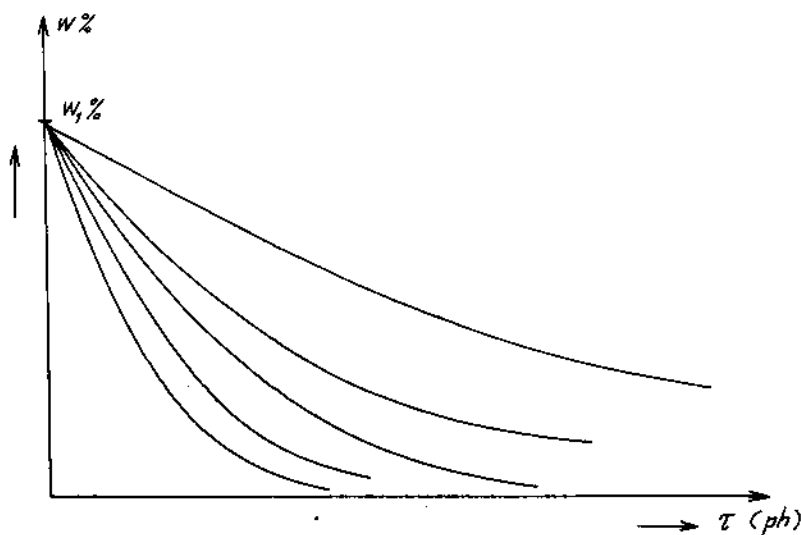
$$K = \operatorname{tg} \psi = \frac{N}{u_{B1} - u_c} \quad (2-27)$$

K có thể tra trên đồ thị thực nghiệm.

Trong quá trình sấy, nếu giai đoạn đầu ngắn thì có thể bỏ qua và dựng đường cong sấy từ điểm A (hình 2-2). Với cùng một loại vật sấy có độ ẩm ban đầu như nhau được sấy trong các chế độ sấy khác nhau thì thu được đường cong sấy cùng dạng nhưng mức độ cong khác nhau,

thời gian sấy cũng dài ngắn khác nhau. Như vậy chế độ sấy ảnh hưởng rất lớn đến thời gian sấy (hình 2-6).

Tùy từng loại vật sấy mà chọn chế độ sấy phù hợp thì mới bảo đảm chất lượng của sản phẩm sấy. Chế độ sấy đối lưu được thể hiện ở các thông số của tác nhân sấy (t_i , φ_i , w_i). Chẳng hạn với thóc có độ ẩm ban đầu $W_1\%$ cao đem sấy với chế độ t_i cao, φ_i thấp, w_i lớn sẽ làm gạo nát, thóc giống có độ nảy mầm kém.



Hình 2-6. Đường cong sấy với các chế độ sấy khác nhau

Trong sấy đối lưu thì nhiệt độ của vật sấy được quyết định bởi nhiệt độ của tác nhân sấy. Trong quá trình sấy, nhiệt độ của vật sấy tăng nhanh ở giai đoạn đầu, không đổi ở giai đoạn thứ nhất, tăng dần ở giai đoạn thứ hai đến bằng nhiệt độ tác nhân sấy (đối với vật sấy mỏng, chế độ sấy nhẹ). Đối với vật sấy có kích thước lớn (hoặc xếp lớp dày) thì nhiệt độ bề mặt và ở tâm khác nhau. Nhiệt độ bề mặt vật sấy tăng nhanh và bằng nhiệt độ bay hơi của ẩm (nước) t_b và bằng nhiệt độ

bầu ướt t_M của tác nhân sấy.

$$t_m = t_b = t_M = t_t - \frac{r \cdot q_m}{\alpha} \quad (2-28)$$

t_m - nhiệt độ bề mặt của vật sấy;

t_b, r - nhiệt độ bay hơi, nhiệt hoá hơi của ẩm (nước trong vật sấy);

t_t, t_M - nhiệt độ, nhiệt độ bầu ướt của tác nhân sấy;

α - hệ số toả nhiệt từ tác nhân sấy đến vật sấy;

q_m - cường độ sấy;

t - nhiệt độ của vật sấy.

Nhiệt độ trung bình giữa bề mặt và tâm vật sấy là t_{tb} được thể hiện ở bất đẳng thức sau:

$$t_t > t_M > t_m > t_{tb} \text{ khi } t < t_b$$

$$t_{tb} > t_m > t_M < t_t \text{ khi } t > t_b$$

Ở giai đoạn sấy thứ nhất (tốc độ sấy không đổi) ta có bất đẳng thức sau:

$$t_t > t_M = t_m \geq t_{tb}.$$

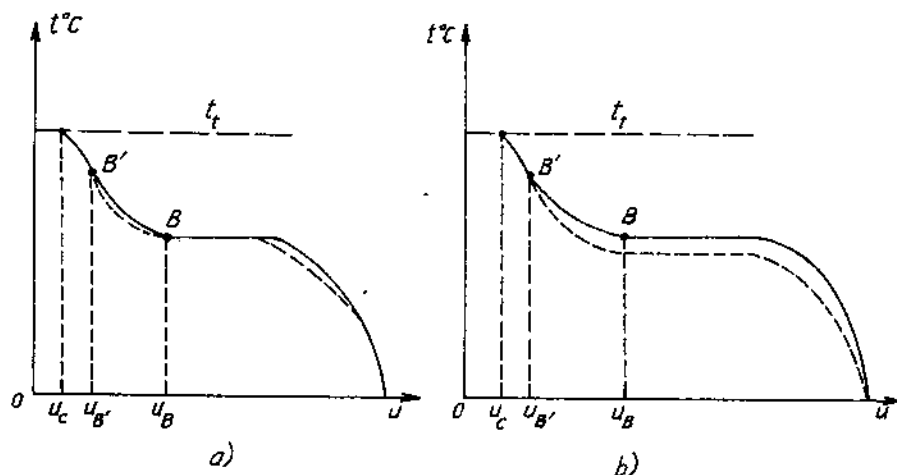
Trong giai đoạn sấy thứ hai sẽ là bất đẳng thức sau:

$$t_t > t_m > t_M \geq t_{tb}$$

Đến cuối quá trình sấy ta có:

$$t_m = t_{tb} = t_t$$

Hình 2-7 biểu diễn quan hệ giữa nhiệt độ của vật sấy và hàm ẩm trung bình của nó trong suốt quá trình sấy. Đường nét liền là nhiệt độ bề mặt, đường nét đứt đoạn là nhiệt độ tâm của vật sấy. Điểm B là kết thúc giai đoạn sấy thứ nhất và bắt đầu giai đoạn sấy thứ hai. Điểm B' là lúc nhiệt độ bề mặt và tâm vật sấy bằng nhau. Hình 2-7a ứng với sấy vật sấy mỏng và co ngót còn hình 2-7b ứng với vật sấy dày và không co ngót.



Hình 2-7. Các đường cong nhiệt độ của vật sấy.

a) với vật sấy mỏng và co ngót.

b) với vật sấy dày và không co ngót (không giảm kích thước).

2.4. THỜI GIAN SẤY

Thời gian sấy ký hiệu là τ , nó là thông số quan trọng để tính thiết kế hệ thống máy sấy:

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 \quad (2-29)$$

τ_1, τ_2 - thời gian sấy của giai đoạn thứ nhất, giai đoạn thứ hai.

Thời gian sấy có thể suy ra từ phương trình đường cong tốc độ sấy ở cả hai giai đoạn, xem phương trình (2-19) và (2-25).

Ta cũng có thể tính thời gian sấy theo phương pháp của A.V.Likov như sau:

$$\tau = \frac{u_d - u_{B_1}}{N} - \frac{1}{\alpha N} \ln \frac{u - u_c}{u_{B_1} - u_c} \quad (2-30)$$

Với $x(u_{B1} - u_c) = 1$ và các điều kiện sau:

$$\frac{u_d - u_{B1}}{N} = \frac{u_d - u_c}{N} = \frac{u_{B1} - u_c}{N} = \frac{u_d - u_c}{N} - \frac{1}{x.N}$$

ta thu được phương trình (2-31):

$$\tau = \frac{u_d - u_c}{N} - \frac{1}{x.N} \{1 + \ln [x(u - u_c)]\} \quad (2-31)$$

trong đó:

u, u_d, u_c - hàm ẩm của vật sấy ở thời điểm bất kỳ, hàm ẩm đầu, hàm ẩm cân bằng;

u_{B1} - hàm ẩm giả định của vật sấy (hình 2-5);

N - tốc độ sấy của giai đoạn thứ nhất;

x - hệ số tương đối giữa hệ số sấy K và tốc độ sấy N :

$$x = \frac{K}{N} = \frac{1}{u_{B1} - u_c} \quad (2-32)$$

Thời gian sấy còn có thể tính theo phương pháp của nhiều tác giả khác nhau, xem tài liệu tham khảo [1].

Tốt nhất là với mỗi loại vật sấy, ta tiến hành sấy thí nghiệm ở chế độ thích hợp để xác định thời gian sấy, từ đó tính thiết kế hệ thống máy sấy thực tế cho sản xuất.

Công nghệ sấy

Công nghệ nói chung là một khoa học trong sản xuất. Nó bao gồm hàng loạt quá trình đơn giản và phức tạp tác động lên nguyên liệu ban đầu nào đó để thu được sản phẩm cuối cùng theo ý muốn. Lựa chọn công nghệ sản xuất tốt sẽ thu được sản phẩm có chất lượng cao và giá thành hạ.

Công nghệ sấy là quá trình làm giảm ẩm trong vật ẩm đến độ ẩm mong muốn. Vật ẩm trước khi đem sấy thường có nguồn gốc thực vật, động vật, khoáng vật. Sản phẩm sấy được đem sử dụng ngay, đem bảo quản hoặc mới là bán thành phẩm của công nghệ nào đó.

Lựa chọn công nghệ sấy phải dựa trên tính chất vật ẩm trước, trong khi sấy và sản phẩm sấy. Để lựa chọn công nghệ sấy cho mỗi loại sản phẩm ta dựa trên những kinh nghiệm lâu đời của nhân loại dưới sự chỉ đạo của các lý thuyết về sấy và những kết quả thực nghiệm, những tiến bộ khoa học kỹ thuật liên quan đến quá trình sấy.

3.1. NHỮNG TÍNH CHẤT CÔNG NGHỆ CỦA CÁC SẢN PHẨM THỰC PHẨM LÀ ĐỐI TƯỢNG SẤY

Các sản phẩm thực phẩm có nguồn gốc thực vật, động vật hay khoáng vật, vì vậy mỗi loại có những đặc tính riêng. Mỗi loại cụ thể đều có các thông số riêng như: hoá lý, cơ lý, nhiệt vật lý, điện vật lý, hoá học, sinh học v.v. Chúng được gọi là những tính chất công nghệ của vật liệu sấy (vật sấy). Tất cả các tính chất trên đều chịu đựng các sự thay đổi, nhất là thay đổi ẩm dưới tác dụng của nhiệt trong quá

trình sấy. Sản phẩm sấy càng giữ nguyên những tính chất ban đầu hoặc tăng cường tính chất tốt nào đó thì công nghệ sấy đã lựa chọn là phù hợp.

Tất cả các sản phẩm thực phẩm đều có tính keo, xốp - mao dẫn.

Trong quá trình sấy, các sản phẩm thực phẩm mất đi phần lớn lượng ẩm (có khi đến 80% hoặc 90%) của chúng có thể dẫn tới làm giảm chất lượng. Sự truyền ẩm, bay hơi ẩm lớn (tốc độ sấy cao) và không đồng đều sẽ làm cong vênh, nứt vỡ sản phẩm. Khi nhiệt độ sấy quá cao sẽ làm cho caramen hoá đường, sự hoạt động của các enzym làm tối màu sản phẩm. Mỗi loại sản phẩm đều quy định một nhiệt độ sấy cao nhất gọi là nhiệt độ sấy tối đa cho phép (t_{max}). Thường chọn nhiệt độ vật sấy trong quá trình sấy nhỏ hơn t_{max} .

Sấy các loại hạt giống cần chọn nhiệt độ thấp, tốc độ sấy không lớn để bảo vệ mầm hạt. Thóc thương phẩm cũng không được sấy ở nhiệt độ cao, tốc độ lớn, vì như vậy sẽ làm gạo bị nát khi chế biến.

Độ ẩm của sản phẩm sấy được quy định phụ thuộc vào phương pháp bảo quản, thời gian bảo quản hoặc công nghệ chế biến tiếp theo. Một số sản phẩm thực phẩm đòi hỏi sấy đến độ ẩm phù hợp. Sấy kiệt ẩm sẽ làm cho một số chất hoạt tính sinh học mất khả năng phục hồi. Sấy kiệt ẩm trong sấy thăng hoa làm phá vỡ toàn vẹn của lớp phân tử bề mặt, dẫn tới làm giảm thời gian bảo quản bởi tác dụng của môi trường.

Sấy đến độ ẩm còn cao hơn độ ẩm yêu cầu cũng không được. Điều kiện cơ bản để bảo quản sản phẩm sấy trong môi trường không khí là độ ẩm của nó phải thấp hơn độ ẩm cân bằng phụ thuộc vào độ ẩm tương đối φ của không khí có giá trị hạn chế sự phát triển của nấm mốc hay các vi sinh vật nói chung. Giới hạn dưới của độ ẩm không khí đối với sự sinh sôi của các loại như sau:

Nấm mốc: $\varphi = 47\%$

Nấm men: $\varphi = 88\%$

Thuốc sát trùng: $\varphi = 95\%$

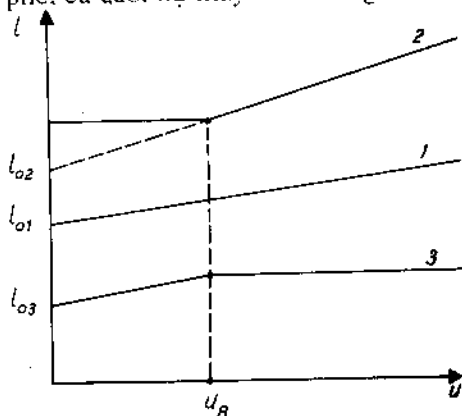
Các vi sinh vật: $\varphi = 69\%$

Khi chọn độ ẩm của sản phẩm sấy cũng cần chú ý đến việc hạn chế tối đa hoạt động của các enzym làm tối màu sản phẩm.

Chất lượng của một số sản phẩm thực phẩm còn là màu sắc và hương vị. Có những loại sau khi sấy càng giữ nguyên được màu sắc, hương vị ban đầu càng tốt, song lại có thứ cần có màu sắc đặc trưng mới sau khi sấy như: thuốc lá, cà phê, ca cao. Sự thay đổi màu gắn liền với sự thay đổi hoá học dưới tác dụng kéo dài của nhiệt. Nhiệt độ cao, tốc độ sấy lớn làm bay hơi nhiều hương đặc trưng của sản phẩm.

Tính chất công nghệ quan trọng khác của sản phẩm sấy là sự co kích thước.

Hình 3-1 biểu diễn sự thay đổi kích thước của sản phẩm sấy trong quá trình sấy. Hầu hết các sản phẩm thực phẩm khi sấy có quan hệ giữa



Hình 3-1. Các dạng thay đổi kích thước của vật sấy trong quá trình sấy

kích thước l và hàm ẩm u là tuyến tính (đường 1). Đường 2 cho ta thấy các vật sấy co kích thước tuyến tính trong giai đoạn sấy thứ nhất, và không co kích thước trong giai đoạn sấy thứ hai. Đường 3 thì ngược lại so với đường 2.

Bằng những khảo sát thực nghiệm, người ta chứng minh được sự co kích thước của vật sấy trong quá trình sấy là tuyến tính:

$$l = l_0(1 + \alpha_l u) \quad (3-1)$$

trong đó:

l_0 - kích thước khi hàm ẩm $u = 0$, với đường l và 3 hình 3-1 thì ta có:

l_{01}, l_{03} - kích thước thật, còn l_{02} là kích thước có điều kiện;

α_1 - hệ số co kích thước.

$$\alpha_1 = \frac{\frac{l}{l_0} - 1}{u} = \frac{1}{l_0} \frac{dl}{du} \quad (3-2)$$

Ý nghĩa vật lý của α_1 là sự thay đổi tương đối của kích thước so với thay đổi một đơn vị hàm ẩm.

Phương trình (3-1) phù hợp với quá trình sấy nhẹ, khi quá trình sấy với cường độ mạnh thì quan hệ giữa $l = f(u)$ được thể hiện như sau:

$$l = l_0 (1 + \alpha'_1 u)^n \quad (3-3)$$

trong đó:

n - hệ số phụ thuộc vào dạng vật sấy;

α'_1 - hệ số co kích thước tính theo hàm ẩm trung bình.

Sự thay đổi kích thước của vật sấy có thể tính thông qua hệ số co kích thước tương đối δ_1 :

$$\delta_1 = \frac{l_1 - l_2}{l_1} \quad (3-4)$$

trong đó:

l_1, l_2 - kích thước dài của vật trước và sau khi sấy.

Quan hệ giữa α_1 và δ_1 thể hiện ở quan hệ sau đây:

$$\alpha_1 = \frac{\delta_1}{(u_1 - u_2) - \delta_1 u_1} \quad (3-5)$$

Sự thay đổi kích thước dài cũng làm thay đổi thể tích của vật sấy.

$$V = V_0 (1 + \alpha_v u) \quad (3-6)$$

trong đó:

V_0 - thể tích của chất khô tuyệt đối trong vật sấy;

α_v - hệ số co thể tích:

$$\alpha_v = \frac{1}{V_0} \cdot \frac{dV}{du} \quad (3-7)$$

Tương tự ta có hệ số co thể tích tương đối δ_v :

$$\delta_v = \frac{V_1 - V_2}{V_1} \quad (3-8)$$

trong đó:

$$\alpha_v = \frac{\delta_v}{(u_1 - u_2) - \delta_v u_1} \quad (3-9)$$

Bằng nhiều số liệu thực nghiệm với các loại vật sấy khác nhau, người ta tìm được quan hệ giữa α_v và α như sau:

$$\alpha_v = 3 \cdot \alpha \quad (3-10)$$

Trong trường hợp vật sấy có kích thước đáng kể và ẩm phân bố không đều, dưới tác dụng của trường nhiệt độ mạnh sẽ làm cho sản phẩm sấy bị cong vênh, nứt vỡ ra, do sự co kích thước giữa các vùng trong vật sấy khác nhau gây ra ứng suất lớn hơn lực liên kết của các phần tử trong vật sấy.

Căn cứ vào tính chất công nghệ của vật sấy, người ta phân tích và lựa chọn được phương thức và chế độ sấy tối ưu, tính hệ thống sấy phù hợp có thể thu được sản phẩm sấy có năng suất cao, chất lượng tốt và giá thành hạ.

3.2. LỰA CHỌN PHƯƠNG PHÁP VÀ CHẾ ĐỘ SẤY

Khi nói: chế độ sấy tối nhất, phương pháp sấy phù hợp nhất trong hệ thống máy sấy hiện đại nhất, chỉ đúng cho từng loại sản phẩm sấy cụ thể. Mỗi loại vật sấy đòi hỏi phương pháp và chế độ sấy riêng.

Căn cứ vào đặc điểm cấu tạo của vật sấy, chất lượng sản phẩm sấy mà chọn chế độ và phương pháp sấy tối ưu. Căn cứ vào năng suất, hiệu quả kinh tế mà lựa chọn, thiết kế và chế tạo hệ thống sấy phù hợp.

Chẳng hạn để thu được sữa bột gầy, ta dùng phương pháp sấy phun sữa tươi đã tách bơ. Để sấy các loại hạt có thể dùng nhiều phương pháp, nhưng tốt hơn cả là trong tháp sấy tuần hoàn hạt v.v.

Hệ thống máy sấy cần đáp ứng các yêu cầu sau:

- Đáp ứng các thông số của chế độ sấy yêu cầu để thu được sản phẩm sấy như ý muốn.

- Có các chỉ số kinh tế kỹ thuật cao như: tiêu tốn ít nhiên liệu, năng lượng điện trên mỗi đơn vị sản phẩm hay trên mỗi kg ẩm bay hơi; năng suất riêng theo diện tích hoặc thể tích buồng sấy phải lớn; ít lao động phục vụ.

- Mức độ cơ giới hoá và tự động hoá cao.

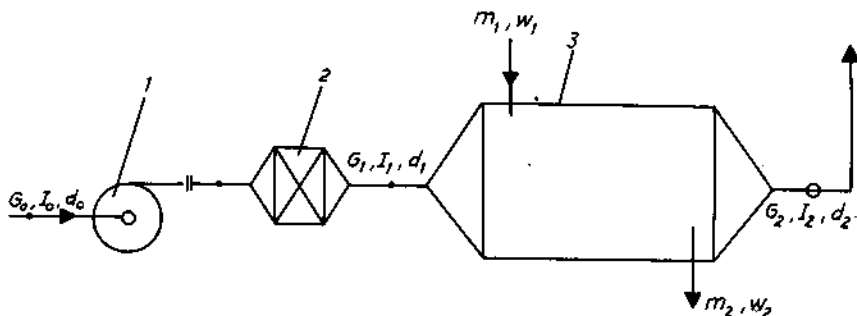
- Giá thành hạ; lắp đặt, vận hành, sửa chữa dễ, tuổi thọ cao.

- Có thể sấy một vài loại vật sấy có kích thước và tính chất gần nhau.

Sấy đổi lưu

Sấy đổi lưu là dùng không khí nóng hoặc khối lò làm tác nhân sấy có nhiệt độ, độ ẩm, tốc độ (t_1 , φ_1 , w_1) phù hợp, chuyển động chảy trườn lên vật sấy làm cho ẩm (nước) trong vật sấy bay hơi rồi đi theo tác nhân sấy. Sau thời gian sấy nào đó ta thu được sản phẩm sấy có độ ẩm theo yêu cầu. Sấy đổi lưu có thể thực hiện theo mẻ (gián đoạn) hay liên tục. Hình 4-1 thể hiện sơ đồ nguyên lý sấy đổi lưu bằng không khí nóng. Quạt 1 hút không khí ngoài trời đẩy qua caloriphe 2 để được nung nóng thành tác nhân sấy rồi đi vào buồng sấy 3, chảy trườn qua các vật sấy đặt trong buồng, làm ẩm trong vật sấy bay hơi rồi cuốn theo ra cửa thải.

Sản phẩm sấy có thể lấy ra khỏi buồng sấy theo mẻ hoặc liên tục tương ứng với nạp vào. Caloriphe 2 đốt nóng không khí có thể là loại caloriphe điện, caloriphe hơi nước v.v.



Hình 4-1. Sơ đồ hệ thống sấy đổi lưu.

1-quạt, 2- caloriphe, 3-buồng sấy.

Hình 4-1 chỉ là sơ đồ nguyên lý sấy đối lưu, kết cấu thực của hệ thống rất đa dạng, phụ thuộc vào rất nhiều yếu tố.

4.1. ĐẶC TÍNH CHUNG VÀ PHÂN LOẠI CÁC HỆ THỐNG SẤY ĐỐI LƯU

Để phân loại các hệ thống sấy đối lưu người ta dựa vào những yếu tố sau: chế độ làm việc, dạng nguyên liệu đem sấy (vật sấy), kiểu cách gia nhiệt cho tác nhân sấy, dạng đối lưu tác nhân sấy, chiều chuyển động của tác nhân sấy và vật sấy, cách điều chỉnh tác nhân sấy, sơ đồ làm việc của hệ thống sấy, cấu trúc buồng sấy hoặc hầm sấy.

4.1.1. Chế độ làm việc của hệ thống sấy đối lưu

Hệ thống sấy đối lưu có thể làm việc gián đoạn theo chu kỳ hay làm việc liên tục.

Sấy gián đoạn có những ưu nhược điểm như sau: đơn giản, dễ chế tạo, dễ vận hành, việc nạp nguyên liệu và lấy sản phẩm theo mẻ, vật sấy được phân bố đều và đặt tĩnh trong không gian buồng sấy dễ dàng, có thể sấy các nguyên liệu khác nhau, giá thành hạ. Nhược điểm là năng suất thấp, tốn nhiều năng lượng, mức độ cơ giới hoá và tự động hoá thấp, quá trình sấy không đồng đều.

Sấy theo chu kỳ là sau mỗi khoảng thời gian bằng nhau sẽ nạp vào buồng sấy một lượng vật sấy nhất định, đồng thời lấy ra lượng sản phẩm tương ứng. Chiều chuyển động của vật sấy và tác nhân sấy là ngược nhau.

Sấy liên tục là vật sấy liên tục nạp vào và sản phẩm sấy liên tục lấy ra khỏi buồng sấy.

Sấy theo chu kỳ và liên tục có nhiều ưu điểm như năng suất cao, chất lượng đồng đều, tốn ít năng lượng, mức độ cơ giới hoá và tự động

hoá cao. Nhược điểm là giá thành của hệ thống sấy cao, người vận hành phải có trình độ cao hơn, không sấy được các loại vật sấy khác nhau.

4.1.2. Dạng vật sấy

Vật liệu đem sấy có các dạng: hạt, mảnh, lá, rời xếp lớp; dạng bột; dạng kem; dung dịch.

Căn cứ vào dạng vật sấy người ta lựa chọn hệ thống sấy phù hợp.

Vật sấy có dạng mảnh định hình, thái nát, cắt đoạn, thường xếp lớp trên các khay đặt trên các tầng khung cố định, đặt trên khung treo di động, xếp trên xe gồng để sấy trong buồng sấy hoặc hầm bằng không khí nóng hoặc khói lò.

Vật sấy dạng hạt hoặc gần với dạng hạt thường sấy đối lưu trên khay cố định, trên băng tải, vít tải, rơi tự do, thùng quay, tháp tuần hoàn hạt, tầng sôi, dòng lưu động.

Vật sấy dạng bột, hạt nhỏ thường sấy bằng dòng lưu động (vật sấy cùng chuyển động trong ống sấy với tác nhân sấy).

Vật sấy dạng bột nhão (kem) được sấy trên khay cố định, trên băng tải, vít tải, bằng tang có rôto cánh đảo, vật đệm tầng sôi (dùng các quả cầu nhỏ cho dính bột nhão rồi sấy tầng sôi), trên tang, trên phim.

Dung dịch được sấy phun là tốt nhất, cũng có thể sấy bằng tang quay.

4.1.3. Căn cứ vào áp suất trong buồng sấy

Thường áp dụng cho sấy chân không như sấy thăng hoa chẳng hạn. Sấy chân không bảo đảm vệ sinh, nhiệt độ sấy không cao, vật sấy không bị oxy hoá, chất lượng sản phẩm sấy cao, giá thành cũng cao do hệ thống đắt.

4.1.4. Theo cách nung nóng không khí thành tác nhân sấy

Để nung nóng không khí ta có nhiều cách với các nguồn nhiệt khác nhau như: hơi nước nóng lấy từ lò hơi thông qua caloriphe, điện, bằng hơi đốt, bằng dầu FO, bằng than, củi.

Muốn nung nóng không khí lên 120°C đến 150°C ta có thể dùng hơi nước nóng có áp suất từ 3 kg/cm^2 đến 7 kg/cm^2 (từ $0,3\text{ MPa}$ đến $0,7\text{ MPa}$).

Muốn có không khí đạt nhiệt độ cao hơn 150°C , người ta dùng caloriphe khí đốt, khối lò. Với diện năng chỉ nên dùng trong phòng thí nghiệm vì đắt.

Nếu vật sấy có thể trực tiếp tiếp xúc với khí nóng (khối lò) thì nhiệt độ sấy có thể nâng lên đến 800°C hay 1000°C (sấy vật liệu xây dựng).

Khi dùng chất lỏng nóng để sấy người ta hay gọi là rán hoặc chiên thực phẩm trong dầu, mỡ ăn được.

4.1.5. Căn cứ vào chuyển động của tác nhân sấy

Nếu không khí nóng đối lưu qua vật sấy một cách tự nhiên thì tốc độ chỉ đạt khoảng $0,7\text{ m/s}$, không áp dụng mấy vì thời gian sấy kéo dài.

Để giảm thời gian sấy ta phải tăng tốc độ tác nhân sấy bằng hệ thống quạt ly tâm hay hướng trục.

Sấy ngược chiều thường áp dụng cho các vật sấy với thành phẩm không được cong vênh, nứt vỡ. Tác nhân sấy chuyển động ngược với dòng vật sấy.

Sấy cùng chiều cũng được áp dụng nhiều trong thực tế. Phương pháp này có cường độ cao, thời gian sấy giảm, sản phẩm ra khỏi hầm đã nguội, kinh tế hơn, áp dụng cho các sản phẩm không cần để ý tới cong vênh, nứt vỡ.

4.1.6. Căn cứ theo sơ đồ làm việc

Theo sơ đồ làm việc của hệ thống sấy ta có: sấy không hồi lưu, hồi lưu một phần hay toàn bộ khí thải, sấy có gia nhiệt bổ sung tác nhân sấy, sấy có điều chỉnh nhiệt độ tác nhân sấy.

4.1.7. Căn cứ vào cấu trúc buồng sấy

Từ cấu trúc buồng sấy ta có: tủ sấy, buồng sấy, hầm sấy có xe treo hoặc xe goòng, sấy băng tải, vít tải, thùng quay, sấy ống thủy lực, sấy phun, sấy tầng sôi, sấy thăng hoa, sấy rang, sấy rần, sấy chiên.

4.2. TÍNH TOÁN HỆ THỐNG SẤY ĐỐI LƯU

4.2.1. Phương pháp tạo dựng hệ thống sấy

Để tạo dựng được hệ thống sấy phù hợp, ta phải dựa vào rất nhiều yếu tố như vật sấy, tác nhân sấy, năng suất và chất lượng sản phẩm sấy, cấu trúc hệ thống sấy, chế độ sấy, phương pháp vận chuyển vật sấy trong buồng sấy, nguồn năng lượng cấp cho hệ thống sấy, mức độ cơ giới hóa và tự động hoá v.v.

Căn cứ vào các số liệu đã cho ta tiến hành các bước như sau:

a) Lựa chọn kiểu và sơ đồ hệ thống sấy

b) Tính thiết kế buồng sấy:

- Xác định khối lượng nước bay hơi từ vật sấy theo năng suất đã cho.

- Tính kích thước buồng (hầm) sấy bao gồm: dài, rộng, cao và vật liệu cấu tạo nên buồng sấy.

- Tính khối lượng tác nhân cần thiết phải chảy qua buồng sấy.

- Tính tổn thất nhiệt.

- Xác định quá trình sấy thực tế trên đồ thị $I-d$ của không khí.

- Tính nhiệt lượng tiêu tốn cho quá trình sấy.

c) Chọn mua hoặc thiết kế chế tạo caloriphe

d) Xác định kích thước của các tuyến ống dẫn tác nhân sấy, xác định tổng tổn thất trở lực đường ống.

e) Chọn mua hoặc thiết kế chế tạo quạt, chọn động cơ có công suất và vòng quay phù hợp.

g) Tính kết cấu chịu lực cho buồng hoặc toàn bộ hệ thống sấy.

h) Tính hệ thống vận chuyển gồm: đưa vật sấy vào buồng sấy, vận chuyển vật sấy trong buồng sấy và lấy sản phẩm.

i) Xác định các chỉ tiêu năng lượng và vật tư tiêu hao trên mỗi kg sản phẩm hay trên một kg ẩm bay hơi.

4.2.2. Tính lượng ẩm bay hơi

Sau khi sấy thì khối lượng của vật sấy giảm đi. Nếu xem khối lượng chất khô tuyệt đối trong vật sấy là không đổi thì phần khối lượng giảm đi của vật sấy đúng bằng lượng nước đã bay hơi là ΔU :

$$\Delta U = m_1 - m_2 \quad (4-1)$$

trong đó:

m_1, m_2 - khối lượng của vật sấy trước và sau khi sấy:

$$m_1 = m_0 + m_1 \cdot w_1$$

$$m_2 = m_0 + m_2 \cdot w_2 \quad (4-2)$$

m_0 - khối lượng chất khô;

w_1, w_2 - độ ẩm của vật sấy trước, sau khi sấy.

trong đó:

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{1 - w_2}{1 - w_1}$$

Khối lượng m_1, m_2 cũng có thể tính được thông qua hàm ẩm của vật sấy trước và sau khi sấy là u_1, u_2 :

$$\begin{aligned}m_1 &= m_0(1 + u_1) \\ m_2 &= m_0(1 + u_2)\end{aligned}\tag{4-3}$$

trong đó:

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{1 + u_1}{1 + u_2}$$

Từ công thức (4-1) ta thu được:

$$\Delta U = m_1 \left(1 - \frac{m_2}{m_1}\right) = m_2 \left(\frac{m_1}{m_2} - 1\right)\tag{4-4}$$

Thay các giá trị m_1 , m_2 từ (4-2), (4-3) vào (4-4) ta có:

$$\Delta U = m_1 \frac{w_1 - w_2}{1 - w_2} = m_2 \frac{w_1 - w_2}{1 - w_1}\tag{4-5}$$

$$\Delta U = m_1 \frac{u_1 - u_2}{1 + u_1} = m_2 \frac{u_1 - u_2}{1 + u_2}\tag{4-6}$$

Khối lượng của vật sấy trước và sau khi sấy được tính như sau:

$$m_1 = m_2 \frac{1 - w_2}{1 - w_1} = m_2 \frac{1 + u_1}{1 + u_2}\tag{4-7}$$

$$m_2 = m_1 \frac{1 - w_1}{1 - w_2} = m_1 \frac{1 + u_2}{1 + u_1}\tag{4-8}$$

m_2 cũng chính là khối lượng sản phẩm sấy.

Khối lượng m_1 , m_2 được tính theo công thức (4-7) và (4-8) với điều kiện $m_0 = \text{const.}$

Trong thực tế quá trình sấy có tổn thất vật chất khô tuyệt đối trong sản phẩm sấy. Lượng tổn thất chất khô phụ thuộc vào sản phẩm sấy (có dễ bị cuốn theo tác nhân sấy hay không), phụ thuộc chế độ sấy, hệ thống sấy. Nếu tính đến tổn thất thì m_1 , m_2 được tính như sau:

$$m_1 = \frac{m_2}{\xi} \left(\frac{1 - w_2}{1 - w_1} \right) = \frac{m_2}{\xi} \left(\frac{1 + u_1}{1 + u_2} \right)$$

$$m_2 = \xi m_1 \left(\frac{1 - w_1}{1 - w_2} \right) = \xi m_1 \left(\frac{1 + u_2}{1 + u_1} \right)$$

trong đó

ξ - hệ số tổn thất khô, giá trị của nó phải lớn hơn 0,95.

4.2.3. Xác định các kích thước cơ bản của buồng sấy

Kích thước rộng, cao, dài của buồng sấy phụ thuộc vào kích cỡ của vật sấy, thời gian sấy và năng suất của buồng sấy cũng như kích thước của phương tiện mang vật sấy (phương tiện vận chuyển). Vật sấy và phương tiện mang nó được sắp xếp trong buồng sấy sao cho tác nhân sấy chảy tròn đều lên mọi vật sấy trong khắp không gian của buồng sấy. Có như vậy mới bảo đảm sự đồng đều của sản phẩm sấy.

Khối lượng m của vật sấy có trong buồng sấy được tính theo phương trình (4-9).

$$m = \frac{m_1 + m_2}{2} \tau \quad (4-9)$$

τ - thời gian sấy.

Với buồng sấy gián đoạn thì các kích thước của nó được tính chỉ phụ thuộc vào khối lượng m_1 của một mẻ và kích thước bộ phận xếp vật sấy.

Nếu buồng sấy làm việc liên tục, vật sấy được sắp xếp trên xe goòng thì số xe goòng được tính như sau:

$$z = \frac{m_1}{m_{\tau}} \quad (4-10)$$

trong đó:

z - số xe vào hoặc ra khỏi buồng sấy trong mỗi giờ;

m_1 - khối lượng vật sấy đưa vào buồng sấy mỗi giờ, kg/h;

m_x - khối lượng vật sấy xếp trên mỗi xe, kg/xe.

Số xe gồng (hoặc xe treo) tồn tại trong buồng sấy là n :

$$n = z \cdot \tau \text{ (chiếc)} \quad (4-11)$$

trong đó:

τ - thời gian sấy, giờ (h).

Như vậy kích thước buồng sấy phụ thuộc vào kích thước xe gồng, số lượng xe (n lấy số chẵn).

Trường hợp sấy băng tải thì chiều dài băng L_b được tính như sau:

$$L_b = \frac{m}{m_b} \tau, \text{ (m)} \quad (4-12)$$

trong đó:

m - năng suất sấy, kg/h;

m_b - khối lượng vật sấy nạp trên mỗi mét băng, kg/m;

τ - thời gian sấy, h.

Tốc độ băng tải là W_b được tính như sau:

$$W_b = \frac{L_b}{\tau}, \text{ m/h} \quad (4-13)$$

Tốc độ W_b được dùng để tính bộ truyền động.

Đối với các máy sấy tang quay, sấy phun, sấy tháp làm việc liên tục thì các kích thước của chúng được xác định trên cơ sở khối lượng ẩm bay hơi trên một mét khối dung tích hay trên một mét vuông của buồng sấy là A_v và A_f trong mỗi giây:

$$A_v = \frac{\Delta U}{V}, \text{ kg/m}^3 \cdot \text{s} \quad (4-14)$$

$$A_f = \frac{\Delta U}{F}, \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s} \quad (4-15)$$

trong đó:

V - dung tích buồng sấy, m^3 ;

F - bề mặt làm việc của buồng sấy, m^2 ;

ΔU - lượng ẩm (nước) bay hơi, kg/s .

Các giá trị của A_v , A_F lấy từ thực nghiệm đối với vật sấy cụ thể và chế độ sấy phù hợp, hoặc lấy theo giá trị của loại vật sấy gần giống nhau đã có thực nghiệm.

4.2.4. Tính lượng không khí cần thiết cho quá trình sấy

Để xác định được lượng không khí cần thiết cho một quá trình sấy đối lưu người ta thiết lập phương trình cân bằng vật chất cho buồng sấy (hình 4-1)

$$m_1 w_1 + G_1 d_1 = m_2 w_2 + G_2 d_2 \quad (4-16)$$

trong đó:

m_1, m_2 - khối lượng của vật sấy đi vào, và sản phẩm sấy đi ra;

w_1, w_2 - độ ẩm của vật sấy, sản phẩm sấy;

d_1, d_2 - hàm ẩm của không khí vào, ra;

G_1, G_2 - khối lượng không khí vào, ra.

Từ đẳng thức (4-16) ta có:

$$m_1 w_1 - m_2 w_2 = G_2 d_2 - G_1 d_1 \quad (4-17)$$

Nếu bỏ qua tổn thất không khí tại buồng sấy ta có:

$$G_1 = G_2 = G_0 = G$$

hơn nữa: $m_1 w_1 - m_2 w_2 = \Delta U$

Thay các giá trị trên vào (4-17) ta có:

$$G (d_2 - d_1) = \Delta U \quad (4-18)$$

$$\text{hay: } G = \frac{\Delta U}{d_2 - d_1} \quad (4-19)$$

Đem chia G cho ΔU ta thu được lượng không khí khô cần cho

mỗi kg ẩm bay hơi khỏi vật sấy:

$$G' = \frac{G}{\Delta U} = \frac{1}{d_2 - d_1} \quad (4-20)$$

G' gọi là lượng không khí khô tiêu tốn riêng để làm bay hơi một kg nước (kg.K.K/kg.ẩm bay hơi).

Không khí đi qua caloriphe, hàm ẩm của nó không thay đổi: $d_0 = d_1$ nên ta có:

$$G' = \frac{1}{d_2 - d_0} \quad (4-21)$$

Từ phương trình (4-21) ta thấy, G' phụ thuộc vào giá trị của hàm ẩm trước caloriphe và sau buồng sấy. d_2 được xác định phụ thuộc vào t_2 và φ_2 sao cho sản phẩm sấy đạt độ ẩm yêu cầu và không vượt quá nhiệt độ cho phép. Như vậy G' chủ yếu phụ thuộc vào d_0 . Nếu d_0 có giá trị lớn thì lượng không khí G' lớn lên và ngược lại.

Những vùng có khí hậu nóng ẩm thì G' lớn.

G_0 là khối lượng không khí mà quạt phải hút và đẩy qua caloriphe vào buồng sấy (hình 4 - 1). Từ G_0 ta tính được thể tích V_0 :

$$V_0 = \frac{G_0}{\rho_0} \quad (4-22)$$

ρ_0 - khối lượng riêng của không khí ngoài trời;

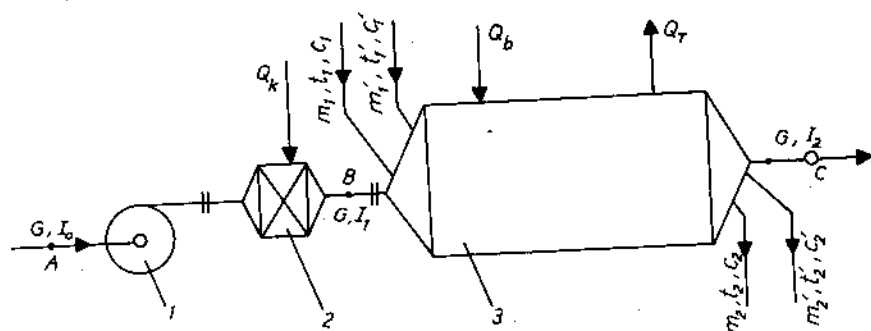
$G_0 \equiv G$ - với quá trình sấy không hồi lưu khí thải.

Trường hợp quạt đặt sau caloriphe thì nó phải hút thể tích là $V_1 > V_0$ vì nhiệt độ tăng làm khối lượng riêng giảm.

4.2.5. Tính toán nhiệt hệ thống sấy

Để tính toán nhiệt hệ thống sấy đối lưu ta dựa vào các phương trình cân bằng năng lượng. Như vậy với quá trình sấy trong hệ thống sấy xác định thì tổng nhiệt lượng mang vào bằng tổng nhiệt lượng

mang ra (hình 4-2).



Hình 4 - 2. Sơ đồ cân bằng nhiệt lượng cho hệ thống sấy đối lưu bằng không khí khô nóng.

1-quạt; 2-caloriphe; 3-buồng sấy

Từ hình 4-2 ta thiết lập được phương trình cân bằng nhiệt sau đây:

$$G.I_0 + Q_k + m_1.C_1.t_1 + m'_1.C'_1.t'_1 + Q_b = G.I_2 + Q_r + m_2.C_2.t_2 + m'_2.C'_2.t'_2 \quad (4-23)$$

trong đó:

$G.I_0$ - nhiệt lượng do không khí mang vào;

Q_k - nhiệt lượng do caloriphe cấp;

$m_1.C_1.t_1$ - nhiệt lượng do vật sấy ẩm mang vào;

$m'_1.C'_1.t'_1$ - nhiệt lượng do phương tiện vận chuyển mang vào;

Q_b - nhiệt lượng bổ sung (nếu có);

$G.I_2$ - nhiệt lượng khí thải mang ra;

$m_2.C_2.t_2$ - nhiệt lượng do sản phẩm mang ra;

Q_r - nhiệt lượng tổn thất qua vách buồng sấy;

$m'_2.C'_2.t'_2$ - nhiệt lượng do phương tiện vận chuyển mang ra

($m'_2 \equiv m'_1$, $C'_2 \equiv C'_1$).

Nhiệt lượng do vật sấy ẩm mang vào cũng có thể tính thông theo phương trình (4-24) sau:

$$m_1 C_{v1} t_1 = m_2 C_{v2} t_1 + \Delta U \cdot C_n t_1 \quad (4-24)$$

trong đó:

ΔU - lượng nước có trong m_1 sẽ bay hơi khi sấy;

C_n - nhiệt dung riêng của nước

Từ (4-23) và (4-24) ta thu được (4-25):

$$Q_K = G(I_2 - I_0) + m_2 C_2 (t_2 - t_1) + m'_1 C'_{v1} (t'_2 - t'_1) + Q_T - Q_b - C_n \Delta U t_1 \quad (4-25)$$

Đem chia hai vế của (4-25) cho ΔU ta có q_K là năng lượng cần cung cho hệ thống sấy đối lưu tính trên một kg ẩm bay hơi:

$$q_K = G'(I_2 - I_0) + \frac{m_2 C_2}{\Delta U} (t_2 - t_1) + \frac{m'_1 C'_{v1}}{\Delta U} (t'_2 - t'_1) + q_T - q_b - C_n t_1 \quad (4-26)$$

Ta đặt:

$$\frac{m_2 C_2}{\Delta U} (t_2 - t_1) = q_{vs}$$

$$\frac{m'_1 C'_{v1}}{\Delta U} (t'_2 - t'_1) = q_{vc}$$

Từ (4-26) ta thu được (4-27):

$$q_K = G'(I_2 - I_0) + q_{vs} + q_{vc} + q_T - q_b - C_n t_1 \quad (4-27)$$

$$q_K = G'(I_2 - I_0) + \Sigma q - q_b - C_n t_1 \quad (4-28)$$

trong đó:

$$\Sigma q = q_{vs} + q_{vc} + q_T \quad (4-29)$$

$$q_K = G'(I_2 - I_0) - \Delta \quad (4-29)$$

$$\Delta = q_b + C_n t_1 - \Sigma q \quad (4-30)$$

Khi tính cân bằng nhiệt cho riêng caloriphe (xem như không có tổn thất nhiệt) ta có:

$$\left. \begin{aligned} q_K &= G'(I_1 - I_0) \\ Q_K &= G(I_1 - I_0) \end{aligned} \right\} \quad (4-31)$$

Thay q_K từ (4-31) vào (4-29) ta có:

$$G'(I_2 - I_1) = \Delta \quad (4-32)$$

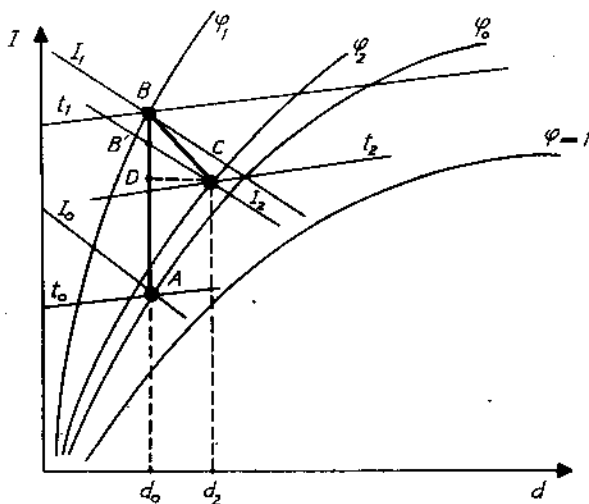
$$I_2 = I_1 + \frac{\Delta}{G'} \quad (4-33)$$

Phương trình (4-33) biểu hiện sự thay đổi entanpi của tác nhân sấy khi đi qua buồng sấy. Từ (4-33) và (4-21) ta có:

$$\frac{I_2 - I_1}{d_2 - d_0} = \Delta \quad (4-34)$$

Khi $\Delta > 0$ thì $q_b + C_{nt_1} > \Sigma q$, nghĩa là entanpi của tác nhân sấy tăng khi sấy; khi $\Delta < 0$ thì ngược lại. Trong quá trình sấy thực tế thường là $\Delta < 0$ vì không cấp nhiệt bổ sung ($q_b = 0$) còn C_{nt_1} chắc chắn nhỏ hơn Σq ($C_{nt_1} < \Sigma q$).

Khi $q_b + C_{nt_1} = \Sigma q$ có nghĩa là $\Delta = 0$ và $I_2 = I_1$, đó chính là quá trình sấy lý thuyết.



Hình 4-3. Biểu diễn quá trình sấy đối lưu
bằng không khi khô nóng với $\Delta < 0$

Điểm A (t_0, I_0, d_0, φ_0) xác định trạng thái không khí ngoài trời. Điểm B ($t_1, I_1, d_0 = d_1, \varphi_1$) là trạng thái không khí sau caloriphe và trước buồng sấy.

Điểm C (t_2, I_2, d_2, φ_2) là trạng thái tác nhân sấy (không khí) sau buồng sấy. Muốn dựng được đường BC ta phải xác định các tổn thất nhiệt, chính là nhằm xác định Δ từ điều kiện (4-30).

4.2.6. Tính bổ sung nhiệt bù tổn thất

Trong quá trình sấy, thực tế bao giờ cũng có tổn thất nên tác nhân phải được đốt nóng bổ sung, để từ quá trình sấy lý thuyết B' - C thành quá trình sấy thực tế là B - C (hình 4-3). Để dựng được đường sấy thực tế B - C ta phải tính giá trị Δ từ phương trình (4-30). Từ (4-30) ta tính các đại lượng: q_b (nếu có); C_{n,t_1} , Σq sau đó xác định được Δ . Nếu không có q_b thì ta tính C_{n,t_1} và Σq rồi tính Δ . Ta dễ dàng tính được C_{n,t_1} , còn Σq tính như sau:

$$\Sigma q = q_{vs} + q_{vc} + q_T \quad (4-35)$$

trong đó:

q_{vs}, q_{vc}, q_T - nhiệt lượng tổn thất do vật sấy, phương tiện vận chuyển mang ra, tổn thất qua bao che (nền, tường, trần và cửa) buồng sấy tính trên mỗi kg ẩm bay hơi:

$$q_{vs} = \frac{m_2 C_2 (t_2 - t_1)}{\Delta U} \quad (4-36)$$

ΔU - lượng ẩm bay hơi từ vật sấy (xem mục 4.2.2);

m_2, C_2 - khối lượng, nhiệt dung riêng của sản phẩm sấy;

t_1, t_2 - nhiệt độ của vật sấy lúc vào, ra khỏi buồng sấy;

q_{vc} - nhiệt lượng tổn thất do phương tiện vận chuyển mang ra khỏi buồng sấy.

Do phương tiện vận chuyển không thay đổi khối lượng nên:

$$q_{vc} = \frac{m_i c_i (t'_2 - t'_1)}{\Delta U} \quad (4-37)$$

C'_1, m'_1 - nhiệt dung riêng, khối lượng của phương tiện vận chuyển lúc vào buồng sấy;

t'_1, t'_2 - nhiệt độ cuối, đầu của phương tiện vận chuyển;

$$q_T = q'_T + q''_T \quad (4-38)$$

q'_T - nhiệt lượng tổn thất do truyền nhiệt qua bao che;

q''_T - nhiệt lượng tổn thất do cửa bị hở:

$$q'_T = \frac{\sum K_i F_i \Delta t_{bi}}{\Delta U} \quad (4-39)$$

K_i - hệ số trao đổi nhiệt giữa tác nhân sấy chảy bên trong và không khí bên ngoài bề mặt truyền nhiệt thứ i (nền, tường, trần) buồng sấy;

F_i - bề mặt của nền, tường, trần buồng sấy;

Δt_{bi} - hiệu nhiệt độ trung bình giữa bên trong và ngoài bề mặt truyền nhiệt thứ i .

Nếu bề mặt truyền nhiệt là phẳng thì K_i sẽ là:

$$K_i = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{j=1}^n \frac{\delta_j}{\lambda_j} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (4-40)$$

trong đó:

α_1, α_2 - hệ số toả nhiệt bên trong, bên ngoài bề mặt truyền nhiệt;

δ_j - độ dày của từng lớp cấu tạo nên bề mặt truyền nhiệt;

λ_j - hệ số dẫn nhiệt của mỗi lớp.

α_1, α_2 phụ thuộc vào nhiều yếu tố như: tốc độ của tác nhân sấy, tốc độ của không khí bên ngoài, cấu tạo của bề mặt, vị trí của bề mặt toả nhiệt (nằm ngang, thẳng đứng).

Trong các buồng sấy đối lưu, khi vận tốc của tác nhân sấy lớn

hơn 1m/s, nhiệt độ $t_i = 70^\circ\text{C} - 90^\circ\text{C}$ thì có thể lấy:

$$\alpha_1 = (8 - 12), \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{K}$$

Khi buồng sấy đặt trong nhà thì:

$$\alpha_2 = (7 - 10,5), \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{K}$$

Khi buồng sấy đặt chỗ trống có gió thổi với vận tốc lớn hơn 2m/s thì:

$$\alpha_2 = 24, \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{K}$$

Khi vận tốc không khí mạnh hơn thì α_2 sẽ có giá trị lớn hơn (ít khi gặp). Giá trị của K , tính từ (4-40) phải nhỏ sao cho vừa kinh tế khi kết cấu bao che vừa không đọng sương lên mặt trong tường; và nhiệt độ mặt ngoài tường, trần không lớn hơn $+40^\circ\text{C}$ để đảm bảo an toàn lao động.

Ta có thể tính nhiệt độ của mặt trong $t_{m,i}$ và mặt ngoài $t_{m,n}$ như sau:

$$\left. \begin{aligned} t_{m,n} &= t_K + \frac{K}{\alpha_2} (t_i^{tb} - t_K) \\ t_{m,i} &= t_i^{tb} - \frac{K}{\alpha_1} (t_i^{tb} - t_K) \end{aligned} \right\} \quad (4-41)$$

trong đó:

t_K - nhiệt độ không khí ngoài trời (hoặc trong nhà có mái che, tường bao);

t_i^{tb} - nhiệt độ trung bình của tác nhân sấy.

Ta có thể chọn trước $K_i = 0,9 \div 1,75 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{K}$ để tính cách nhiệt cho tường nền, trần buồng sấy, sau đó chọn cách nhiệt theo độ dày tiêu chuẩn của vật liệu cách nhiệt rồi tính lại K_i .

$\Delta t_{i,bn}$ - hiệu nhiệt độ trung bình giữa tác nhân sấy và không khí bên ngoài thuộc bề mặt truyền nhiệt thứ i :

$$\Delta t_{t,b} = t_i^{tb} - t_K \quad (4-42)$$

Trường hợp hầm sấy có nền đặt trực tiếp trên nền đất của nhà xưởng thì tổn thất nhiệt lượng phụ thuộc vào nhiệt độ trong buồng sấy và khoảng cách từ buồng sấy đến bề mặt tường ngoài của nhà.

$$Q_n = q_n \cdot F_n, (W) \quad (4-43)$$

trong đó:

Q_n - nhiệt lượng tổn thất qua nền của hầm sấy;

q_n - nhiệt tổn thất riêng của nền hầm sấy, tra bảng 4-1, W/m^2 ;

F_n - diện tích nền hầm sấy, m^2 .

Từ Q_n ta chia cho ΔU rồi cộng với các tổn thất nhiệt qua tường, trần tính từ công thức (4-39) ta sẽ có nhiệt tổn thất qua bao che của buồng sấy.

Bảng 4-1. Tổn thất nhiệt của nền

x, m		Nhiệt độ trong buồng sấy, °C						
		20	40	60	80	100	150	250
1	q_n	22,0	35,0	48,5	61,9	74,5	107,1	173,0
2		17,9	27,8	39,1	49,3	59,5	86,2	137,5
3		16,1	24,5	34,4	43,0	52,4	76,1	121,1
4		15,2	23,4	31,9	40,1	48,1	69,0	110,2
5		15,1	22,8	31,0	38,5	45,6	66,8	104,3

* Khi $x > 5$ m thì vẫn lấy các giá trị như $x = 5$ m.

q_T được tính tùy thuộc vào độ hở của cửa buồng sấy và áp suất trong buồng sấy (nếu $(P_i < P_a)$ thì không khí chui vào; $P_i > P_a$ thì tác nhân sấy tràn ra ngoài).

$$\left. \begin{aligned} q''_T &= \frac{G_K C_K \Delta t}{\Delta U} \\ q''_T &= \frac{G_i C_i \Delta t}{\Delta U} \end{aligned} \right\} \quad (4-44)$$

G_K, G_t - khối lượng không khí chui vào, tác nhân chui ra;

C_K, C_t - nhiệt dung riêng của không khí ngoài trời, của tác nhân sấy;

Δt - chênh lệch nhiệt độ giữa tác nhân sấy và không khí ngoài trời.

Tính chính xác G_K hay G_t là khó, vì vậy ta có thể lấy $G_t = G_K = 15 \text{ m}^3/\text{h}$. 1m đoãng với cửa bịt kín tốt. Nếu đoãng bịt kín kém thì lấy $G_K = G_t = 40 \text{ m}^3/\text{m.h}$.

Trong trường hợp buồng sấy có dạng hình trụ (sấy tang quay) hoặc hình cầu thì khi tính K_t phải dùng công thức phù hợp với từng loại.

Sau khi xác định được Δ ta xây dựng được quá trình sấy thực tế trên đồ thị trạng thái của không khí ($i - d$). Sau đó xác định lượng không khí (tác nhân sấy) và nhiệt lượng cần cho quá trình sấy.

4.2.7. Xác định lượng nhiệt và không khí tiêu tốn riêng trong quá trình sấy

Nhiệt lượng tiêu tốn riêng được tính theo điều kiện (4-31).
Lượng không khí tiêu tốn riêng được tính theo điều kiện (4-21).

Trong quá trình sấy đối lưu bằng không khí nóng, trạng thái của không khí ngoài trời (trước caloriphe) có ảnh hưởng lớn đến lượng không khí và nhiệt lượng tiêu tốn riêng cho mỗi kg ẩm bay hơi khỏi vật sấy. Trạng thái của không khí phụ thuộc vào vùng địa lý, vùng khí hậu; khác nhau theo mùa, ban ngày và ban đêm. Từ đèo Hải Vân trở ra Bắc, ta chọn các thông số của không khí trước caloriphe theo nhiệt độ trung bình mùa đông hoặc nhiệt độ trung bình của mùa hè. Từ Đà Nẵng trở vào các cao nguyên Trung Bộ ta chọn các thông số của không khí theo nhiệt độ trung bình trong năm.

Trong quá trình sấy đối lưu bằng không khí khô nóng, thường phải căn cứ vào tính chất của vật sấy, yêu cầu của sản phẩm sấy mà

chọn nhiệt độ và độ ẩm (t_2, φ_2) của tác nhân lúc rời buồng sấy, hoặc chọn nhiệt độ đầu (t_1) và một trong hai thông số cuối (t_2 hoặc φ_2).

Việc xác định các thông số của tác nhân sấy có thể thực hiện theo phương pháp phân tích hay đồ thị.

a) Phương pháp phân tích

Các thông số cho trước là $t_0, \varphi_0, t_2, \varphi_2$ (hình 4-3) cần tìm Δ, G', q_K , và t_1 . Để tính được các đại lượng trên trước hết ta xác định hàm ẩm d_0, d_2 :

$$\left. \begin{aligned} d_0 &= 0,622 \frac{\varphi_0 \cdot P_{h_0}}{P - \varphi_0 \cdot P_{h_0}} \\ d_2 &= 0,622 \frac{\varphi_2 \cdot P_{h_2}}{P - \varphi_2 \cdot P_{h_2}} \end{aligned} \right\} \quad (4-45)$$

trong đó:

P - áp suất của không khí ngoài trời;

P_{h_2} - áp suất riêng của hơi nước.

$$G' = \frac{1}{d_2 - d_0} \quad (4-46)$$

Entanpi của không khí ngoài trời và sau buồng sấy là I_0 và I_2 được tính như sau:

$$\left. \begin{aligned} I_0 &= t_0 + (2500 + 1,86 t_0) d_0 \\ I_2 &= t_2 + (2500 + 1,86 t_2) d_2 \end{aligned} \right\} \quad (4-47)$$

Sau khi tính được Δ (xem mục 4.2.5 và 4.2.6) ta tính được q_K :

$$q_K = G' (I_2 - I_0) - \Delta \quad (4-48)$$

Giải hệ phương trình sau đây sẽ tìm được nhiệt độ của không khí sau caloriphe là t_1 :

$$\left. \begin{aligned} q_K &= G' (I_1 - I_0) \\ I_1 &= t_1 + (2500 + 1,86 t_1) d_1 \end{aligned} \right\} \quad (4-49)$$

$$t_1 = \frac{q_k}{G'(1 + 1,86 \cdot d_0)} + t_0 \quad (4-50)$$

Caloriphe phải nung nóng không khí từ nhiệt độ t_0 thành t_1 để nó trở thành tác nhân sấy.

Trường hợp biết trước t_0 , φ_0 , t_1 , ta phải xác định G , q_k , φ_2 .

Xác định Δ tương tự như trên.

Trong quá trình nung nóng không khí bằng caloriphe thì hàm ẩm của nó không đổi:

$$d_1 = d_0 \text{ (phương trình 4-45)}$$

Entanpi của không khí trước và sau caloriphe tính từ (4-49) và (4-47):

Giải hệ phương trình sau sẽ tính được d_2 :

$$\left. \begin{aligned} G(d_2 - d_0) &= 1 \\ G(I_2 - I_1) &= \Delta \end{aligned} \right\} \quad (4-51)$$

$$d_2 = \frac{t_2 - I_1 + \Delta d_0}{\Delta - 2500 - 1,86 t_2} \quad (4-52)$$

$$\varphi_2 = \frac{d_2}{0,622 + d_2} \cdot \frac{P}{P_{h,2}} \quad (4-53)$$

Các giá trị G , q_k tính từ (4-46) và (4-49).

b) Phương pháp đồ thị

Đây là phương pháp xác định các thông số trạng thái của tác nhân sấy, dựng đường sấy thực tế trên đồ thị $I - d$ của không khí.

Quá trình sấy lý thuyết với entanpi của tác nhân sấy là hằng, còn quá trình sấy thực tế thì nó thay đổi:

$$I_2 - I_1 = \frac{\Delta}{G'} \quad (4-54)$$

Với các giá trị t_0 , φ_0 , t_2 , φ_2 ta dễ dàng xác định được điểm $A(t_0, \varphi_0)$ và $C(t_2, \varphi_2)$ (hình 4 - 4 và 4 - 5). Từ điểm A và C ta xác định được d_0 và d_2 . Kẻ đường CD vuông góc với đường $d_0 = \text{const}$, ta có:

$$\overline{CD} \cdot M_d = d_2 - d_0 \quad (4-55)$$

trong đó:

M_d - tỷ lệ xích của hàm ẩm khi dựng đồ thị $I - d$.

Ta dễ dàng xác định được G' :

$$G' = \frac{1}{d_2 - d_0} = \frac{1}{\overline{CD} \cdot M_d} \quad (4-56)$$

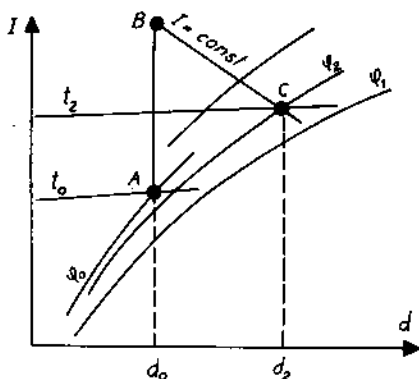
Tùy thuộc vào dấu của Δ mà ta kẻ đoạn $\overline{CC'}$ lên trên hay xuống dưới sao cho:

$$\overline{CC'} \cdot M_1 = \frac{\Delta}{G'} \quad (4-57)$$

M_1 - tỷ lệ xích của entanpi.

Nếu $\Delta > 0$ thì kẻ $\overline{CC'}$ xuống dưới, vì $I_2 > I_1$. Ngược lại $\Delta < 0$ thì kẻ $\overline{CC'}$ lên trên vì $I_2 < I_1$. Từ điểm C ta kẻ đường $I_2 = \text{const}$ và từ C' dựng đường $I_1 = \text{const}$.

Điểm cắt nhau giữa đường $I_1 = \text{const}$ và đường $d_0 = \text{const}$ là điểm B là điểm cần



Hình 4-4. Quá trình sấy lý thuyết B-C

tìm. Đoạn $\overline{BC}$ biểu diễn quá trình sấy thực tế. Đoạn $\overline{AB}$ là quá trình nung nóng không khí bằng caloriphe.

$$\overline{AB} \cdot M_1 = I_1 - I_0 \quad (4-58)$$

Giá trị $I_1 - I_0$ là lượng nhiệt cần thiết để nung nóng 1 kg không

$$\left. \begin{aligned} G'' &= \frac{1}{d - d_0} = \frac{1}{ef \cdot M_d} \\ I - I_1 &= \frac{\Delta}{G'} = \overline{Ee} \cdot M_1 \end{aligned} \right\} \quad (4-60)$$

hay:

$$G'(I - I_1) = \frac{\overline{Ee}}{ef} m_M = \Delta \quad (4-61)$$

trong đó:

$$m_M = \frac{M_1}{M_d}$$

Từ (4-61) ta có:

$$\overline{Ee} = ef \frac{\Delta}{m_M} \quad (4-62)$$

Điểm $E(I, d)$ chính là điểm nằm trên đường sấy thực tế. Như vậy ta kẻ đường thẳng từ B qua E kéo dài cắt đường t_2 tại C , $\overline{BC}$ là quá trình sấy thực tế. Từ đây ta sẽ xác định được $d_2 = d_c$, sau đó tính được G' và G, q_K, Q_K .

Đoạn $\overline{eE}$ lên trên khi $\Delta > 0$ vì $I > I_1$ và $\overline{eE}$ xuống dưới khi $\Delta < 0$.

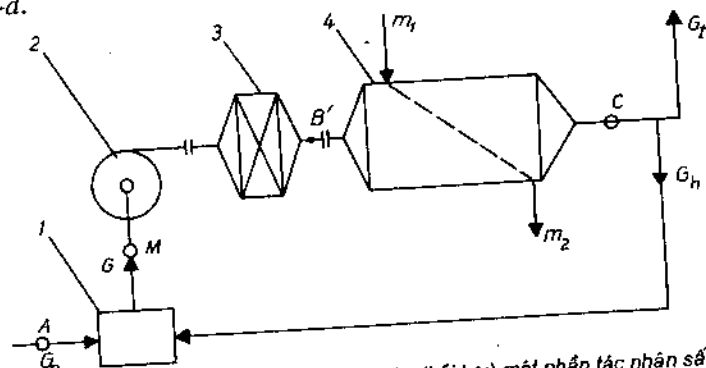
4.2.8. Các sơ đồ làm việc của hệ thống sấy đối lưu

Trong sấy đối lưu, tác nhân sấy chỉ được sử dụng một lần gọi là sấy không hồi lưu tác nhân sấy (hình 4-2). Nếu tái sử dụng tác nhân sấy thì được gọi là hệ thống sấy có tuần hoàn một phần hoặc toàn bộ tác nhân sấy. Tác nhân sấy có thể là không khí được đốt nóng bằng caloriphe hoặc là khói lò. Ngoài ra còn có hệ thống sấy có đốt nóng bổ sung cho tác nhân sấy v.v. Sau đây là một số sơ đồ cụ thể.

4.2.8.1. Hệ thống sấy đối lưu có tuần hoàn một phần tác nhân sấy

a) Tác nhân sấy là không khí nóng

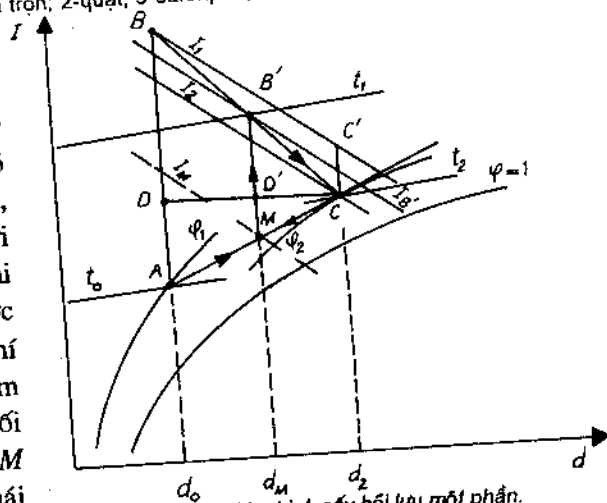
Hình 4-6 thể hiện hệ thống sấy đối lưu bằng không khí nóng có tuần hoàn một phần, tác nhân sấy, hình 4-7 thể hiện quá trình sấy trên đồ thị $I-d$.



Hình 4-6. Hệ thống sấy đối lưu có tuần hoàn (hồi lưu) một phần tác nhân sấy.

1-buồng hoà trộn; 2-quạt; 3-caloriphe; 4-buồng sấy.

Quá trình hoạt động của hệ thống này như sau: tác nhân sấy ra khỏi buồng sấy có trạng thái điểm $C (t_2, \varphi_2, d_2)$ được hồi lưu với khối lượng G_h và thải G_t . Khối lượng G_h được hoà trộn với không khí mới có trạng thái điểm $A (t_0, \varphi_0, d_0)$ với khối lượng là G_0 . Điểm $M (I_M, d_M)$ là trạng thái của không khí sau khi hoà trộn có khối lượng



Hình 4-7. Chu trình sấy hồi lưu một phần.

là G được quạt 2 hút và đẩy vào caloriphe để gia nhiệt đến trạng thái điểm $B'(t_1, I_b)$ rồi đẩy vào buồng sấy. Vật ẩm có khối lượng m_1 đi vào buồng sấy, sản phẩm là m_2 . Tác nhân đi qua buồng sấy đã nhận hơi nước bay hơi từ vật sấy đồng thời bị mất nhiệt nên trạng thái của nó là điểm $C(t_2, \varphi_2, d_2)$, quá trình sấy chạy từ B' đến C .

Tỷ số hồi lưu là n được tính như sau:

$$n = \frac{G_b}{G_o} = \frac{G'_b}{G'_o} \quad (4-62)$$

trong đó:

G'_b, G'_o là khối lượng tác nhân, không khí mới, tính trên 1 kg ẩm bay hơi.

Khối lượng tác nhân sấy đi qua buồng sấy ký hiệu là G được tính như sau:

$$G = G_o + G_b = G_o(1 + n) \quad (4-63)$$

$$G' = G'_o(1 + n) \quad (4-64)$$

Phương trình (4-63) và (4-64) cho ta thấy là khi sấy có hồi lưu tác nhân sấy thì lượng tác nhân sấy chảy qua buồng sấy $(1 + n)$ lần nhiều hơn so với sấy không hồi lưu.

Hàm ẩm d_M và nhiệt hàm I_M của điểm M được tính theo nguyên tắc cân bằng ẩm và nhiệt:

$$\left. \begin{aligned} d_M &= \frac{d_o + nd_2}{1 + n} \\ I_M &= \frac{I_o + nI_2}{1 + n} \end{aligned} \right\} \quad (4-65)$$

Từ đồ thị $I - d$ ta có:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\overline{MC}}{\overline{AC}} &= \frac{G_o}{G} = \frac{1}{1 + n} \\ \frac{\overline{MA}}{\overline{AC}} &= \frac{G_b}{G} = \frac{n}{1 + n} \end{aligned} \right\} \quad (4-66)$$

Thông thường khi tính thiết kế hệ thống sấy có hồi lưu một phần tác nhân sấy thì các thông số cho trước là: điểm $A (t_o, \varphi_o, d_o)$, điểm $C (t_2, \varphi_2)$ và nhiệt độ tác nhân trước khi vào buồng sấy là t_1 . Tính giá trị Δ cũng tương tự mục 4.2.5.

Trên đồ thị $I - d$ ta dễ dàng xác định điểm A và điểm C . Từ điểm C ta kẻ $\overline{CD}$ vuông góc với $d_o = \text{const}$ và dễ dàng tìm được G'_K khi không có hồi lưu:

$$G'_K = \frac{1}{\overline{CD} \cdot M_d} \quad (4-67)$$

$$M \cdot \overline{CC'} = \frac{\Delta}{G'_K}$$

Từ C dựng đoạn $\overline{CC'}$ thẳng đứng lên trên vì bao giờ $\Delta < 0$. Qua điểm C' kẻ $I_1 = \text{const}$, nó cắt $d_o = \text{const}$ tại B . $\overline{BC}$ chính là quá trình sấy không hồi lưu.

Điểm B' là trạng thái của tác nhân sấy trước buồng sấy trong hệ thống sấy hồi lưu một phần, được xác định như sau: B' là điểm cắt nhau giữa $\overline{BC}$ và nhiệt độ t_1 cho trước. Từ điểm B' kẻ $\overline{B'M}$ thẳng đứng ($d_{B'} = \text{const} = d_M$) cắt $\overline{AC}$ tại M . Như vậy quá trình thay đổi trạng thái không khí bây giờ sẽ là $A - M - B' - C$.

$$\frac{G'_C}{G'_K} = \frac{\overline{CD}}{\overline{CD'}} = 1 + n \quad (4-68)$$

$$G'_K = \frac{1}{\overline{CD} \cdot M_d} = \frac{1}{d_2 - d_o} \quad (4-69)$$

Các giá trị trên có thể tính từ các tam giác đồng dạng $\Delta MCD'$ và ΔACD .

Năng lượng tiêu tốn riêng q_K với sấy có hồi lưu được tính như sau:

$$q_K = G'_c(I_{B'} - I_M) = \frac{\overline{MB'}}{\overline{CD'}} \cdot \frac{M_l}{M_d} = \frac{\overline{MB'}}{\overline{CD'}} m_M \quad (4-70)$$

Từ hai tam giác đồng dạng $\Delta MCB'$ và ΔACB , ta có:

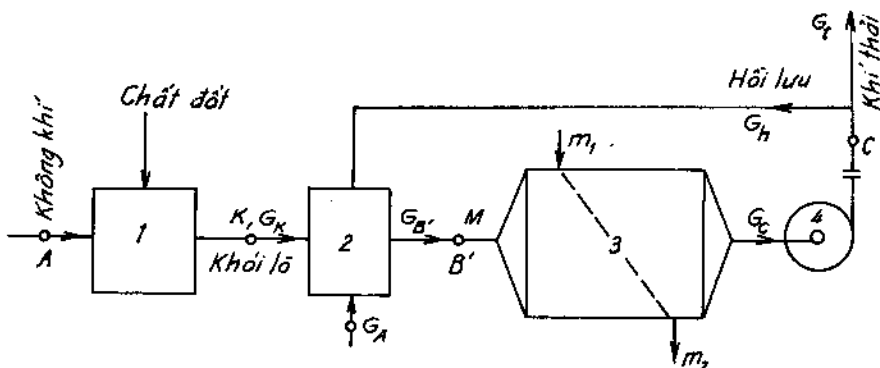
$$\left. \begin{aligned} \frac{\overline{MB'}}{\overline{CD'}} &= \frac{\overline{AB}}{\overline{CD}} \end{aligned} \right\} \quad (4-71)$$

hay:
$$q_K = \frac{\overline{AB}}{\overline{CD}} m_M$$

Phương trình (4-71) nói lên rằng: nhiệt lượng tiêu tốn cho 1 kg ẩm bay hơi với sấy có hồi lưu hay không hồi lưu là như nhau nếu sử dụng không khí ngoài trời có trạng thái như nhau và tác nhân sấy lúc rời buồng sấy có trạng thái như nhau

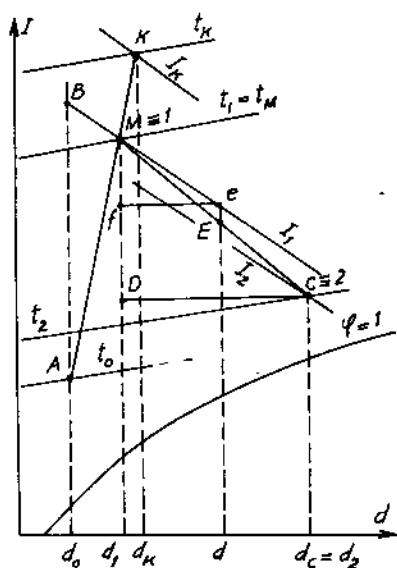
b) Tác nhân sấy là khói lò

Hình 4-8 biểu diễn hệ thống sấy đối lưu dùng khói lò làm tác nhân sấy, có hồi lưu một phần. Trên hình 4-8, nếu ta bỏ nhánh hồi lưu khí thải thì nó trở thành hệ thống sấy không có hồi lưu. Hình 4-9 biểu diễn quá trình sấy không hồi lưu, còn hình 4-10 là quá trình sấy có hồi lưu một phần tác nhân sấy.

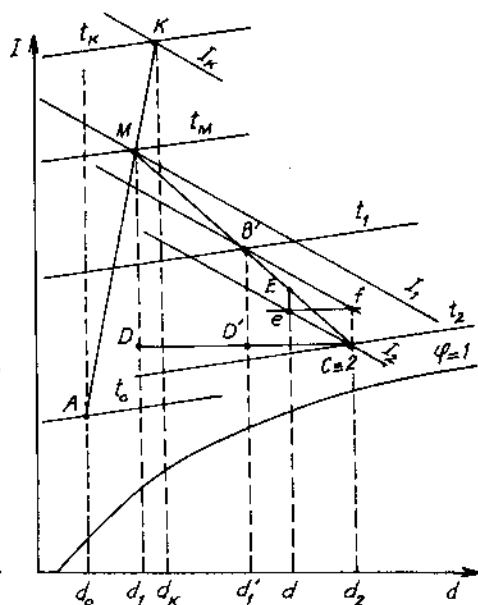


Hình 4-8. Sơ đồ hệ thống sấy bằng khói lò có hồi lưu một phần khí thải

1-lò đốt, 2-buồng hoà trộn, 3-buồng sấy, 4-quạt



Hình 4-9. Sấy bằng khối lò không hồi lưu khí thải



Hình 4-10. Sấy bằng khói lò có hồi lưu khí thải

Hệ thống sấy bằng khối lò hoạt động như sau: Nhờ sức hút của quạt 4 nên không khí mới (ngoài trời) đi vào lò đốt để đốt cháy chất đốt (dạng rắn, lỏng, khí). Sản phẩm của quá trình cháy ta gọi là khối lò. Trạng thái của không khí mới là điểm $A(t_o, d_o, I_o)$, trạng thái của khối lò là điểm $K(t_K, d_K, I_K)$. Do chất đốt có nước nên đường AK chạy nghiêng sang phải, độ ẩm của chất đốt càng lớn hơn độ ẩm không khí thì nó càng nghiêng nhiều sang phải. Khối lò với trạng thái điểm K sẽ hoà trộn với không khí mới có trạng thái điểm A , hỗn hợp thu được có trạng thái điểm $M(t_1, d_1, I_1)$ là tác nhân sấy. Tác nhân sấy đi vào buồng sấy 3 để sấy khô vật ẩm thành sản phẩm sấy.

Việc xác định điểm A, K, M được tiến hành như mục 1.2.3, sao cho t_M không cao hơn mức cho phép.

Nếu quá trình sấy bằng khối lò không hồi lưu khí thải thì dụng đường sấy thực ở hình 4-9, các bước tiến hành giống mục 4.2.7.

Khi sấy hồi lưu khí thải thì phải dụng đường sấy thực tế như ở hình 4-10.

Từ hình 4-8 ta thấy, khi không hồi lưu khí thải ($G_h = 0$) thì tỷ lệ hoà trộn K giữa khối lò và không khí mới được tính như sau (hình 4-9):

$$K = \frac{G_A}{G_K} = \frac{G'_A}{G'_K} = \frac{\overline{MK}}{\overline{AM}} = \frac{d_K - d_1}{d_1 - d_0} \quad (4-72)$$

$$G_M = G_A + G'_K = G'_K (1 + K) \quad (4-73)$$

$$G'_A = G'_M \frac{K}{K+1} \quad \text{và} \quad G'_K = G'_M \frac{1}{K+1} \quad (4-74)$$

Nhiệt lượng tiêu tốn riêng tính trên 1 kg ẩm bay hơi khỏi vật sấy là q_K :

$$q_K = G'_K J_K = G'_M J_1 - G'_A J_0 \approx G'_M (J_1 - J_0) = \frac{\overline{AB}}{\overline{CD}} m_M \quad (4-75)$$

Khi sấy có hồi lưu khí thải thì thường biết trước các thông số điểm A (t_0, φ_0), điểm C (t_2, φ_2), nhiệt độ của tác nhân sấy lúc đi vào buồng sấy là t_1 . Căn cứ vào buồng sấy ta tính được Δ như cách đã biết. Sau đó ta dụng quá trình sấy như sau (hình 4-10).

Ta dễ dàng xác định được các điểm A (t_0, φ_0), K (t_K, d_K), C (t_2, φ_2). Từ phía trái điểm C ta dụng đường bất kỳ $d = \text{const}$ cách C một đoạn là $\overline{ef}$, rồi tính đoạn eE theo công thức (4-62). Điểm E nằm trên e nếu $\Delta < 0$, và ngược lại. Đường thẳng đi qua hai điểm C và E xác định quá trình sấy thực tế. Đường CE cắt đường $t_1 = \text{const}$ tại điểm B' và cắt $\overline{AK}$ tại M . Từ đó tính được tỷ số hồi lưu n :

$$n = \frac{G'_h}{G'_M} = \frac{\overline{MB'}}{\overline{B'C}} \quad (4-76)$$

$$G'_h = nG'_M \text{ và } G'_{B'} = G'_M (1 + n) \quad (4-77)$$

trong đó: $G'_A = \frac{G_A}{\Delta U}$; $G'_K = \frac{G_K}{\Delta U}$; $G'_M = \frac{G_M}{\Delta U}$;

$$G'_h = \frac{G_h}{\Delta U}; G'_{B'} = \frac{G_{B'}}{\Delta U};$$

ΔU là lượng ẩm đã bay hơi khỏi vật sấy.

Quá trình sấy có hồi lưu khí thải xảy ra trên hình 4 - 10 như sau: Tại buồng hoà trộn 2 khí nóng từ lò đốt có trạng thái điểm K hoà trộn với không khí mới tại điểm A tạo thành hỗn hợp khí có trạng thái điểm M . Sau đó hỗn hợp có điểm M lại hoà trộn với khí thải hồi lưu có trạng thái điểm C nên tạo thành tác nhân sấy có trạng thái điểm B' rồi đi vào buồng sấy. Khi ra khỏi buồng sấy thì trạng thái của tác nhân sấy là điểm C và được gọi là khí thải. Nó được hồi lưu một lượng là $G_{B'}$, còn G_t thải ra ngoài. Vì vậy quá trình sấy này được gọi là quá trình sấy bằng khối lò có hồi lưu một phần khí thải.

Sấy có hồi lưu so với sấy không có hồi lưu khí thải có những ưu điểm như sau:

- Do lưu lượng tác nhân đi qua buồng sấy nhiều hơn, nên vận tốc tác nhân tăng lên làm tăng cường truyền ẩm từ bề mặt vật sấy cho tác nhân sấy.

- Sản phẩm khô đồng đều hơn.

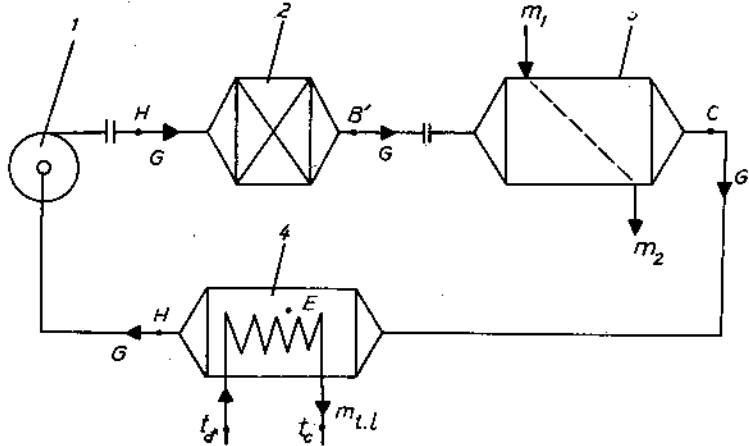
- Nhiệt độ tác nhân thấp hơn, nên phù hợp với vật sấy chịu nhiệt kém.

- Độ ẩm tương đối của tác nhân cao hơn, nên (phù hợp với vật sấy dễ cong, nứt vỡ) không làm cong vênh, nứt vỡ sản phẩm sấy.

4.2.8.2. Hệ thống sấy tuần hoàn toàn bộ tác nhân sấy

Hình 4-11 biểu diễn sơ đồ hệ thống sấy với tác nhân sấy là

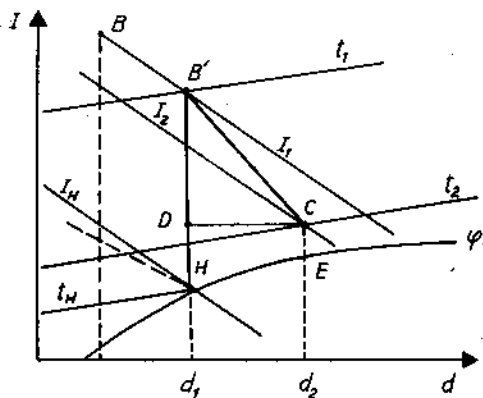
không khí được hồi lưu toàn bộ. Hình 4-12 biểu diễn quá trình sấy xảy ra trong hệ thống sấy ở hình 4-11.



Hình 4-11. Hệ thống sấy tuần hoàn toàn bộ tác nhân sấy

1-quạt; 2-caloriphe; 3-buồng sấy; 4-thiết bị tách nước (làm ngưng hơi nước từ tác nhân sấy).

Tác nhân sấy có trạng thái điểm B' (t_1, I_1, d_1) đi vào buồng sấy. Quá trình sấy là $B' - C$. Điểm C (t_2, I_2, φ_2, d_2) là trạng thái tác nhân sấy khi ra khỏi buồng sấy. Quá trình $C - E - H$ là quá trình tách nước khỏi tác nhân sấy trong thiết bị ngưng tụ. Điểm H ($t_H, I_H, d_1, \varphi_H = 1$) là trạng thái của tác nhân sấy sau thiết bị ngưng tụ trước caloriphe. $H - B'$ là quá trình nung nóng tác nhân sấy bằng caloriphe (hơi nước nóng, điện năng, hoặc dầu ngưng của hệ thống lạnh). Như vậy; $B' - C - E - H - B'$ là chu trình kín của tác nhân sấy.



Hình 4-12. Chu trình sấy tuần hoàn toàn bộ tác nhân sấy

Năng suất của buồng sấy cũng là của cả hệ thống được tính theo nguyên liệu ẩm m_1 hoặc thành phẩm m_2 .

Hệ thống sấy tuần hoàn toàn bộ tác nhân sấy cũng được tính toán tương tự như sấy không hoàn toàn và thêm phần tính thiết bị ngưng tụ hơi nước để tách nó ra khỏi tác nhân sấy để tái sử dụng lại.

Ưu, nhược điểm của hệ thống sấy tuần hoàn toàn bộ tác nhân sấy như sau:

- Không phụ thuộc vào không khí bên ngoài.
- Phù hợp với các sản phẩm chịu nhiệt kém, dễ cong vênh, nứt vỡ
- Áp dụng cho vùng có không khí nóng ẩm là rất tốt.
- Sản phẩm không bị ô nhiễm bởi bụi và hoá chất có trong không

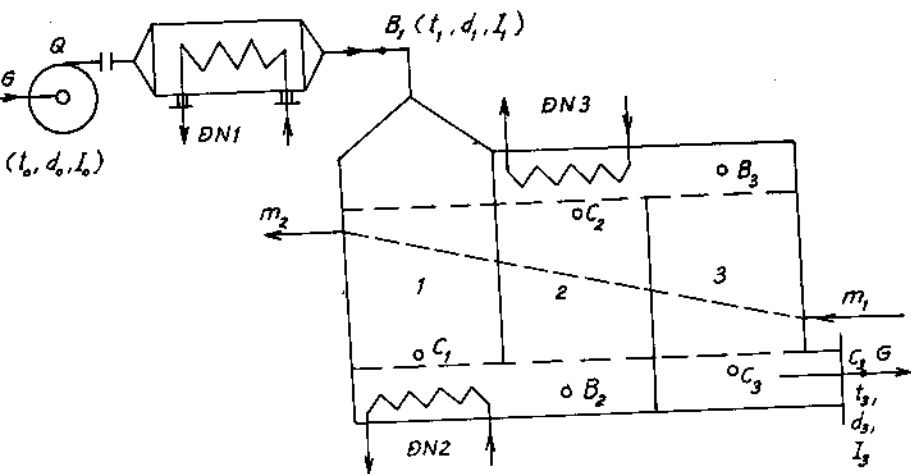
khí.

- Có thể thu hồi các hương liệu dễ bay hơi khi sấy.
- Nhược điểm là tiêu tốn thêm năng lượng cho hệ thống làm mát cho thiết bị tách nước.

- Nếu ta biết sử dụng hệ thống lạnh hợp lý thì lại rất kinh tế (dàn lạnh phục vụ tách nước khỏi tác nhân sấy, dàn ngưng để gia nhiệt tác nhân sấy).

4.2.8.3. Hệ thống sấy có đốt nóng bổ sung cho tác nhân sấy

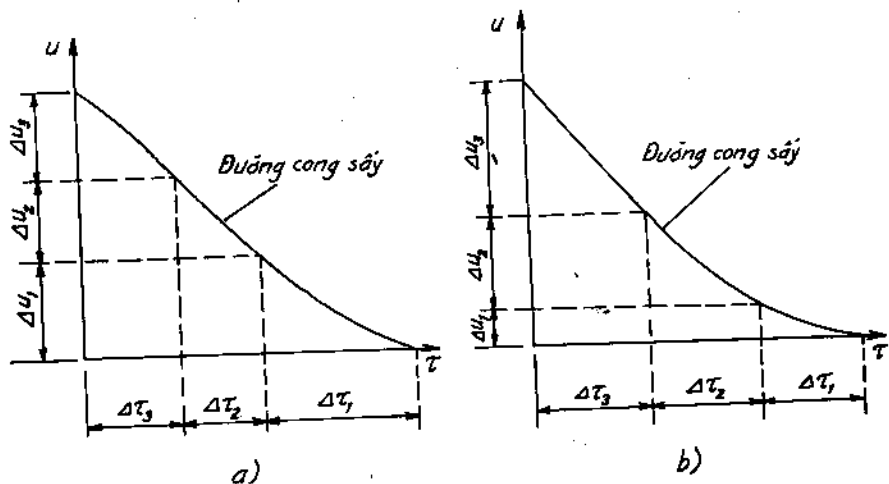
Hình 4-13 biểu diễn hệ thống sấy đối lưu, chiều chuyển động của tác nhân sấy ngược với chiều chuyển động của vật sấy, tác nhân sấy được đốt nóng bổ sung sau mỗi vùng sấy. Khối lượng tác nhân sấy đi qua các vùng sấy là như nhau. Nhiệt độ tác nhân sau mỗi lần đốt nóng bổ sung có thể lấy bằng nhau hoặc khác nhau. Trong thực tế người ta thường lấy nhiệt độ đầu và cuối của tác nhân sấy của các vùng sấy là tương ứng bằng nhau (hình 4-15), hay nói cách khác là hiệu nhiệt độ giữa tác nhân sấy và vật sấy trong mọi vùng sấy của hệ thống sấy là như nhau. Lượng ẩm bay hơi khỏi vật sấy trong mỗi vùng có thể tính theo hai cách: bằng nhau; hoặc khác nhau nhưng thời gian sấy bằng nhau (hình 4-14).



Hình 4-13. Hệ thống sấy có đốt nóng bổ sung.

1, 2, 3-các vùng sấy của buồng sấy;

DN₁, DN₂, DN₃-các caloriphe đốt nóng; Q-quạt đẩy.



Hình 4-14. Cách phân chia lượng ẩm bay hơi theo vùng (khoảng) trong buồng sấy

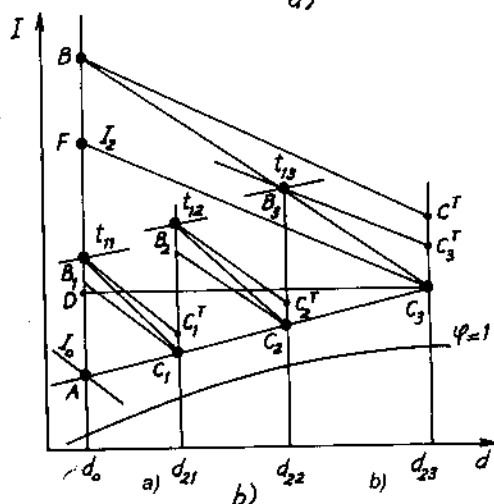
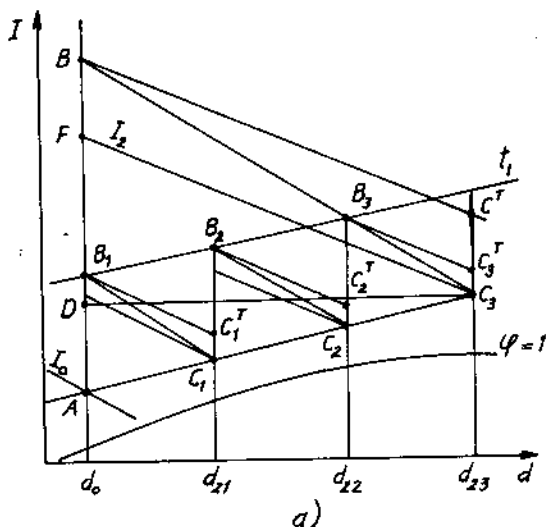
a) $\Delta u_1 = \Delta u_2 = \Delta u_3$; b) $\Delta \tau_1 = \Delta \tau_2 = \Delta \tau_3$.

Nếu theo cách thứ nhất (hình 4-14a) thì thời gian sấy ở các vùng (khoảng) sẽ khác nhau do tốc độ sấy khác nhau. Vì vậy các khoảng phải có chiều dài khác nhau nếu tốc độ chuyển động của vật sấy (xe goòng, xe treo, băng tải) là đều.

Theo cách thứ hai (hình 4-14b) thì do thời gian sấy như nhau, tốc độ vật sấy bằng nhau nên chế độ sấy phải khác nhau.

Hình 4-15 biểu diễn quá trình sấy thực tế trong các vùng khác nhau của buồng (hầm) sấy.

Việc tính tổn thất nhiệt ta có thể tính riêng cho từng khoảng để tính Δ hoặc tính chung cho cả buồng (hầm sấy) sau đó phân bổ cho từng vùng tỷ lệ thuận với lượng ẩm bay hơi.



Hình 4-15. Chu trình sấy có đốt nóng bổ sung
a) $\Delta U_1 = \Delta U_2 = \Delta U_3$; b) $\Delta U_1 \neq \Delta U_2 \neq \Delta U_3$

$$\Delta_1 = \Delta \frac{\Delta u_1}{\Delta U}; \Delta_2 = \Delta \frac{\Delta u_2}{\Delta U}; \Delta_3 = \Delta \frac{\Delta u_3}{\Delta U} \quad (4-78)$$

Lượng tác nhân sấy G đi qua buồng sấy được tính như sau:

$$G = \frac{\Delta U}{d_{23} - d_0} = \frac{\Delta u_1}{d_{21} - d_0} = \frac{\Delta u_2}{d_{22} - d_{21}} = \frac{\Delta u_3}{d_{23} - d_{22}} \quad (4-79)$$

Lượng tác nhân sấy cần cho 1 kg ẩm bay hơi là G' :

$$G' = \frac{1}{C_3 D M_d} \quad (4-80)$$

Nhiệt lượng cần cho 1kg ẩm bay hơi là q_K :

$$q_K = m_M \frac{\overline{AB}}{C_3 D} \quad (4-81)$$

$$\begin{aligned} \overline{AB} &= \overline{AB_1} + \overline{C_1 B_2} + \overline{C_2 B_3} = \overline{AB_1} + \overline{C_1 C_1^T} + \overline{C_1^T B_2} + \overline{C_2 C_2^T} + \overline{C_2^T B_3} = \\ &= \overline{AF} + \overline{C_1 C_1^T} + \overline{C_2 C_2^T} + \overline{C_3 C_3^T} = \overline{AF} + \overline{C_3 C^T} = \overline{AF} + \overline{FB} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_K &= m_M \frac{\overline{AB}}{C_3 D} = m_M \frac{\overline{AF}}{C_3 D} + m_M \frac{\overline{FB}}{C_3 D} = G'(I_2 - I_0) + |\Delta| \\ q_K &= G'(I_2 - I_0) - \Delta \end{aligned} \quad (4-82)$$

Năng lượng tiêu tốn riêng cho từng vùng tính trên 1 kg ẩm bay hơi được tính như sau:

$$q_{K_1} = m_M \frac{\overline{AB_1}}{C_1 D_1}; \quad q_{K_2} = m_M \frac{\overline{C_1 B_2}}{C_2 D_2}; \quad q_{K_3} = m_M \frac{\overline{C_2 B_3}}{C_3 D_3} \quad (4-83)$$

Muốn tìm các điểm D_1, D_2, D_3 thì từ C_1, C_2, C_3 kẻ đường vuông góc đến d_0, d_{21}, d_{22} .

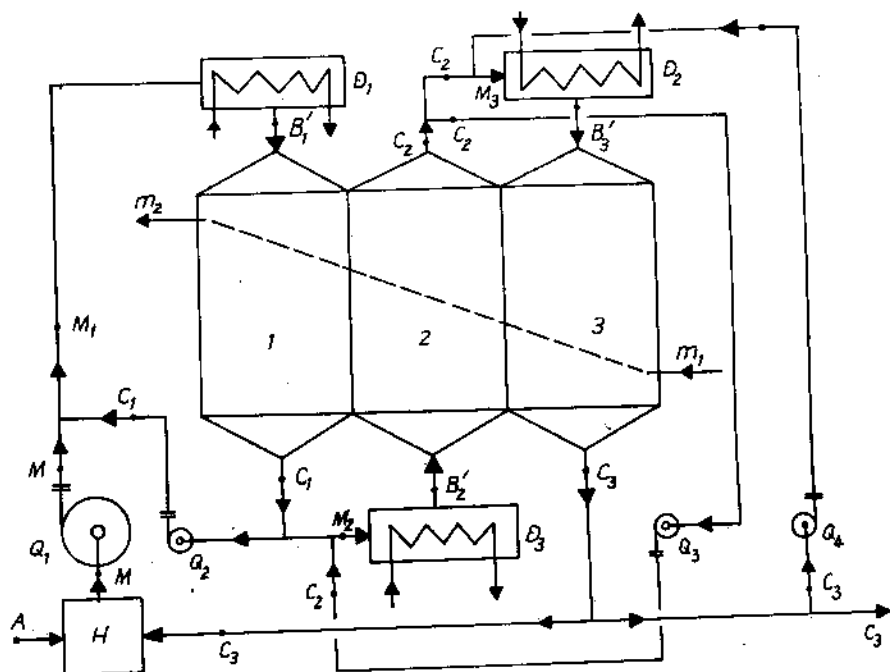
Sấy có đốt nóng bổ sung có những ưu điểm như sau:

- Nhiệt độ tác nhân sấy không cao, nên phù hợp với các vật sấy chịu nhiệt kém.
- Sản phẩm sấy không bị cong vênh, nứt, vỡ.
- Do chuyển động ngược chiều với vật sấy, nên có thể sấy đến hàm ẩm của tác nhân sấy cao, dẫn tới G nhỏ đi, ít tiêu tốn điện năng cho quạt.

4.2.8.4. Hệ thống sấy có đốt nóng bổ sung và tuần hoàn tác nhân sấy

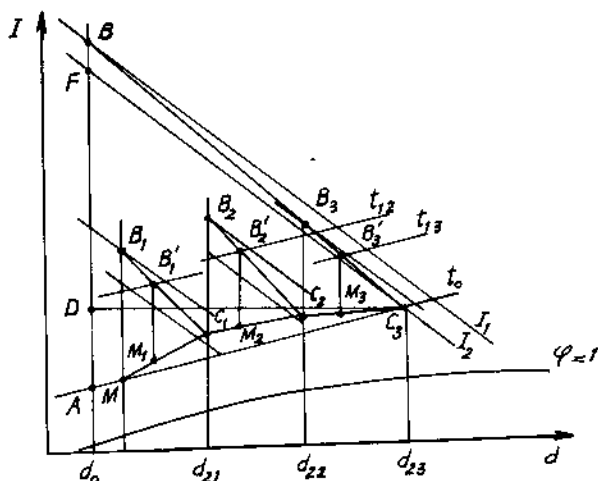
Đây là hệ thống sấy linh hoạt, nó tạo ra nhiều khả năng điều chỉnh chế độ sấy trong các vùng khác nhau của buồng sấy, phù hợp với yêu cầu của sản phẩm sấy. Nhờ vậy mà nó được ứng dụng rộng rãi trong công nghiệp chế biến các sản phẩm kém chịu nhiệt, dễ biến dạng, dễ nứt vỡ.

Nguyên lý cấu tạo của hệ thống kiểu này được thể hiện ở hình 4-16, quá trình sấy thể hiện ở hình 4-17.



Hình 4-16. Hệ thống có đốt nóng bổ sung và tuần hoàn tác nhân sấy.

1, 2, 3- các vùng sấy trong buồng sấy; H- buồng hoà trộn; D₁, D₂, D₃- thiết bị đốt nóng tác nhân sấy; Q₁, Q₂, Q₃, Q₄- quạt ly tâm.



Hình 4-17. Quá trình sấy có đốt nóng bổ sung và tuần hoàn tác nhân sấy

Hoạt động của hệ thống như sau: Tác nhân sấy rời vùng 3 có trạng thái C_3 được hoà trộn với không khí mới trong buồng H . Trạng thái tác nhân sấy sau khi hoà trộn là điểm M , được quạt Q_1 hút và đẩy vào đường ống chung để hoà trộn với lượng tác nhân sấy có trạng thái C_1 do quạt Q_2 đẩy tới, kết quả trạng thái chung là M_1 được thổi vào đốt nóng D_1 để trở thành trạng thái B_1' rồi đi vào vùng sấy 1. Tác nhân sấy rời vùng 1 có trạng thái điểm C_1 được chia làm hai nhánh. Một phần đi đến quạt Q_2 , phần còn lại hoà trộn với tác nhân sau vùng 2 có trạng thái điểm C_2 do quạt Q_3 đẩy tới và trở thành điểm M_2 . Với trạng thái M_2 tác nhân sấy được đốt nóng trong đốt nóng D_2 nên trạng thái là B_2' đi vào vùng sấy 2. Tác nhân rời vùng sấy 2 có trạng thái C_2 được chia làm hai nhánh; một nhánh đi đến quạt Q_3 , phần còn lại hoà trộn với tác nhân sấy rời vùng 3 do quạt Q_4 đẩy tới nên trở thành điểm M_3 , từ điểm M_3 tác nhân được đốt nóng bởi D_3 nên trạng thái thành điểm B_3' rồi đi

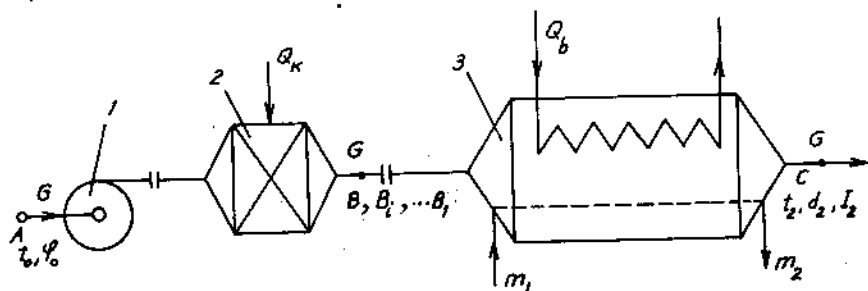
vào vùng 3. Sau vùng 3, tác nhân có trạng thái điểm C_3 được chia làm ba nhánh để đến quạt Q_4 , buồng hoà trộn H , phân thải ra ngoài.

Vật ẩm có khối lượng m_1 đi vào buồng sấy từ vùng 3, sản phẩm có khối lượng m_2 rời buồng sấy ở vùng 1.

Từ chu trình sấy ở hình 4-17 ta tính được lượng không khí G' và lượng nhiệt q_K cần cho 1kg ẩm bay hơi theo các biểu thức (4-80), (4-81) và (4-82).

4.2.8.5. Hệ thống vừa sấy vừa bổ sung nhiệt cho tác nhân sấy

Đây chính là hệ thống sấy có $\Delta \geq 0$. Tác nhân sấy được đốt nóng bằng caloriphe và bổ sung nhiệt bằng thiết bị đốt nóng đặt ngay trong buồng sấy (hình 4-18 và hình 4-19). Nhìn hai hình ta thấy quá trình $A - B - C$ là quá trình thay đổi trạng thái của tác nhân sấy trong hệ thống sấy sử dụng một lần và không có đốt nóng bổ sung ($\Delta < 0$). Giá trị của Δ được tính như sau:



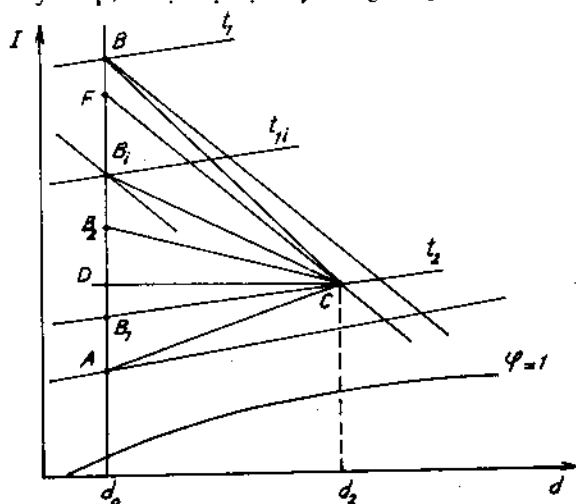
Hình 4-18. Hệ thống sấy có bổ sung nhiệt trong quá trình sấy
1-quạt; 2-caloriphe; 3-buồng sấy.

$$|\Delta| = m_M \frac{\overline{FB}}{\overline{CD}} = |C_p t_1 - \sum q| \quad (4-84)$$

Nếu ở caloriphe giảm đi một lượng nhiệt đúng bằng lượng nhiệt bổ sung cho tác nhân sấy ngay trong buồng sấy là $q_b = |\Delta|$, thì quá trình

sấy sẽ là $F - C$ (quá trình sấy lý thuyết).

Nếu tiếp tục giảm nhiệt lượng q_K ở caloriphe và tăng nhiệt lượng bổ sung q_b sao cho $(q_K + q_b) = \text{const}$ thì các quá trình sấy tương ứng sẽ là $B_1 - C$; $B_2 - C$; ..., $A - C$, trong đó quá trình $B_1 - C$ là quá trình sấy đẳng nhiệt, $A - C$ có cường độ sấy thấp vì hiệu nhiệt độ giữa tác nhân sấy và vật sấy thấp, nhiệt độ vật sấy cũng thấp.



Hình 4-19. Quá trình sấy có bổ sung nhiệt cho tác nhân sấy

Nhiệt lượng q_{K1} và lưu lượng tác nhân G' tính trên 1kg ẩm bay hơi được tính như sau:

$$q_{K1} = m_M \frac{\overline{AB_1}}{\overline{CD}} \quad (4-85)$$

$$G' = \frac{1}{\overline{CD} \cdot M_d} = \frac{1}{d_2 - d_0} \quad (4-86)$$

Nhiệt lượng bổ sung q_b bằng hiệu giữa q_K và q_{K1} ,

$$q_b = q_K - q_{K1} = m_M \frac{\overline{AB}}{\overline{CD}} - m_M \frac{\overline{AB_1}}{\overline{CD}} = m_M \frac{\overline{AB} - \overline{AB_1}}{\overline{CD}}$$

$$= m_N \frac{\overline{B_1 F}}{\overline{CD}} + m_M \frac{\overline{BF}}{\overline{CD}}$$

$$\text{hay: } q_b = m_M \frac{\overline{B_1 F}}{\overline{CD}} + [C_a t_1 - \sum q] \quad (4-87)$$

Qua các mục trên ta thấy, cho dù là sấy có hồi lưu, có đối nóng bổ sung thì nhiệt lượng cần cung cấp cho không khí là tác nhân sấy cũng vẫn bằng khi sấy sử dụng một lần tác nhân sấy. Các giá trị G' và q_k chỉ phụ thuộc vào trạng thái đầu và cuối của tác nhân sấy mà không phụ thuộc vào sơ đồ chuyển động và cách cấp nhiệt cho nó (tác nhân sấy).

4.3. CÁC YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN CHẾ ĐỘ VÀ CƯỜNG ĐỘ SẤY

Như chúng ta đã biết, sấy đối lưu là đặt vật sấy ẩm vào buồng sấy rồi cho tác nhân sấy chuyển động trùm lên vật sấy. Do tác nhân sấy có nhiệt độ t_1 cao hơn nhiệt độ t của vật sấy nên vật sấy nóng lên đến nhiệt độ t_b bay hơi của ẩm (nước). Mặt khác, do độ ẩm tương đối φ_1 của tác nhân nhỏ nên hơi nước từ vật sấy truyền mạnh vào tác nhân sấy. Tốc độ w_1 của tác nhân sấy cũng ảnh hưởng lớn đến cường độ sấy.

Quá trình sấy gồm hai giai đoạn là: giai đoạn thứ nhất còn gọi là giai đoạn tốc độ sấy không đổi, giai đoạn thứ hai là giai đoạn tốc độ sấy giảm dần (xem mục 2.3).

Để quá trình sấy xảy ra như nhau cho mọi vật sấy đặt trong buồng sấy, thì các thông số của tác nhân sấy gồm: t_1 , φ_1 và w_1 phải không được thay đổi đối với bề mặt tiếp xúc của mọi vật sấy.

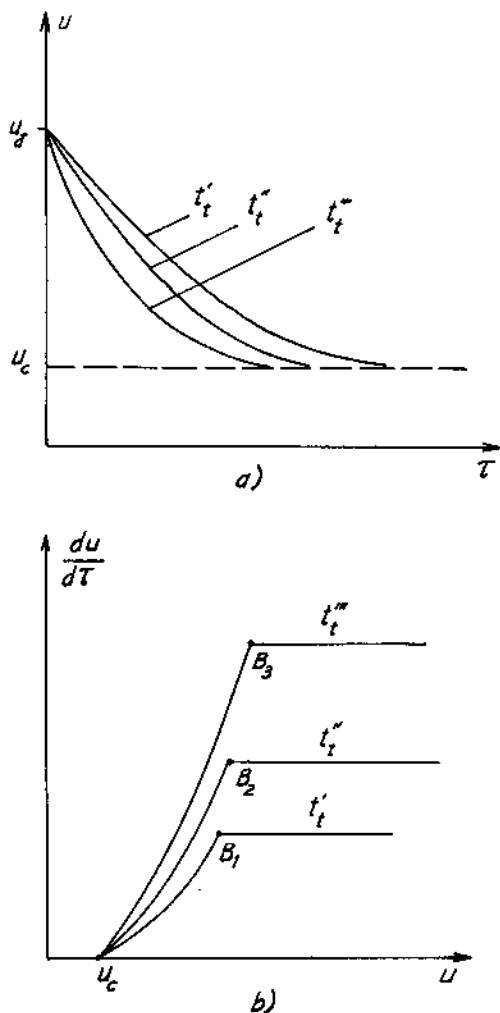
Trong quá trình sấy, thực tế thì nhiệt độ t_1 giảm dần, còn φ_1 tăng dần, tốc độ w_1 phụ thuộc vào diện tích tự do không bị vật sấy chiếm chỗ (tùy hình dạng, kích thước và cách sắp xếp của vật sấy, cấu tạo của buồng sấy). Vì vậy trong thực tế bao giờ chế độ sấy cũng thay đổi

bởi sự thay đổi của t_i , φ_i , w_i . Sau đây là những ảnh hưởng của t_i , φ_i , w_i đến quá trình sấy.

4.3.1. Ảnh hưởng của nhiệt độ tác nhân sấy

Để xét sự ảnh hưởng của nhiệt độ tác nhân sấy đến động học quá trình sấy thì tác nhân sấy phải có các thông số như sau: t_i thay đổi ($\varphi_i = \text{const}$, $w_i = \text{const}$ v.v).

Nhìn hình 4-20 ta thấy, nhiệt độ tác nhân sấy càng cao thì thời gian sấy càng giảm và tốc độ sấy tăng, hàm ẩm lúc kết thúc giai đoạn thứ nhất càng cao. Đó là do chênh lệch nhiệt độ giữa tác nhân sấy và nhiệt độ bề mặt vật sấy tăng thúc đẩy quá trình truyền nhiệt và truyền ẩm cả trong vật sấy và từ bề mặt vật sấy sang tác nhân sấy.



Hình 4-20. Ảnh hưởng của nhiệt độ tác nhân sấy ($t_i' < t_i'' < t_i'''$) đến động học quá trình sấy
a)- đường cong sấy, b)- đường cong tốc độ sấy

4.3.2. Ảnh hưởng của độ ẩm tác nhân sấy

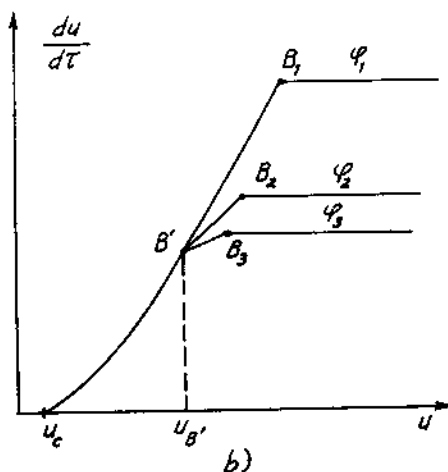
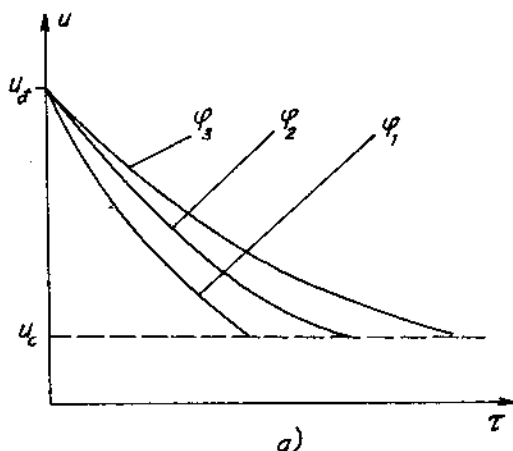
Trên hình 4-21 ta thấy, độ ẩm tương đối của tác nhân sấy càng cao thì thời gian sấy tăng, hàm ẩm của vật sấy lúc kết thúc giai đoạn thứ nhất giảm

$$(u_{B_3} < u_{B_2} < u_{B_1}).$$

Giai đoạn sấy thứ hai (tốc độ sấy giảm dần) có điểm chung là B' .

4.3.3. Ảnh hưởng của tốc độ tác nhân sấy

Tốc độ tác nhân sấy càng lớn thì thời gian sấy càng giảm, cường độ sấy ở giai đoạn thứ nhất tăng, hàm ẩm của vật sấy lúc kết thúc giai đoạn thứ nhất lớn hơn (hình 4-22).



Hình 4-21. Ảnh hưởng của độ ẩm tương đối của tác nhân sấy đến động học quá trình sấy ($\varphi_1 < \varphi_2 < \varphi_3$).
a) đường cong sấy; b) đường cong tốc độ sấy.

Tốc độ sấy ít ảnh hưởng đến cường độ sấy trong giai đoạn sấy

thứ hai. Trong giai đoạn này quá trình sấy phụ thuộc vào cấu trúc của vật sấy, sự liên kết của ẩm với vật sấy (xem mục 1.1.4 và mục 2.3).

4.3.4. Ảnh hưởng của các thông số chế độ sấy đến hàm ẩm của vật sấy giữa hai giai đoạn sấy

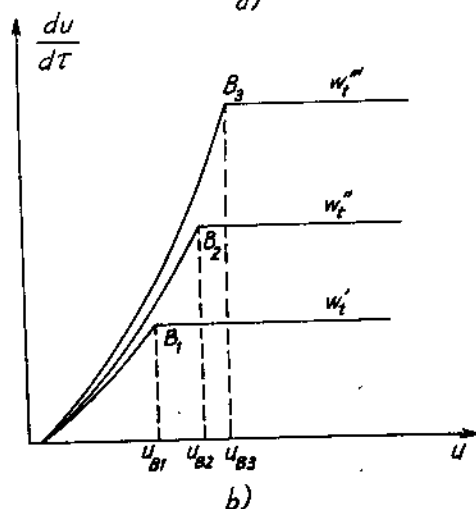
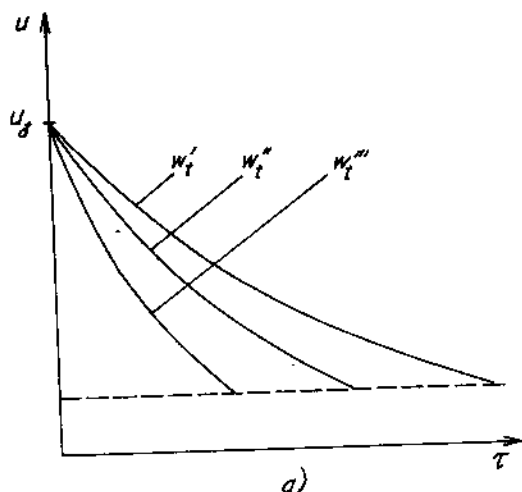
Hàm ẩm của vật sấy lúc kết thúc giai đoạn tốc độ sấy không đổi là hàm của các thông số chế độ sấy (t_i, φ, w_i):

$$u_B = f_1(t_i);$$

$$u_B = f_2(\varphi);$$

$$u_B = f_3(w_i)$$

Trên hình 4-23 ta thấy, hàm $u_B = f_1(t_i)$ có cực đại. Có như vậy là vì với sự tăng nhiệt độ tác nhân sấy (khi nhiệt độ còn thấp) làm tăng cường độ sấy; đến khi nhiệt độ đã cao thì nhiệt độ càng tăng làm gia tăng hệ số khuếch tán ẩm, kết quả là tỷ số giữa cường độ sấy trên hệ số khuếch tán ẩm lúc đầu gia tăng, sau đó giảm dần.

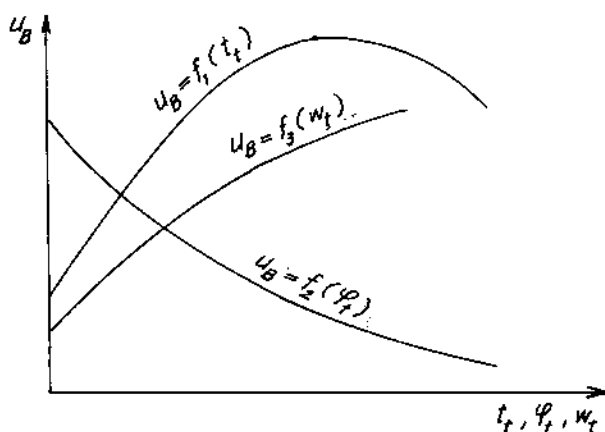


Hình 4-22. Ảnh hưởng của tốc độ tác nhân sấy ($w_i' < w_i'' < w_i'''$) đến quá trình sấy.

a)- đường cong sấy; b)- đường cong tốc độ sấy

Tóm lại, để có sản phẩm sấy có chất lượng cao theo yêu cầu; tùy loại vật sấy, mục đích sử dụng sau khi sấy mà lựa chọn chế độ sấy (t_s , φ_s , w_s) cho phù hợp. Đồng thời tính đến hiệu quả kinh tế của quá trình sấy.

Để tránh tổn hao năng lượng lớn cho quạt, ta nên chọn $w_1 = 5 \text{ m/s}$ trong giai đoạn sấy thứ nhất; $w_1 = 1 \text{ m/s}$ ở giai đoạn thứ hai. Sắp xếp vật sấy trong buồng sấy sao cho ít trở lực nhất mà ít ảnh hưởng đến quá trình sấy.



Hình 4-23. Ảnh hưởng của các thông số chế độ sấy đến hàm ẩm vật sấy sau giai đoạn thứ nhất

4.4. SẤY ĐỐI LƯU CÁC VẬT LIỆU RỜI XẾP LỚP

Trong sấy đối lưu các vật liệu rời thì các thông số như hình dạng, kích thước, sự sắp xếp của các vật sấy; chiều chuyển động và sự phân bố tác nhân sấy đối với các lớp vật sấy là rất quan trọng. Tùy hình dạng và độ lớn nhỏ của vật sấy mà lựa chọn cách sắp xếp thích hợp, sao cho tác nhân sấy tiếp xúc đều với mọi vật sấy. Nếu vật sấy có dạng hình khối hộp lập phương hay chữ nhật với kích thước tương đối

lớn thì xếp chúng thành hàng so le trên các khay cố định hay trên xe treo hoặc xe goòng. Tác nhân sấy chuyển động ngang hoặc dọc theo các lớp vật sấy. Nếu vật sấy là các loại hạt, mảnh thái hay cắt từ các vật lớn hơn thì nên xếp lớp trên các khay có lỗ, xếp trong tủ hay buồng sấy. Các khay được rải một lớp vật sấy đồng đều. Các khay được xếp cố định cách đều nhau trên khung giá cố định hoặc trên xe goòng hay xe treo. Các vật sấy rời có thể xếp lớp trên băng tải. Tác nhân sấy chuyển động ngang, dọc hay xuyên qua lớp vật liệu sấy.

Đặc điểm của sấy đối lưu vật liệu rời xếp lớp tĩnh hay chuyển động cùng xe goòng, xe treo, băng tải là vận tốc tác nhân sấy không làm sáo trộn các vật sấy. Nghĩa là tốc độ tác nhân sấy nhỏ hơn vận tốc lắng của vật sấy.

4.4.1. Các quy luật trong sấy đối lưu vật liệu rời xếp lớp

Cách sắp xếp, độ dày của lớp vật sấy, chiều chuyển động của tác nhân sấy ảnh hưởng lớn đến độ khô đồng đều và năng suất của quá trình sấy. Tùy trường hợp cụ thể ta có thể áp dụng phương pháp đảo trộn.

Cũng tùy vào hình dạng, cách sắp xếp của vật sấy và chiều chuyển động của tác nhân sấy mà tính tổn thất trở lực trong buồng sấy.

Trở lực thủy lực của lớp vật sấy là ΔP được tính theo công thức (4-88) sau đây:

$$\Delta P = \xi \frac{\rho_t \omega_t^2}{2} \cdot \frac{a}{\varepsilon^3} \cdot h \quad (4-88)$$

trong đó:

ξ - hệ số tương đương của trở lực:

$$\xi = \frac{8K}{Re} + K_u \quad (4-89)$$

Re - số Reynold, $Re \leq 2 \cdot 10^3$;

K, K_u - tra bảng 4-2;

ρ_i - khối lượng riêng của tác nhân sấy, kg/m^3 ;

w_1 - tốc độ của tác nhân sấy đi qua lớp vật sấy, m/s ;

ε - độ xốp của lớp vật sấy; $\varepsilon = 0,36 \div 0,42$;

h - chiều cao lớp vật sấy, m ;

a - bề mặt riêng của các vật sấy trong một đơn vị thể tích, m^2/m^3 .

Bảng 4-2. Các giá trị của K và K_u

Đặc tính của lớp vật sấy	K		K_u	
	$\frac{D}{d} > 10$	$\frac{D}{d} < 10$	$\frac{D}{d} > 10$	$\frac{D}{d} < 10$
Các vật hình cầu nhẵn	4,55	4,8	0,45	0,385
Các vật dạng hình trụ	4	6,9	0,585	0,68
Các vật dạng bất kỳ	8	6,9	0,75	0,68

Giá trị của a được tính theo các điều kiện (4-90) và (4-91) như sau:

$$a = \frac{6(1-\varepsilon)}{d_{tb}} \text{ khi } \frac{D}{d_{tb}} > 10 \quad (4-90)$$

$$a = \frac{6(1-\varepsilon)}{d_{tb}} + \varphi a_1 \text{ khi } \frac{D}{d_{tb}} < 10 \quad (4-91)$$

trong đó:

D - đường kính thiết bị;

d_{tb} - đường kính trung bình của các vật sấy khi không phải là hình cầu;

a_1 - bề mặt riêng của thành thiết bị, m^2/m^3 ;

φ - tra trên đồ thị hình 4-24.

Đường kính trung bình của vật sấy khi không phải hình cầu được tính theo điều kiện (4-92) và (4-93):

$$d_{tb} = \frac{d}{f}, \text{ khi vật sấy có kích thước giống nhau,} \quad (4-92)$$

$$d_{tb} = \left(\sum_{i=1}^n \frac{Y_i f_i}{d_i} \right)^{-1} \quad \text{khi vật sảy có kích thước khác nhau,} \quad (4-93)$$

trong đó:

d - đường kính của hình cầu có thể tích bằng thể tích vật sảy không phải hình cầu;

f - hệ số không hình cầu (dị cầu);

Y_i, f_i, d_i - khối lượng, hệ số dị cầu, đường kính của vật sảy thứ i ;

n - số vật sảy trong một lớp.

Giá trị của f có thể tính theo điều kiện (4-94) như sau:

$$f = 0,207 \frac{F}{V} \quad (4-94)$$

trong đó:

F, V - bề mặt và thể tích của vật sảy không phải hình cầu;

f cũng có thể lấy như sau;

$f = 1,15 \div 1,5$ đối với vật có hình bầu dục;

$f = 1,5$ đối với vật dài và sù sì;

$f > 1,5$ đối với vật rất sù sì;

Chuẩn số Reynold được

tính theo điều kiện (4-95):

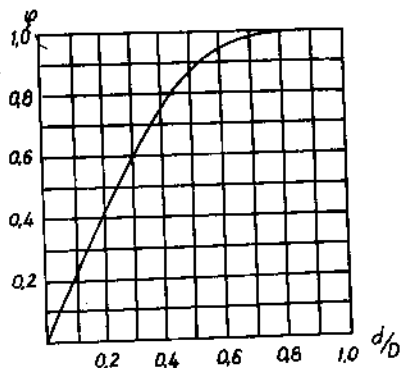
$$Re = \frac{4W_t}{a.v} \quad (4-95)$$

v - độ nhớt động học,

m^2/s .

Nếu lớp vật sảy chuyển động với vận tốc là $w' > 0,2 w$ thì trong công thức (4-95) thay $w = w' + \varepsilon w'$.

Khi tác nhân sảy đi qua lớp vật sảy là không đẳng nhiệt thì các đặc tính lấy theo



Hình 4-24. Sự phụ thuộc của φ vào d/D

hiệu suất trung bình.

Phương pháp tính ΔP như trên áp dụng trong sấy đối lưu các vật rời xếp lớp với vận tốc của tác nhân sấy luôn nhỏ hơn vận tốc làm lớp vật sấy mất ổn định và chuyển sang dạng tầng sôi. Điều đó được thể hiện ở điều kiện (4-96).

$$\frac{\Delta P}{\rho \cdot g \cdot h} = 0,6 \quad (4-96)$$

trong đó:

ρ - khối lượng riêng lớp vật sấy, (kg/m^3);

g - gia tốc trọng trường, (m/s^2);

h - chiều dày lớp vật sấy, (m).

Sấy đối lưu được tiến hành trong các hệ thống sấy có cấu tạo đa dạng và phong phú.

4.4.2. Buồng sấy

Buồng sấy có hình dạng khối hộp lập phương, khối hộp chữ nhật đứng hay nằm, hình trụ đứng hoặc nằm. Thành buồng sấy được bọc cách nhiệt và cách ẩm, có cửa để nạp và lấy sản phẩm. Vật sấy được rải đều thành lớp trên các tầng khay đặt gác lên khung giá trong buồng sấy. Bộ phận gia nhiệt cho tác nhân sấy có thể đặt trong hoặc ngoài buồng sấy. Tác nhân sấy được đối lưu tự nhiên hay cưỡng bức nhờ hệ thống quạt. Quá trình sấy là gián đoạn hoặc theo chu kỳ. Nạp và tháo sản phẩm bằng thủ công hay cơ giới.

Buồng sấy được ứng dụng rất rộng rãi trong công nghiệp chế biến các nông, lâm, thủy hải sản và chế biến thực phẩm, dược phẩm, thức ăn chăn nuôi. Nó có thể sấy các vật sấy bất kể ở dạng nào (đơn chiếc; dạng hạt, miếng mảnh nhỏ xếp lớp; dạng bột nhão, dạng lỏng). Buồng sấy có cấu tạo đơn giản; dễ chế tạo, lắp đặt; dễ vận hành; vốn đầu tư ít.

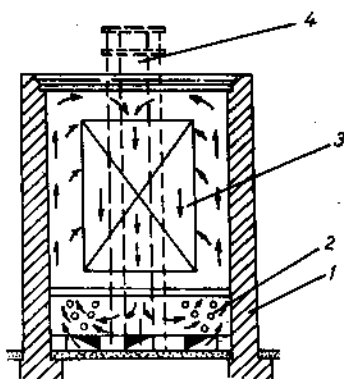
Buồng sấy có năng suất từ 20kg đến 50 kg ẩm (nước) bay hơi trong một giờ là loại nhỏ. Buồng sấy trung bình có năng suất từ 50kg đến 100 kg ẩm bay hơi trong một giờ.

Do quá trình sấy là gián đoạn và chu kỳ nên lượng nhiệt tiêu tốn để nung nóng thành và giá đỡ trong buồng sấy giữa các lần sấy rất đáng kể. Tổn sức lao động chân tay, phải trả lương cho nhiều người phục vụ, khó đảm bảo vệ sinh tuyệt đối. Sản phẩm khô không đồng đều. Muốn có độ đồng đều cao cần phải đảo trộn sau mỗi khoảng thời

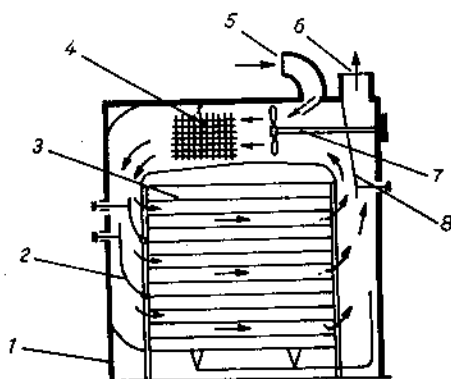
gian nhất định tùy thuộc vào vật sấy.

Buồng sấy có kích thước nhỏ được gọi là tủ sấy. Sau đây là một số dạng cấu tạo của buồng sấy.

Hình 4-25 thể hiện mặt cắt ngang của buồng sấy được xây bằng gạch ngay trên nền phân xưởng, trần được lát bằng các tấm bê tông cốt thép. Các ống gia nhiệt được đặt phía dưới vật sấy. Tác nhân sấy đối lưu tự nhiên qua vật sấy rồi theo ống thải ra ngoài. Loại



Hình 4-25. Buồng sấy xây bằng gạch
1-tường; 2-ống gia nhiệt; 3-vật sấy;
4-ống thải

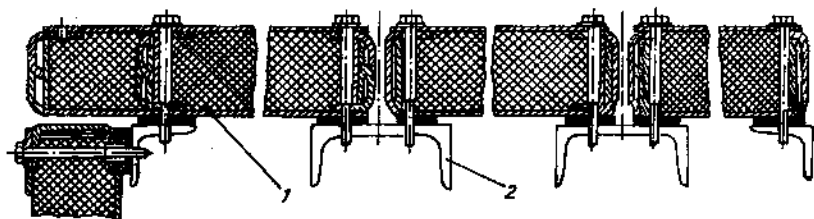


Hình 4-26. Buồng sấy đối lưu cưỡng bức tác nhân sấy bằng quạt hướng trục.
1- tường buồng sấy; 2- các cánh phân phối tác nhân sấy; 3- các khay chứa vật sấy;
4- caloriphe (bộ phận cấp nhiệt);
5- cửa lấy không khí mới; 6- cửa thải;
7- quạt; 8- cửa chỉnh lượng tác nhân sấy hồi lưu.

buồng sấy này có năng suất thấp, sản phẩm khô không đồng đều.

Cấu tạo buồng sấy như hình 4-26 làm tăng tốc độ đồng thời phân phối đều tác nhân sấy đến mọi khay chứa vật sấy. Nhờ vậy năng suất và chất lượng sản phẩm cao hơn. Nhờ cửa 8 mà ta có thể tiến hành sấy không tuần hoàn, tuần hoàn một phần hoặc toàn bộ tác nhân sấy phù hợp với các giai đoạn sấy và các vật sấy khác nhau. Tường buồng sấy có cấu tạo bằng khung chịu lực từ các thanh thép định hình, bên ngoài được bọc cách nhiệt. Vật sấy được xếp lên các khay có đục lỗ hoặc không. Các khay được xếp vào khung giá cố định trong buồng sấy hoặc xếp lên xe goòng đẩy vào.

Hình (4-27) thể hiện cấu tạo của tường buồng sấy. Để tránh cầu nhiệt thì tường nên có khung gỗ, hai tấm thép trong và ngoài lớp cách nhiệt (bông thủy tinh) được bắt vít vào gỗ và không tiếp xúc với nhau (hình 4-28)



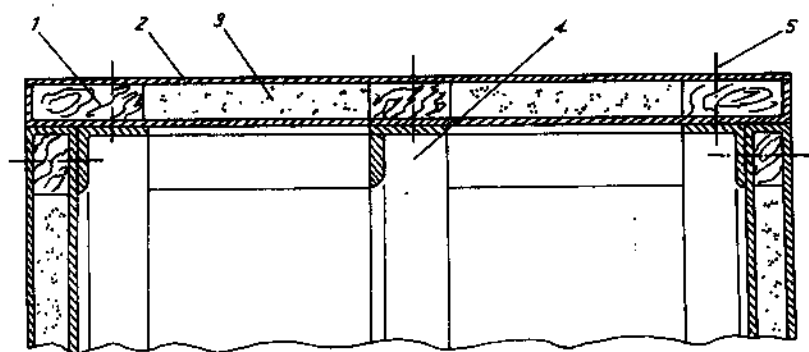
Hình 4-27. Một cách cấu tạo tường buồng sấy.

1- tường cách nhiệt; 2- khung chịu lực.

Giá đỡ các khay có thể lắp cố định lên các cột hay xà của hệ khung chịu lực làm từ thép định hình.

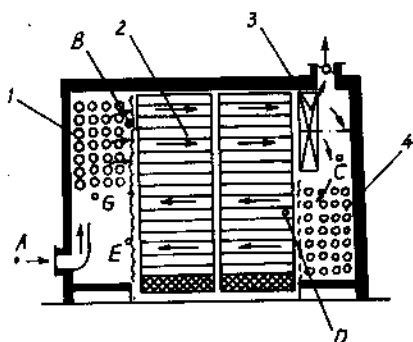
Hình 4-29 thể hiện nguyên lý cấu tạo của buồng sấy có tuần hoàn và đốt nóng bổ sung tác nhân sấy.

Buồng sấy có cấu tạo như hình 4-30 có sản phẩm sấy với độ khô đồng đều hơn vì tác nhân sấy đi xuyên qua khay chứa vật sấy tạo ra sự tiếp xúc đồng đều của vật sấy với tác nhân sấy.



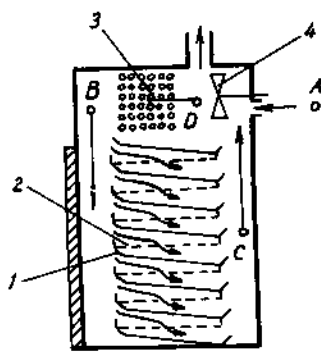
Hình 4-28. Cấu tạo tường buồng sấy

1- khung gỗ; 2- thép tấm; 3- cách nhiệt; 4- khung chịu lực; 5- đinh ốc



Hình 4-29. Buồng sấy có tuần hoàn và đốt nóng bổ sung tác nhân sấy

1- caloriphe chính; 2- các khay đựng vật sấy; 3- quạt; 4- caloriphe đốt nóng bổ sung.



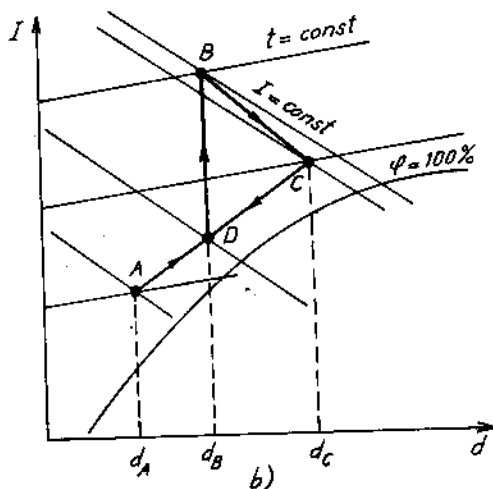
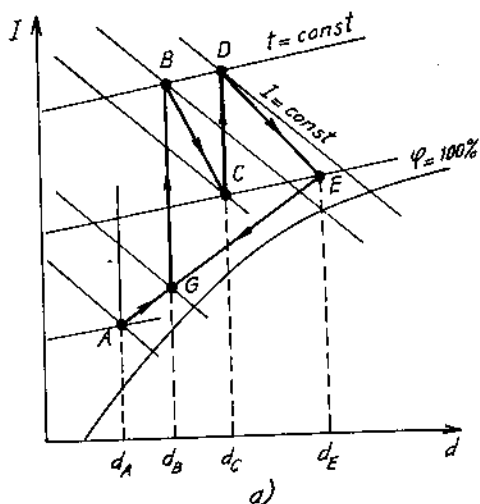
Hình 4-30. Buồng sấy có tuần hoàn tác nhân sấy, tác nhân sấy đi xuyên qua lớp vật sấy

1- tấm chắn; 2- khay có lỗ (hoặc lưới); 3- caloriphe; 4- quạt

Hình 4-31 thể hiện các quá trình sấy xảy ra trong các buồng sấy có nguyên lý cấu tạo và hoạt động như ở hình 4-29 và 4-30. Khi lựa chọn kết cấu buồng sấy phải căn cứ vào kết quả tính công nghệ sấy

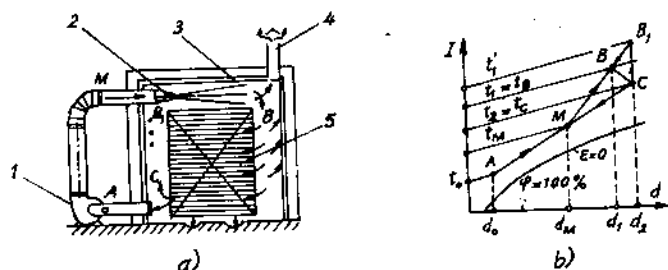
(xem mục 4.2). Kết cấu buồng sấy sát với phương thức sấy đã chọn sẽ cho kết quả sấy phù hợp với tính toán. Trường hợp có hệ thống sấy chế tạo sẵn, thì cần chọn tác nhân sấy có các thông số phù hợp, chế độ sấy đúng cho từng loại vật sấy cụ thể mới có kết quả sấy tốt.

Thông thường với buồng sấy nên chọn vận tốc tác nhân từ 0,5 (m/s) đến 1,5 (m/s), đôi khi có thể lấy đến 5 (m/s) nếu được (không lấy lớn hơn vận tốc lắng của vật sấy, sản phẩm sấy). Chiều dày của lớp vật sấy dạng rời (hạt, mảnh nhỏ) nên chọn trong khoảng từ 30 đến 50 (mm). Năng lượng tiêu hao trên mỗi kg ẩm bay hơi khoảng 8000 (kJ), tương đương nhiệt ngưng tụ của từ 1 đến 2,5 (kg) hơi nước bão hoà. Cường độ sấy khoảng $0,12 \div 5$ (kg/m².h).



Hình 4-31. Đồ thị sấy bằng không khí nóng.
a) Quá trình sấy trong buồng sấy ở hình 4-29
b) Quá trình sấy trong buồng sấy ở hình 4-30.

Muốn có độ khô của sản phẩm sấy đồng đều thì trong buồng sấy không có vùng lặng gió (hoặc gió yếu) và tốc độ tác nhân sấy phải lớn. Để làm được điều đó ta dùng buồng sấy có vòi phun tác nhân sấy thể hiện ở hình 4-32 và hình 4-33.

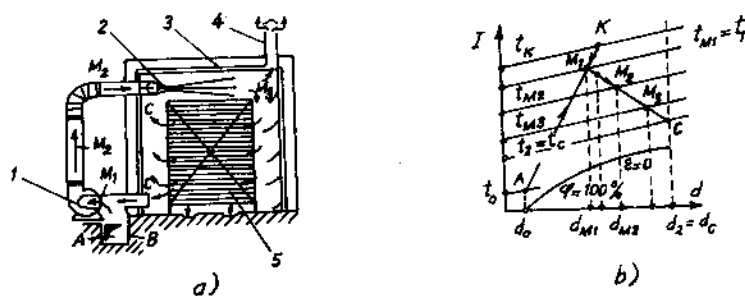


Hình 4-32. Buồng sấy có vòi phun tác nhân sấy, khi tác nhân sấy là không khí nóng.

a) Nguyên lý cấu tạo của buồng sấy

1- quạt; 2- vòi phun tác nhân sấy; 3- buồng sấy; 4- ống thải; 5- các khay đựng vật sấy.

b) Quá trình sấy trên đồ thị I-d



Hình 4-33. Buồng sấy có vòi phun tác nhân sấy, khi tác nhân sấy là khói lò.

a) Nguyên lý cấu tạo của buồng sấy

1- quạt; 2- vòi phun; 3- buồng sấy; 4- ống thải; 5- các khay đựng vật sấy

b) Quá trình sấy trên đồ thị I-d.

Tốc độ của tác nhân sấy lúc rời vòi phun vào khoảng từ 30 đến 50 m/s. Số lượng vòi phun có thể ít, nhiều, khác nhau. Hệ số phun F được tính từ hình 4-32 b:

$$F = \frac{d_1 - d_M}{d_2 - d_1} \approx \frac{t_1 - t_M}{t'_1 - t_1} \quad (4-97)$$

trong đó:

F - hệ số phun ;

d_1, d_2 - hàm ẩm của tác nhân sấy tại điểm đầu, cuối quá trình sấy;

d_M - hàm ẩm của hỗn hợp hoà trộn giữa khí thải và không khí mới;

t_1 - nhiệt độ của tác nhân sấy lúc đầu quá trình sấy;

t'_1 - nhiệt độ tác nhân sấy sau caloriphe.

Từ tốc độ tác nhân sấy ở miệng vòi phun, lưu lượng tác nhân sấy ta tính được đường kính vòi phun, số vòi phun. Tốc độ của tác nhân sấy ở sau ống côn (hình 4-34) được tính theo công thức sau:

$$w_3 = \frac{\xi \cdot w_1}{F - 1} \quad (4-98)$$

trong đó:

F - hệ số phun;

w_1 - tốc độ tác nhân sấy

tại miệng vòi phun:

$w_1 = 30 \div 50$ (m/s);

w_3 - tốc độ tác nhân sấy sau ống côn, (m/s);

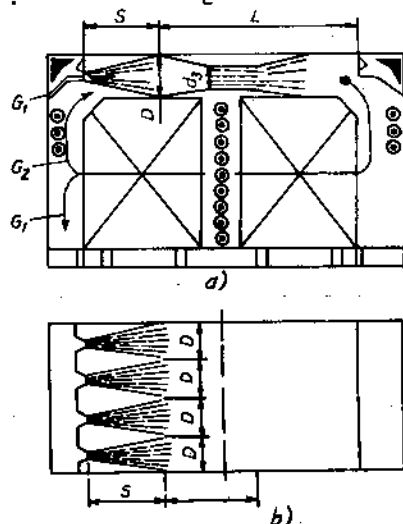
ξ - tổng trở lực gồm vòi phun, buồng hoà trộn, ống côn, v.v.

Có thể lấy :

$$\xi = (0,57 \div 0,72).$$

Nếu miệng vòi phun là hình vuông thì đường kính vòi phun lấy bằng cạnh miệng phun.

Hình 4-34 thể hiện kích thước của các vòi phun trong buồng sấy.



Hình 4-34. Kích thước vòi phun, ống côn trong buồng sấy.

a. Hình chiếu đứng

b. Hình chiếu bằng.

Các quan hệ giữa chúng được thể hiện như sau:

$$\left. \begin{aligned} D &= 1,55d(1 + F); \\ S &= 3,25(0,37 + F)d; \\ L &> 4D \end{aligned} \right\} \quad (4-99)$$

trong đó:

- d - đường kính miệng vòi phun;
- D - đường kính miệng ống côn;
- S - chiều dài ống côn;
- L - chiều dài phần kênh gió còn lại;
- F - hệ số phun.

4.4.3. Hầm sấy

Hầm sấy có cấu tạo khác buồng sấy là chiều dài có kích thước lớn gấp nhiều lần chiều rộng và chiều cao. Hầm sấy được dùng để sấy các vật sấy kém chịu nhiệt và khó khô. Vật sấy thường ở dạng rời xếp lớp như các loại hạt, củ, quả cắt lát, chè, rau, ...). Các khay được xếp trên xe goòng, xe treo, trên băng tải. Vật sấy cùng phương tiện vận chuyển (xe goòng, xe treo hay băng tải) đi vào đầu hầm và đi ra ở cuối hầm. Để kéo các xe goòng, xe treo ta dùng xích tải. Tác nhân sấy chuyển động ngược chiều, hoặc cùng chiều với vật sấy. Để tác nhân sấy không tràn ra ngoài, hoặc không khí ở ngoài không bị hút vào hầm thì ở đầu và cuối hầm sấy có khoang xếp để nạp và lấy từng xe một. Hệ thống quạt vận chuyển tác nhân và bộ phận gia nhiệt được lắp bên ngoài hoặc ngay trên nóc hầm sấy, caloriphe cũng có thể lắp trong hầm sấy.

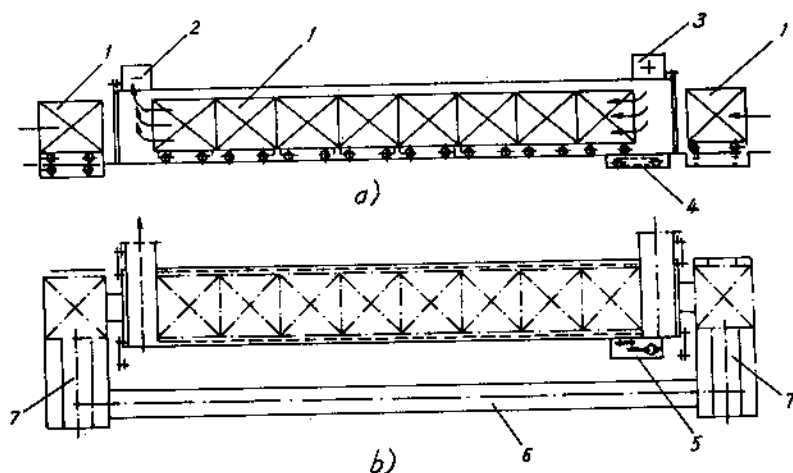
Căn cứ vào phương tiện vận chuyển hầm sấy gồm có ba loại: hầm sấy có xe goòng, hầm sấy xe treo, hầm sấy băng tải.

4.4.3.1. Các hầm sấy có xe goòng

Hình 4-35 thể hiện cấu tạo của hầm sấy có xe goòng (không thể hiện hệ thống quạt và thiết bị gia nhiệt tác nhân sấy). Chiều dài của

hầm bằng tổng chiều dài của các xe goòng xếp trong hầm, cộng với chiều dài nơi lắp cửa hút, đẩy tác nhân sấy, cộng với chiều dài khoang xếp ở hai đầu (nếu có) để nạp và lấy xe ra.

Hầm dài nhất có thể đến 60 m. Nếu hầm ngắn (ít xe) thì nạp và lấy xe ra có thể dùng sức người đẩy và kéo. Khi hầm dài (có nhiều xe) thì phải có hệ thống cơ giới như xích tải, cơ cấu thủy lực để nạp và lấy xe goòng. Xe goòng có bốn bánh lăn trên đường ray hoặc trong lòng hai thanh thép góc. Sau khi lấy sản phẩm sấy, xe goòng theo đường vòng bên ngoài hầm đi quay lại phía đầu hầm. Khi đã nạp đầy các khay chứa vật sấy, xe được đưa vào hầm sấy. Thời gian sấy chính là thời gian chuyển động của mỗi xe goòng đi từ đầu đến cuối hầm sấy. Năng suất của hầm sấy bằng năng suất của một xe nhân với số xe vào hoặc ra trong mỗi giờ. Nếu gọi thời gian giữa hai xe liên tiếp là một chu kỳ thì năng suất của hầm sấy bằng năng suất của một xe nhân với



Hình 4-35. Hầm sấy có xe goòng

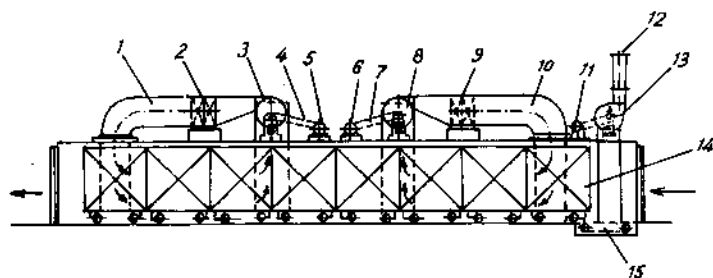
a. Hình chiếu đứng; b. Hình chiếu bằng.

1- xe goòng; 2, 3- cửa hút, cửa đẩy tác nhân sấy; 4- xích kéo (đẩy) xe goòng; 5- bộ phận dẫn động xích (động cơ và hộp giảm tốc); 6- đường ray vòng; 7- hai xe đưa, đón xe goòng.

số chu kỳ trong mỗi giờ. Căn cứ vào đặc tính của vật sấy để thiết kế các khay. Chiều dài và rộng của khay chọn sao cho một người bê hay hai người khuôn dễ dàng. Chiều cao khay phụ thuộc vào chiều dày của lớp vật sấy sao cho khô đều. Kích thước xe goòng phụ thuộc vào số khay xếp trên xe. Mỗi tầng của xe goòng có thể xếp một hoặc hai khay. Chiều cao xe phụ thuộc số tầng xếp khay nhân với khoảng cách giữa các khay, cộng với chiều cao cho bánh xe, ray v.v.

Khoảng cách của các khay phải phù hợp với tốc độ tác nhân sấy. Khe hở giữa xe goòng với tường, trần, nền hầm sấy phải nhỏ nhất.

Với hầm sấy ta có thể tiến hành các quá trình sấy đa dạng: sấy không hồi lưu khí thải, sấy có hồi lưu một phần hay toàn bộ khí thải, chia thành nhiều vùng sấy phù hợp với các giai đoạn sấy, sấy có đốt nóng bổ sung tác nhân sấy v.v. Tác nhân sấy có thể chuyển động cùng chiều với xe goòng (hình 4-35), vừa xuôi vừa ngược với xe goòng (hình 4-36) chuyển động cắt ngang với xe goòng (hình 4-37).

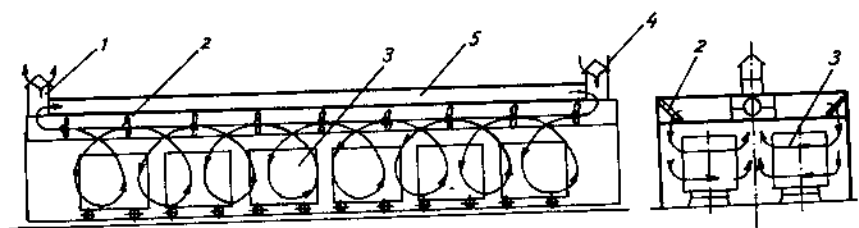


Hình 4-36. Hầm sấy có hai vùng sấy

1- ống đẩy; 2- caloriphe; 3- quạt; 4- đai thang; 5- động cơ điện; 6- động cơ điện; 7- đai thang; 8- quạt; 9- caloriphe; 10- ống đẩy; 11- động cơ điện; 12- ống thải; 13- quạt; 14- xe goòng; 15- bộ phận đẩy xe goòng vào hầm sấy.

Hình 4-37 thể hiện nguyên lý cấu tạo của hầm sấy có nhiều vùng sấy, tác nhân sấy chuyển động cắt ngang chuyển động của các xe goòng. Để tạo ra chuyển động phức tạp của tác nhân sấy như hình vẽ, phải dùng nhiều quạt hướng trục. Từng cụm quạt nhận truyền động từ

trục chung đặt bên ngoài buồng sấy. Đây cũng là hạn chế của phương pháp này. Bù lại ta có năng suất và chất lượng sản phẩm sấy cao hơn.



Hình 4-37. Hầm sấy có nhiều vùng sấy

1- cửa thải; 2- các quạt hướng trục; 3- xe goòng; 4- cửa lấy không khí; 5- ống hồi lưu.

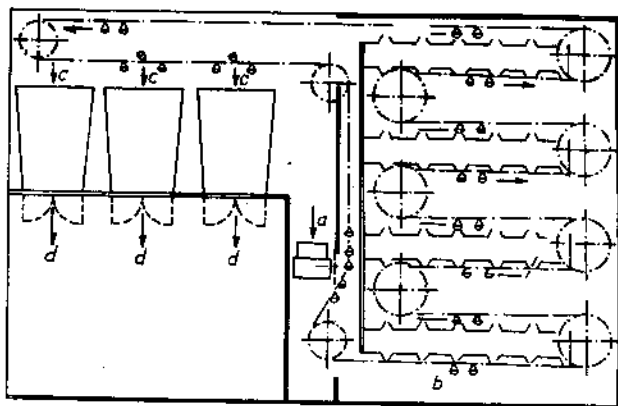
Việc tính toán quá trình sấy trong hầm sấy phải căn cứ vào kết cấu hầm đã lựa chọn, chế độ sấy tương ứng. Các bước tính toán đã đề cập ở mục 4.2.

4.4.3.2. Hầm sấy có xe treo

Loại hầm sấy có xe treo cũng được dùng để sấy các vật sấy rời xếp lớp (các loại hạt, mảnh cắt nhỏ). Cấu tạo của loại hầm sấy này gồm: hầm sấy có kết cấu ngắn và rộng, cao, bên trong chia thành nhiều khoang phù hợp với hệ thống xích vận chuyển các xe và chuyển động của tác nhân sấy. Chiều dài của xích nằm trong buồng sấy phụ thuộc thời gian sấy, tốc độ của xích. Chiều dài tổng cộng của xích bằng chiều dài phần nằm trong hầm sấy cộng với phần để tháo sản phẩm sấy và nạp mới vật sấy. Mỗi xe treo có thể có một hay nhiều khay. Nếu mỗi xe chỉ có một khay thì việc nạp vật sấy và tháo sản phẩm sấy dễ tự động hoá, quá trình sấy là liên tục (hình 4-38). Nếu mỗi xe có nhiều khay thì theo nguyên tắc sấy liên tục nhưng các xe được treo lên xích hay lấy ra lần lượt từng chiếc một. Các móc treo xe phải có bánh lăn trên ray treo.

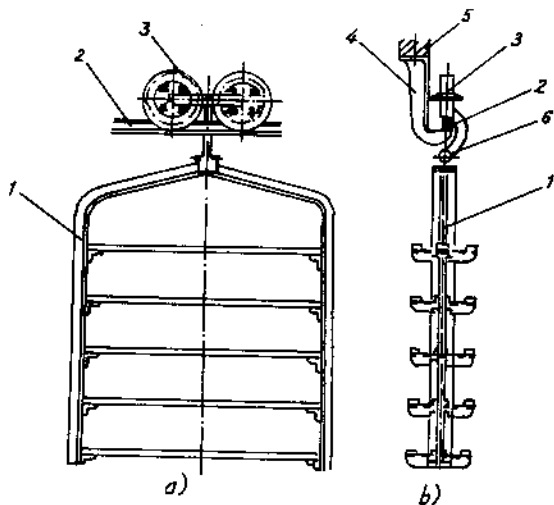
Nhìn hình 4-38 ta thấy xích tải chuyển động ngang nhưng chồng lên nhau và lên cao dần đến độ cao tháo sản phẩm sấy (vật sấy đã khô đạt độ ẩm yêu cầu), sau đó chuyển động xuống để nạp vật sấy còn ẩm.

Như vậy khung xe treo phải hẹp để không bị vướng (hình 4-39).



Hình 4-38. Hầm sấy có xe treo nạp và tháo liệu liên tục

a- Nạp liệu (vật sấy); b- Các xe treo trên xích; c- Các phễu tháo sản phẩm;
d- Cửa xả vào thùng chứa thành phẩm



Hình 4-39. Khung xe treo trên ray

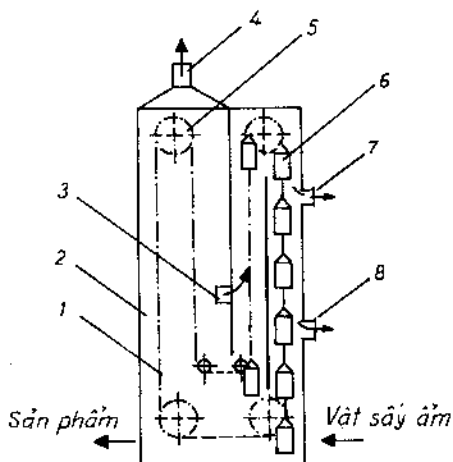
a. Hình chiếu đứng; b. hình chiếu cạnh.

1- khung xe treo; 2- ray treo; 3- bánh xe;
4- giá treo ray; 5- xà chịu lực (để lắp các giá treo ray); 6- móc treo xe

Để đơn giản ta có thể chỉ dùng một bánh xe mà không cần hai bánh như hình trên.

Ta có thể cho các xe treo cùng xích chuyển động ngang trên đường ray uốn khúc nhưng cùng nằm trên một mặt phẳng ngang.

Đương nhiên trong trường hợp này việc nạp vật sấy ẩm vào các xe cũng như lấy sản phẩm khỏi xe đều ở tầm với của con người. Muốn đưa sản phẩm vào bunker (thùng lớn) để bảo quản thì phải dùng gàu tải (với hạt), băng tải (với vật rời có kích thước lớn hơn hạt). Trường hợp này không bao giờ xe treo bị vướng vào xích và ray, sửa chữa dễ dàng.



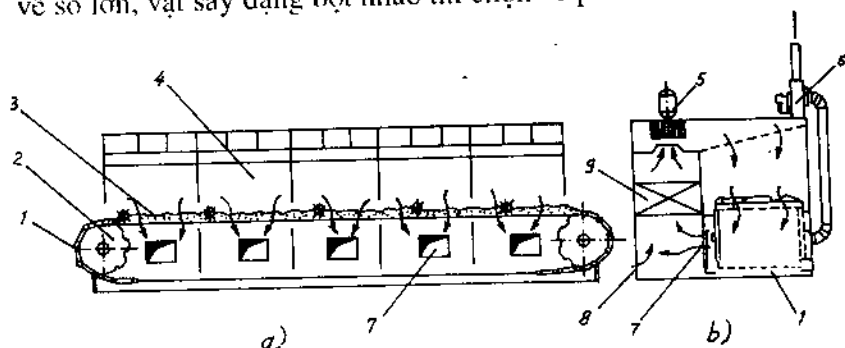
Hình 4-40. Hầm sấy dạng tháp

- 1- xích tải; 2- thân tháp; 3- cửa vào của tác nhân sấy; 4- cửa thải; 5- bánh xích;
6- xe treo; 7, 8- cửa thải

4.4.3.3. Máy sấy băng tải

Nguyên tắc cấu tạo của máy sấy băng tải gồm có hầm hoặc buồng sấy, băng tải liên tục chuyển động trong buồng. Vật sấy được rải đều trên băng tải nhờ cơ cấu nạp liệu. Sản phẩm liên tục được lấy ra ở cuối băng tải. Tác nhân sấy là không khí nóng hay khối lò chuyển động cắt ngang qua chiều chuyển động của băng tải. Chiều dài và tốc độ của băng tải phụ thuộc vào thời gian sấy. Chiều rộng băng (cũng là chiều rộng lớp vật sấy) chiều dày lớp vật sấy và

tốc độ băng phụ thuộc năng suất của máy. Để không gây ra trở lực lớn, sản phẩm có độ khô đều thì lớp vật sấy trên băng có chiều dày từ 50 đến 250 mm. Vật sấy xốp (hạt, mảnh cát nhỏ) thì chọn thiên về số lớn, vật sấy dạng bột nhão thì chọn về phía số bé.



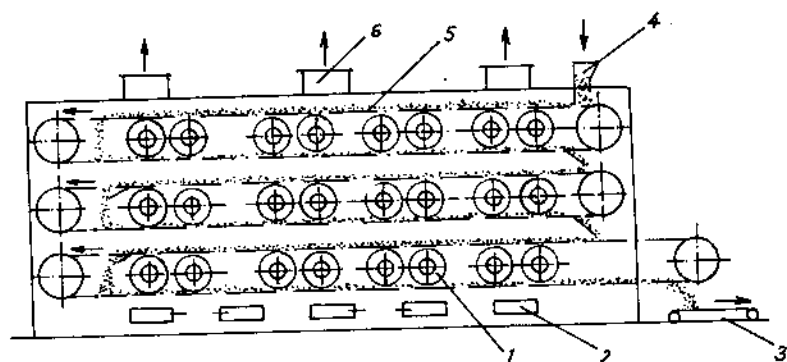
Hình 4-41. Máy sấy một băng tải.

a. Hình chiếu đứng; b. hình chiếu cạnh.

1- xích tải; 2- bánh xích; 3- lớp vật sấy; 4- các khoang sấy; 5- quạt tuần hoàn tác nhân sấy trong mỗi khoang; 6- quạt hút khí thải; 7- cửa tuần hoàn tác nhân sấy; 8- cửa lấy không khí mới; 9- caloriphe trong mỗi khoang

Băng tải có cấu tạo rất đa dạng: có thể là băng được chế tạo từ hàng dệt, lưới thép, băng thép đục lỗ, các khay đục lỗ hoặc không, lắp trên trục quay, hai đầu trục lắp vào hai xích tải. Hai đầu khay về phía xích được kéo trượt trên lòng thanh thép góc. Đến vị trí thanh thép góc đỡ không còn, đó là lúc khay xoay và đổ vật sấy xuống các khay dưới. Đây cũng là biện pháp đảo trộn vật sấy. Các khay có thể xoay quanh trục giữa hoặc theo bản lề như cánh cửa. Sau đây là một số dạng cấu tạo của máy sấy băng tải.

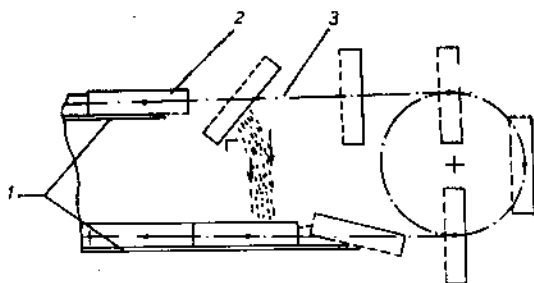
Hình 4-41 thể hiện cấu tạo của máy sấy một băng tải có nhiều vùng sấy. Băng tải là lưới thép được lắp trên hai xích tải, chuyển động nhờ hai cặp bánh xích và bộ truyền động từ động cơ. Theo chiều dài của băng, hướng sấy được chia thành các khoang sấy. Mỗi khoang có quạt và caloriphe riêng. Nhờ vậy ta có thể điều chỉnh được chế độ sấy, nâng cao được năng suất và chất lượng sản phẩm sấy.



Hình 4-42. Nguyên lý cấu tạo của máy sấy nhiều băng tải.

1- caloriphe; 2- các cửa gió; 3- băng tải sản phẩm; 4- bộ phận nạp liệu;
5- băng tải; 6- cửa thổi.

Hình 4-42 thể hiện nguyên lý cấu tạo của máy sấy nhiều băng tải. Vật sấy dạng rời được nạp vào nhánh trên của băng tải trên cùng nhờ bộ phận nạp liệu. Bộ phận nạp liệu có nhiệm vụ rải đều vật sấy lên bề mặt băng đang chuyển động sang trái. Băng tải được tạo bởi các khay lật đặt liên tiếp nhau mà hai đầu trục bản lề lắp lên hai xích tải. Khi gần tới bánh xích trái thì hai thanh đỡ đầu khay bị hẫng, khay sẽ lật và đổ vật sấy xuống nhánh băng tải phía dưới (chính là đổ lên các khay vừa từ trên vòng xuống). Khi các khay ở nhánh dưới gần trở về gần đến bánh xích bên phải thì vật sấy lại được khay lật đổ xuống băng tải phía dưới. Cứ như vậy cho đến băng tải dưới cùng, sản phẩm được đổ lên băng tải sản



Hình 4-43. Băng tải khay lật

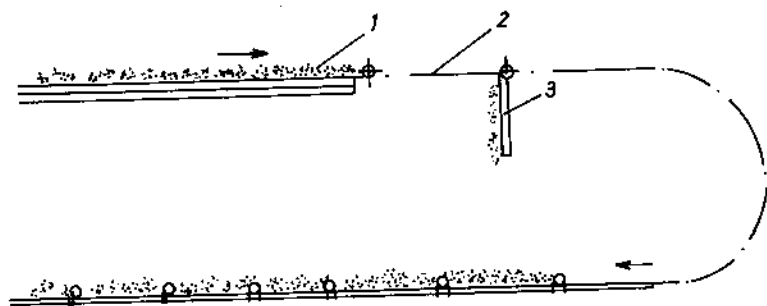
1-thanh đỡ khay; 2-các khay lật; 3-xích tải.

phẩm. Hình 4-43 và hình 4-44 thể hiện cấu tạo của băng tải khay lật.

Khay lật như hình 4-43 chỉ làm việc (chứa vật sấy) một phía khay, trong khi đó ở hình 4-44 thì khay làm việc ở cả hai mặt.

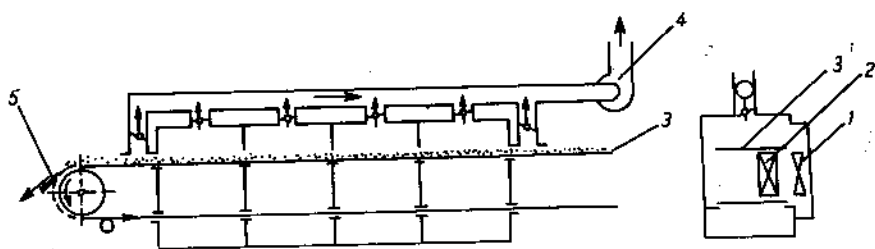
Đối với vật sấy ở dạng nhão (bột ướt) ta dùng máy sấy băng tải bằng vải.

Lớp bột nhão trên băng không nên quá dày. Sản phẩm được dao bóc ra khỏi băng tải ở vị trí tang cuối (hình 4-45).



Hình 4-44. Băng tải khay lật kiểu bản lề

1- vật sấy; 2- xích tải; 3- khay lật kiểu bản lề.

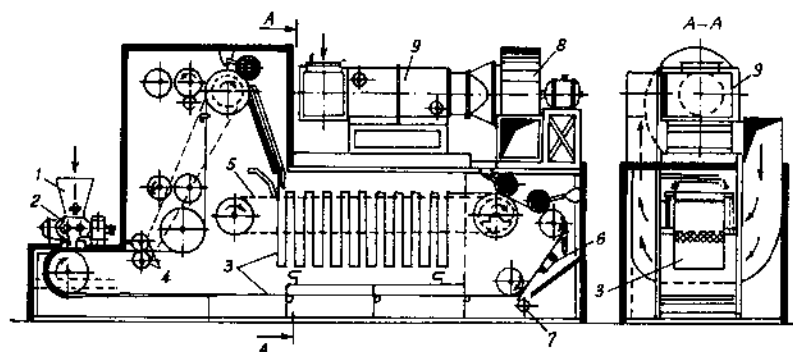


Hình 4-45. Máy sấy băng tải bằng vải

1- quạt hướng trục để đổi lưu tác nhân sấy; 2- caloriphe; 3- băng tải; 4- quạt ly tâm hút khí thải (tác nhân sấy sau quá trình sấy); 5- dao bóc sản phẩm

Để sấy bột nhão dính người ta dùng máy sấy băng tải treo gấp khúc thể hiện ở hình 4-46. Băng tải là lưới thép có cấu tạo tương tự

như dây xích. Chiều dài của băng tải bằng tổng chiều dài gấp khúc trong khoang sấy và chiều dài cần thiết để nạp liệu, tháo sản phẩm và quay vòng lại. Hoạt động của máy như sau: Vật sấy từ phễu nạp liệu 1 qua bộ phận nạp liệu 2 được dính đầy lên băng lưới thép. Chiều dày của lớp bột nhão đúng bằng chiều dày băng (10 - 15) mm.



Hình 4-46. Máy sấy băng tải bằng lưới thép treo gấp khúc.

1- phễu chứa; 2- bộ phận nạp liệu; 3- băng tải; 4- trục ép; 5- xích treo băng tải; 6- búa đập vào băng tải để lấy sản phẩm; 7- vít tải lấy sản phẩm; 8- quạt; 9- caloriphe.

Khi băng lưới đã dính đầy bột nhão đi qua hai trục ép 4 thì chiều dày lớp bột đúng bằng chiều dày băng. Sau đó băng tải được đưa lên cao hơn cặp xích 5 đặt nằm ngang. Xích 5 chuyển động chậm hơn băng tải rất nhiều. Hai dây xích nằm ngang và cách nhau lớn hơn chiều rộng của băng tải. Trên băng tải lắp các thanh ngang với hai đầu nhô ra ngoài băng tải và đủ để gác ngang qua hai xích 5. Khi thanh treo chạm xích 5 thì băng sẽ võng xuống. Khoảng cách giữa các thanh treo trên băng, tốc độ xích treo 5, tốc độ băng 3 quyết định chiều cao các đoạn băng bị treo. Bằng cách này, ta rút ngắn được chiều dài khoang sấy. Khi đi hết khoang sấy thì vật sấy đã khô. Búa 6 liên tục đập lên băng để làm rơi bột khô xuống máng nghiêng và theo vít tải 7 ra ngoài. Tác nhân sấy được đốt nóng nhờ caloriphe 9 và đối lưu qua khoang sấy nhờ quạt ly tâm 8.

Tính thiết kế máy sấy băng tải được thực hiện như sau:

- Căn cứ vào tính chất của vật sấy, năng suất và chất lượng sản phẩm ta lựa chọn tác nhân sấy là không khí được gia nhiệt bằng caloriphe hoặc tác nhân sấy là khối lò.

- Chọn nhiệt độ cuối và hàm ẩm cuối của tác nhân sấy. Dựng đồ thị quá trình sấy lý thuyết và thực tế trên đồ thị $I-d$ của không khí ẩm. Việc dựng đồ thị sấy còn phải căn cứ vào phương thức sấy có hay không hồi lưu khí thải, có đốt nóng bổ sung hay không (mục 4.2).

Nếu chọn nhiệt độ đầu và cuối của tác nhân sấy cho phù hợp với vật sấy, thì cần xác định độ ẩm cuối của tác nhân sấy cho phù hợp với độ ẩm của sản phẩm sấy theo yêu cầu. Sau đó dựng đồ thị lý thuyết và thực tế của quá trình sấy.

- Căn cứ năng suất, độ ẩm đầu và cuối của vật sấy để xác định lượng ẩm bay hơi.

- Xác định khối lượng tác nhân sấy.

- Chọn tốc độ tác nhân sấy đi xuyên qua lớp vật sấy và băng tải sao cho nhỏ hơn vận tốc lắng của vật sấy đã khô theo điều kiện (4-96).

- Chọn sơ bộ chiều dày h của lớp vật sấy trên băng trong khoảng từ (50-250) mm.

- Tính khối lượng vật sấy trên một mét vuông băng tải là m_F .

$$m_F = \frac{m}{F_S} = \rho \cdot h, \text{ (kg/m}^2\text{)} \quad (4-100)$$

trong đó:

F_S - diện tích băng tải có vật sấy nằm trong khoang sấy, m^2 ;

m - năng suất sấy, (kg);

ρ - khối lượng riêng của vật sấy trên băng tải, (kg/m^3) ;

h - chiều dày lớp vật sấy trên băng, m.

- Xác định bề mặt riêng của lớp vật sấy trên $1m^2$ mặt băng tải là a_F :

$$a_F = a.h = \frac{6(1-\varepsilon)}{d} f.h \quad (4-101)$$

trong đó:

a - bề mặt riêng của vật sấy trên một mét khối vật sấy, m^2/m^3 ;

$\varepsilon = 0,36 - 0,42$ độ xốp của vật sấy;

d - đường kính trung bình của vật sấy (khi không ở dạng cầu thì lấy đường kính trung bình (d_{tb}), (m);

f - là hệ số dị cầu của vật sấy.

- Tính hệ số toả nhiệt α giữa tác nhân sấy và lớp vật sấy trên băng tải.

- Tính tốc độ sấy N của giai đoạn sấy thứ nhất.

- Xác định bề mặt làm việc F_s (bề mặt băng tải có chứa vật sấy nằm trong khoang sấy).

$$F_s = \frac{F}{a_F}, (m^2) \quad (4-102)$$

trong đó:

F - bề mặt của các vật sấy nằm trên diện tích F_s , m^2 ;

a_F - bề mặt của lớp vật sấy nằm trên $1 m^2$ băng tải.

Bề mặt làm việc của băng tải cũng có thể tính theo điều kiện (4-103):

$$F_s = \frac{m}{m_F}, (m^2) \quad (4-103)$$

- Chọn chiều rộng băng tải là B , m.

- Tính chiều dài băng tải nằm trong khoang sấy là L :

$$L = \frac{F_s}{B}, (m) \quad (4-104)$$

- Xác định tốc độ v của băng tải:

$$v = \frac{L}{t}, \text{ (m/h)} \quad (4-105)$$

trong đó: t là thời gian sấy, h.

Nếu ta dùng một băng tải thì L cũng là chiều dài khoang sấy. Chiều rộng của khoang sấy lấy rộng hơn chiều rộng của băng một ít. Từ đó ta sẽ tìm được chiều dài tổng thể của băng tải (gồm phần làm việc và không làm việc). Chiều dài phần không làm việc phụ thuộc vào đường kính hai đĩa xích đầu và cuối, phụ thuộc vào khoảng cách giữa hai trục đĩa xích v.v.

Trường hợp dùng một băng tải dẫn tới chiều dài khoang sấy quá lớn thì ta dùng máy sấy nhiều băng tải, băng làm việc một mặt hay hai mặt để giảm chiều dài và tăng chiều cao khoang sấy. Chọn chiều dài khoang sấy là L_1 thì số băng tải sẽ là n :

- Khi băng làm việc một mặt:

$$n = \frac{L}{L_1} \quad (4-106)$$

- Khi băng làm việc hai mặt:

$$n = \frac{L}{2L_1} \quad (4-107)$$

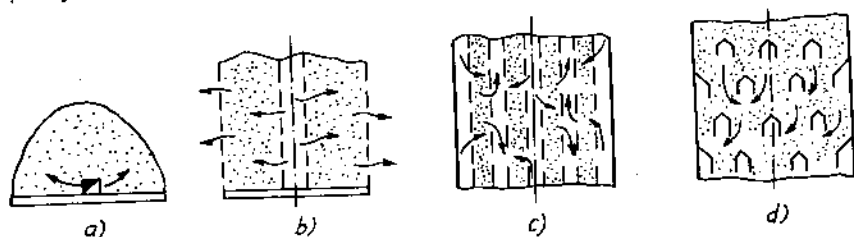
Chiều cao của khoang sấy phụ thuộc vào số băng tải, đường kính đĩa xích, khoảng cách giữa hai đĩa xích, cửa vào và ra của tác nhân sấy v.v.

Các đặc tính kỹ thuật của máy sấy băng tải nói chung không những phụ thuộc vào đặc tính của vật sấy, mà còn phụ thuộc chu trình sấy, chế độ sấy. Sau đây là một số chỉ tiêu để tham khảo, các giá trị đều tính trên một kg ẩm bay hơi:

- Khối lượng tác nhân sấy: $G' = (75 - 100)$, (kg/kg).
- Nhiệt lượng cấp cho caloriphe: $q_K = (5000 - 7400)$, (kJ/kg)
- Điện năng: $N = (10 - 20)$, (kW.h/kg).

4.4.4. Tháp sấy

Sấy tháp là quá trình sấy diễn ra trong buồng sấy có chiều cao lớn, vì vậy ta gọi buồng sấy là tháp sấy cũng được. Quá trình sấy diễn ra trong tháp cũng là quá trình sấy đối lưu. Vật sấy được gàu tải đưa lên và rót vào đỉnh tháp rồi chảy xuống đáy tháp dưới tác dụng của trọng lực, tác nhân sấy được quạt thổi vào tháp từ phía dưới theo kênh dẫn đi lên. Tác nhân sấy tiếp xúc với các vật sấy và làm bay hơi ẩm từ vật sấy.



Hình 4-47. Các biện pháp cấp tác nhân sấy cho tháp.

a- dùng kênh ở đáy tháp; b- dùng ống trung tâm;

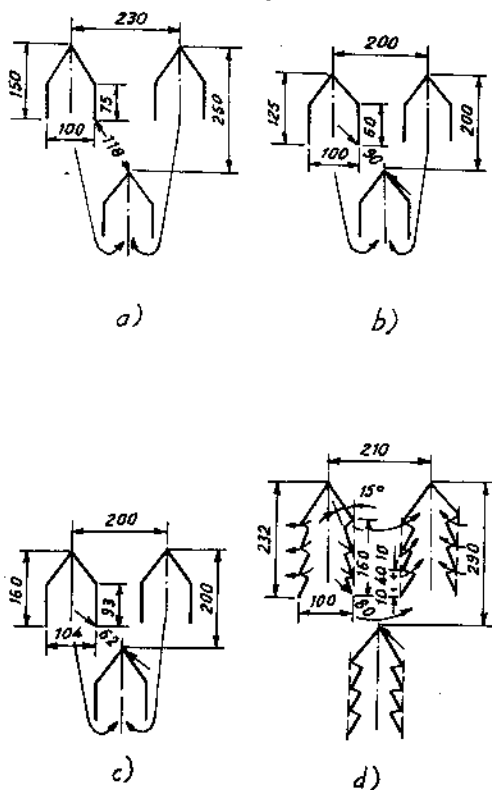
c- dùng vách ngăn; d- dùng chóp dạng mái nhà.

Chiều chuyển động của tác nhân sấy tùy thuộc vào cấu tạo cụ thể của kênh dẫn bên trong tháp sấy. Hình 4-47 biểu diễn một số cách cấp tác nhân sấy trong tháp sấy. Cấp tác nhân sấy như hình 4-47a chỉ dùng trong trường hợp chiều cao của tháp không lớn, lớp vật sấy không dày. Cấp tác nhân sấy như hình 4-47b được dùng trong trường hợp đường kính (nếu tháp dạng trụ) tháp không lớn, thân tháp có lỗ thoát tác nhân sấy sau khi đã đi qua lớp vật sấy. Phương pháp này chỉ áp dụng khi sấy không tuần hoàn khí thải. Hình 4-47c dùng cho tháp có tiết diện ngang là hình vuông hoặc chữ nhật: Lòng tháp được chia thành các kênh thẳng đứng bằng các vách ngăn có lỗ; kích thước các lỗ nhỏ hơn kích thước hạt; diện tích các lỗ phải lớn (nhiều lỗ như lưới); các kênh dẫn hạt (vật sấy) rộng hơn kênh dẫn tác nhân sấy, đặt xen kẽ nhau. Cấu tạo như hình 4-47d, gọi là tháp chóp: Tiết diện của tháp

cũng là hình vuông hoặc chữ nhật; các chóp (đang mái nhà thu nhỏ) được lắp thành các lớp chồng lên nhau; tác nhân sấy đi vào các chóp lớp dưới rồi đi qua lớp hạt đang di chuyển xuống, sau đó theo các chóp lớp trên thoát ra khỏi tháp.

Cấu tạo như hình 4-47c, d có thể áp dụng quá trình sấy có tuần hoàn khí thải.

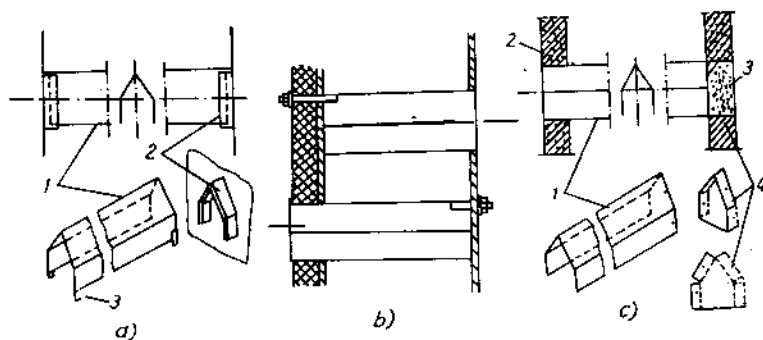
Hình 4-48 thể hiện cấu tạo của các chóp và khoảng cách giữa hai lớp chóp liên tiếp ở mặt cắt đứng cắt ngang các chóp trong tháp. Các chóp được dập hoặc gò từ thép tấm có chiều dày sao cho không bị lớp hạt làm biến dạng là được. Chúng ta có thể chọn cấu tạo của các chóp như hình 4-48a, b, c, d tùy hạt có kích thước to nhỏ khác nhau.



Hình 4-48. Cấu tạo của các loại chóp
a- dùng cho hạt có kích thước lớn; b- dùng cho hạt có kích thước vừa;
c, d- dùng cho hạt có kích thước bé.

Hình 4-49 cho ta thấy cách lắp các chóp vào thân tháp. Thân tháp được chế tạo từ khung thép chịu lực, bọc bằng thép thì ta dùng cách như hình a: các chóp được gác lên các tai vịn vào thân tháp. Ta

có thể lắp chóp bằng bulông như hình b. Khi thân tháp là bê tông cốt thép thì ta chừa lỗ các chóp khi đổ bê tông thân tháp, sau đó bắt vít một đầu chóp vào tai đúc có sẵn ở lỗ của thân tháp.

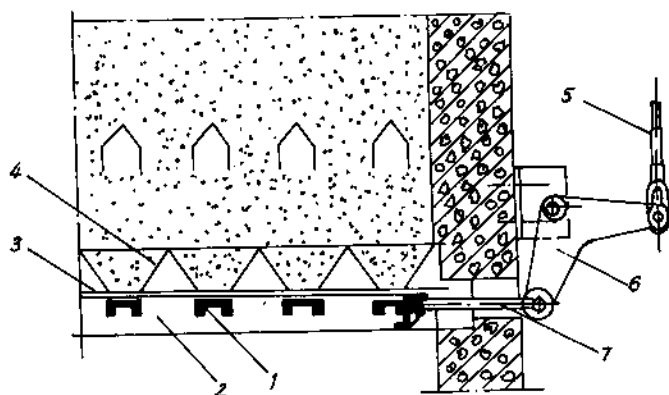


Hình 4-49. Các cách lắp chóp vào tháp

a- Khi thân tháp bằng thép: 1- chóp; 2- giả gác chóp; 3- tai chóp để ôm vào giả 2.

b- Dùng bulông đai ốc bắt 1 đầu chóp

c- Khi thân tháp là bê tông cốt thép: 1- chóp; 2- thân tháp; 3- mối chèn kín; 4- tai bắt vít vào chóp.

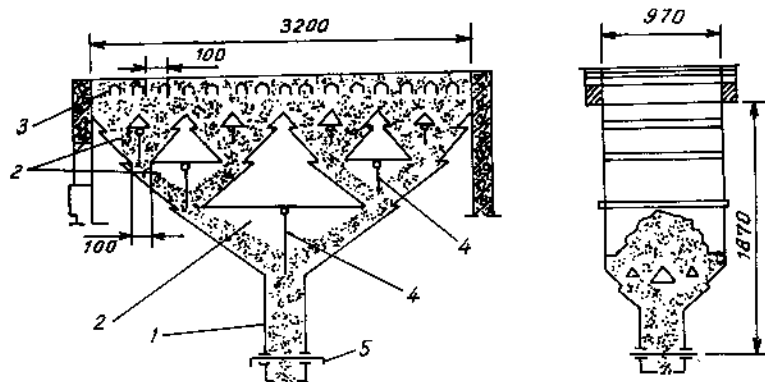


Hình 4-50. Cơ cấu tháo liệu gián đoạn

1- tấm chắn (lá van); 2, 3- khung lắp các lá van; 4- phễu tháo hạt; 5- tay đóng và mở van; 6- đòn bẩy; 7- thanh giăng.

Để tháo sản phẩm khỏi tháp, người ta sử dụng cơ cấu tháo sản phẩm lắp ở đáy tháp. Nhiệm vụ của cơ cấu này phụ thuộc vào quá trình sấy là gián đoạn, chu kỳ hay liên tục. Hình 4-50 thể hiện cơ cấu tháo sản phẩm dùng cho tháp sấy có quá trình sấy gián đoạn hoặc chu kỳ. Đáy tháp được chia thành nhiều đáy chóp liên tiếp nhau, tổng chiều rộng của miệng chóp bằng chiều dài đáy tháp, chiều dài của chóp bằng chiều rộng đáy tháp. Các lá van bịt đáy chóp được lắp trên một khung dịch chuyển được theo phương ngang nhờ cơ cấu đòn bẩy điều khiển bằng tay, có vị trí mở và đóng.

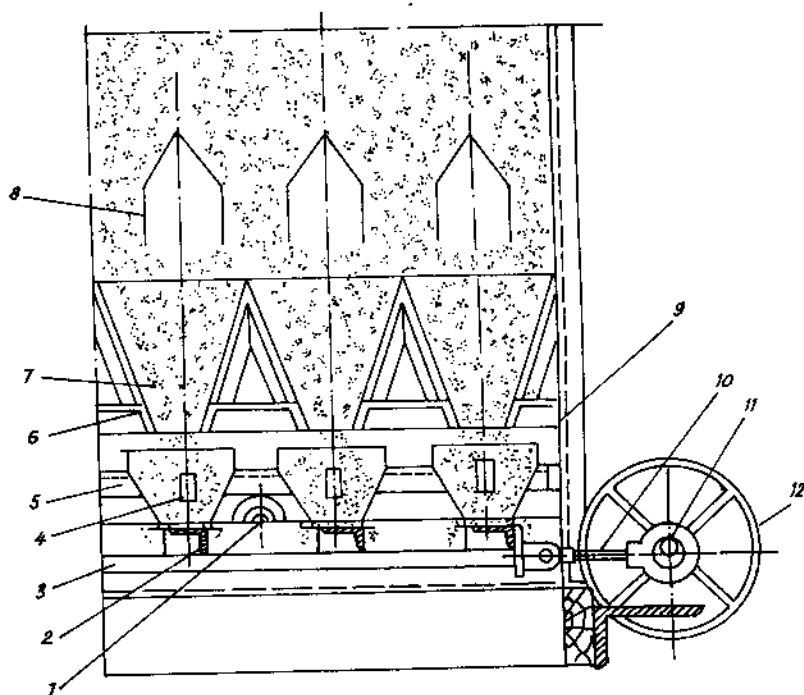
Hình 4-51 thể hiện cấu tạo của cơ cấu tháo sản phẩm liên tục điều khiển thủ công. Đáy tháp được chia thành các kênh dẫn hạt đã khô nhờ các chóp có kích thước khác nhau đặt xen kẽ. Góc và khoảng cách của các chóp sao cho không xảy ra tắc do bắc cầu hạt. Để khử tắc do bắc cầu (nếu xảy ra) ta dùng các thanh lắc điều khiển bằng tay. Khi ta rút lá van 5 thì hạt sẽ liên tục chảy ra một cách đều đặn. Khi đóng van 5 thì quá trình chảy sẽ dừng dần từ dưới lên trên (nếu trong tháp còn hạt). Mặc dù miệng chóp dưới rộng hơn đáy chóp trên nhưng hạt không chảy ra ngoài, vì miệng chóp dưới dâng cao hơn đáy chóp trên.



Hình 4-51. Cơ cấu tháo liệu tự chảy

- 1- cửa tháo liệu; 2- các khoang chảy tuyến; 3- các chóp; 4- tấm điều chỉnh dòng hạt;
5- van đáy tháp.

Hình 4-52 thể hiện cơ cấu tháo hạt liên tục chạy bằng động cơ. Bánh đai 12 nhận truyền động từ động cơ làm cho trục lệch tâm 11 quay tròn, thông qua tay biên 10 mà khung và các lá van liên tục lắc qua lại bên dưới các chóp 6 để hạt chảy ra liên tục và đều. Các chóp 6 được lắp trên một khung có thể chỉnh cao lên hay hạ thấp xuống được để điều chỉnh dòng chảy của hạt.



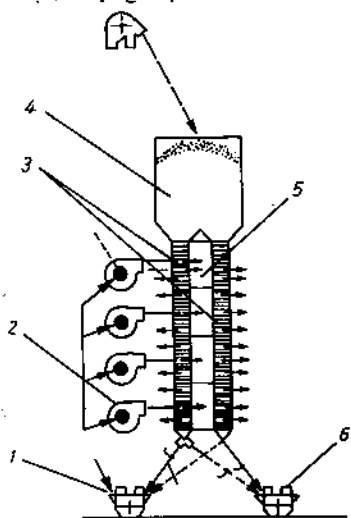
Hình 4-52. Cơ cấu tháo liệu liên tục

- 1- bánh xe; 2- tấm chắn (lá van); 3- khung dao động; 4- các phễu; 5- giá đỡ phễu;
6- các chóp đáy tháp; 7- dòng hạt; 8- các chóp; 9- thân tháp; 10- thanh truyền;
11- trục lệch tâm; 12- bánh đai.

Quá trình sấy trong tháp có thể là sấy không hồi lưu khí thải (không tuần hoàn tác nhân sấy), sấy có hồi lưu một phần hay toàn bộ

khí thải, sấy có đốt nóng bổ sung cho tác nhân sấy. Cách tính cho từng trường hợp cụ thể đã được đề cập ở mục 4.2. Hệ thống sấy được xây dựng trên cơ sở tính toán quá trình sấy đã lựa chọn phù hợp với từng loại vật sấy, năng suất và chất lượng sản phẩm sấy. Hệ thống sấy tháp bao gồm các bộ phận sau: Tháp sấy; hệ thống vận chuyển hạt (gàu tải, băng tải, vít tải tùy trường hợp-cụ thể); Hệ thống đốt nóng (caloriphe) và vận chuyển (hệ thống quạt) tác nhân sấy. Vật sấy chuyển động từ đỉnh xuống đáy tháp có thể đi qua các vùng sấy khác nhau, mỗi vùng có hệ thống quạt và đốt nóng tác nhân sấy riêng phù hợp với chế độ sấy của mỗi vùng. Vùng đáy tháp là vùng làm nguội hạt. Thông thường trong hệ thống sấy tháp có hai tháp sấy làm việc song song, các khoang cấp tác nhân sấy được bố trí giữa hai tháp. Để tăng hiệu quả quá trình sấy người ta trộn một phần hạt khô (sản phẩm của quá trình sấy) với hạt ẩm đem ủ rồi mới cho vào tháp sấy. Trong trường hợp này ta gọi là hệ thống sấy tháp tuần hoàn hạt, lượng hạt tuần hoàn không cần làm nguội. Sau đây là một số hệ thống sấy tháp dùng để sấy các sản phẩm nông nghiệp có dạng hạt (lúa, cà phê, v.v.)

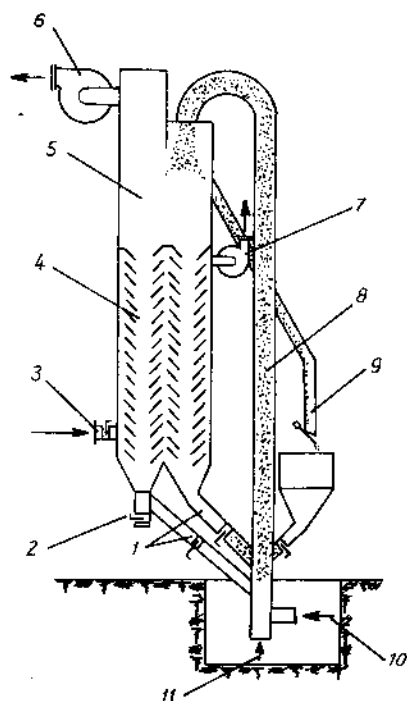
Quá trình sấy diễn ra trong hệ thống sấy ở hình 4-53 xảy ra như sau: Dòng hạt ẩm từ bên ngoài cùng hạt khô lấy từ đáy hai tháp (dòng hạt tuần hoàn) cũng được gàu tải 1 đổ vào thùng ủ 4. Thời gian ủ tùy thuộc vào từng loại vật sấy. Dung tích thùng ủ phụ thuộc vào thời gian ủ và năng suất của hai tháp sấy. Trong quá trình ủ diễn ra các quá trình truyền nhiệt từ hạt khô sang hạt ẩm và truyền ẩm từ hạt ẩm sang hạt khô. Nhờ vậy khi dòng hạt



Hình 4-53. Tháp sấy hạt tuần hoàn
1- gàu tải; 2- các quạt; 3- các tháp sấy; 4- thùng ủ vật sấy; 5- các khoang phân phối tác nhân sấy; 6- gàu tải sản phẩm

chảy xuống hai tháp sấy làm việc song song thì quá trình sấy sẽ nhanh hơn, sản phẩm đồng đều hơn. Tác nhân sấy được đốt nóng bằng các caloriphe để có nhiệt độ ban đầu phù hợp với các vùng sấy khác nhau từ đỉnh tháp xuống đáy tháp. Tác nhân sấy của mỗi vùng do mỗi quạt đẩy vào từng khoang phân phối nằm giữa hai tháp sấy. Từ khoang phân phối tác nhân đi vào các chóp (kênh gió) lớp dưới rồi chui qua lớp hạt để thực hiện quá trình sấy, sau đó đi vào các chóp lớp trên và đi ra ngoài. Như vậy quá trình sấy ở đây là quá trình không tuần hoàn tác nhân sấy (sử dụng tác nhân sấy một lần).

Từ thời gian sấy ta tính được chiều cao tháp sấy, tiết diện ngang của các tháp phụ thuộc vào năng suất sấy. Năng suất gàu tải 6 phụ thuộc năng suất sấy. Năng suất gàu tải 1 bằng năng suất sấy tính trên vật ẩm ban đầu cộng với năng suất của dòng hạt hồi lưu. Lưu lượng tác nhân sấy của từng vùng do từng quạt đảm nhiệm. Căn cứ vào các số liệu trên ta sẽ thiết kế hệ thống sấy tháp gồm: các tháp sấy, các gàu tải, hệ thống quạt v.v sao cho đồng bộ.



Hình 4-54. Tháp sấy hạt luân hoàn có đốt nóng hạt bằng ống khí động lực

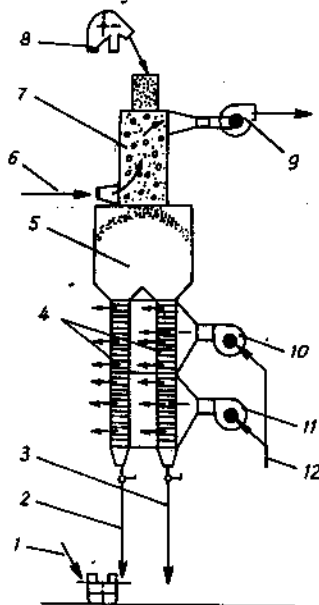
1- ống dẫn hạt tuần hoàn; 2- cửa lấy sản phẩm; 3- cửa không khí vào; 4- vùng sấy và làm nguội; 5- vùng ủ; 6- quạt hút tác nhân và hạt trong ống khí động lực; 7- quạt hút không khí đi vào cửa 3 qua vùng 4; 8- ống khí động lực; 9- dòng hạt ẩm; 10- tác nhân sấy có nhiệt độ cao; 11- không khí ngoài trời.

Do sử dụng tác nhân sấy một lần nên còn lãng phí nhiệt lượng. Tác nhân sấy thổi thẳng vào không khí nên chỉ dùng sấy các loại hạt không sản sinh bụi hoặc khí có hại cho môi trường sống.

Nhằm tăng cường độ trong quá trình sấy, người ta lắp thêm bộ phận nung nóng nhanh vật sấy như ở hình 4-54.

Trên hình 4-54 ta thấy, quá trình sấy diễn ra như sau: Hạt ẩm cộng với hạt khô (hạt tuần hoàn) được tác nhân sấy có nhiệt độ cao cho phép cuốn lên theo ống 8. Quá trình tiếp xúc với tác nhân thì các hạt được nung nhiệt rất nhanh, lượng ẩm tự do đã bay hơi theo tác nhân sấy. Khi vào khoang 5 thì hạt rơi xuống chất đông, khi đó xảy ra truyền ẩm từ trong hạt ẩm ra bề mặt và truyền một phần sang bề mặt hạt khô. Xuống đến khoang 4 thì hạt tiếp xúc với không khí mát, ở đây xảy ra quá trình sấy và làm nguội hạt. Quạt 6 có nhiệm vụ tạo ra dòng khí động là tác nhân sấy đi trong ống 8 có vận tốc lớn hơn vận tốc lắng của hạt. Chiều cao của ống khí động lực quyết định thời gian đốt nóng hạt. Đường kính ống phụ thuộc vào năng suất sấy.

Quá trình sấy xảy ra trong hệ thống ở hình 4-55 cũng tương tự như ở hình 4-54. Chúng chỉ khác nhau ở bộ phận đốt nóng hạt. Khoang đốt nóng ở hình 4-55 có chiều cao không lớn, tiết diện ngang đủ lớn và có các ống nằm ngang đặt so le theo lớp. Khoảng cách giữa các ống và đường kính



Hình 4-55. Tháp sấy hạt tuần hoàn có đốt nóng hạt chuyển động chậm.

- 1- hạt ẩm; 2- hạt tuần hoàn; 3- sản phẩm; 4- tháp sấy và làm nguội;
- 5- khoang ủ; 6- tác nhân sấy;
- 7- khoang đốt nóng hạt; 8- gàu tải;
- 9- quạt; 10, 11- quạt; 12- không khí ngoài trời

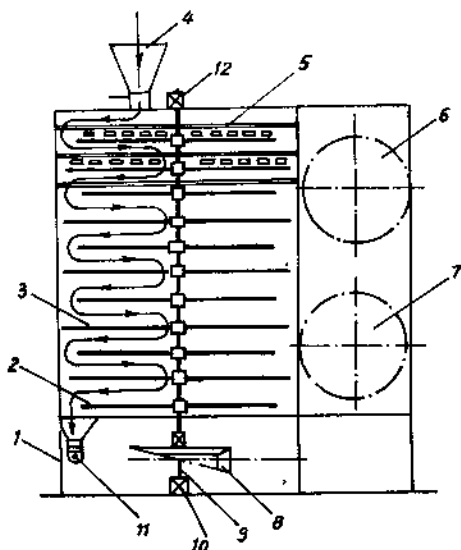
của chúng phụ thuộc kích thước hạt, sao cho hạt chảy chậm hơn rơi tự do. Tác nhân sấy có nhiệt độ cao vừa phải đủ nung nóng hạt khi chúng chảy qua khoang đốt nóng.

Ngoài ra ta có thể sử dụng thiết bị tăng sôi hoặc tăng sôi tuần hoàn để đốt nóng hạt trong hệ thống sấy tháp.

Nhìn chung với sấy tháp có tuần hoàn hay không tuần hoàn hạt thì cường độ sấy phụ thuộc chủ yếu vào nhiệt độ và tốc độ tác nhân sấy đi qua lớp hạt. Nhiệt độ tác nhân sấy và thời gian tiếp xúc với hạt tùy thuộc vào từng loại hạt. Tốc độ tác nhân sấy đi qua lớp hạt càng lớn càng tốt nhưng sẽ làm tổn thất nhiều năng lượng cho quạt và cuốn theo cả những hạt nhẹ. Thông thường người ta lấy tốc độ tác nhân sấy xuyên qua lớp hạt tính trên diện tích tiết diện thấp là $(0,2 - 0,7) \text{ m/s}$. Khi đó lượng ẩm bay hơi tính cho 1m^3 dung tích thấp vào khoảng 50 (kg/h) .

Cường độ sấy trong tháp thấp hơn so với sấy bằng tang quay và sấy tầng sôi, dễ xảy ra tắc do bắc cầu hạt trong tháp, trở lực lớn.

Chi phí điện năng, nhiệt năng, lượng không khí tính trên sản phẩm và trên 1 kg ẩm bay hơi như sau: $3,5 \text{ (kWh/t)}$, 7500 (kJ/kg) , 75 (kg/kg) .



Hình 4-56. Tháp sấy đĩa quay

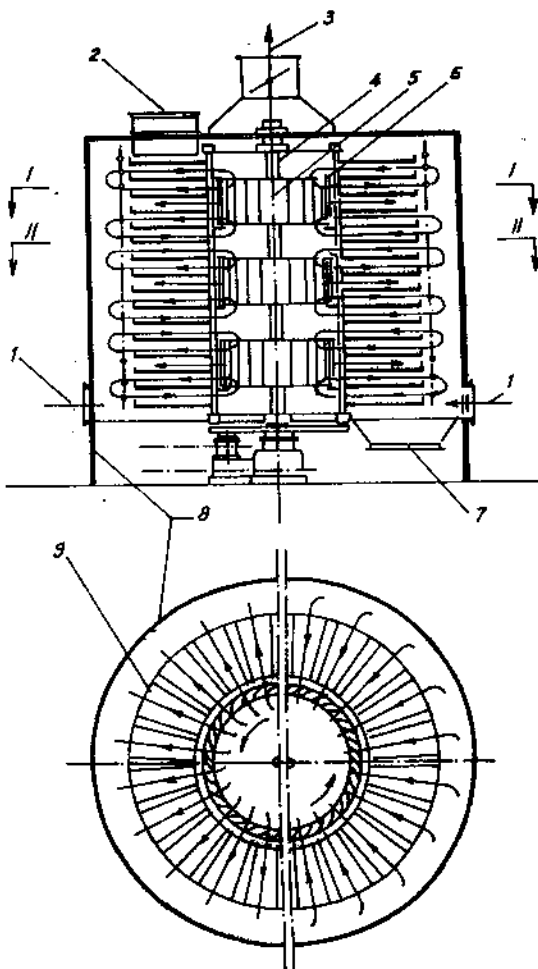
- 1- thân (vỏ); 2- các đĩa nhỏ; 3- các đĩa to;
- 4- phễu nạp vật ẩm; 5- bộ phận gạt trên mỗi đĩa; 6, 7- các cửa cho tác nhân sấy;
- 8- cặp bánh răng côn; 9- trục; 10, 12- các ổ cửa trục; 11- vít tải sản phẩm

Ngoài ra còn một số dạng tháp sấy như tháp sấy đĩa quay (hình 4-56), tháp sấy tuabin (hình 4-57). Tháp đĩa quay có cấu tạo gồm trục thẳng đứng có lắp các đĩa tròn có đường kính to nhỏ khác nhau đặt xen kẽ.

Trục quay tròn nhờ cặp bánh răng còn nhận truyền động từ động cơ. Trên mỗi đĩa có bộ phận cánh gạt tĩnh sắp xếp theo một góc nghiêng ngược nhau. Khi đĩa quay thì cánh gạt trên đĩa to gom vật sấy vào tâm rơi qua lỗ hổng xuống đĩa dưới; còn ở đĩa nhỏ dưới thì cánh gạt lại đẩy dẫn vật sấy dạt ra ngoài và rơi xuống đĩa to tiếp theo.

Cứ như vậy, vật ẩm được nạp từ đĩa cao nhất, sản phẩm khô lấy ra ở đĩa dưới cùng tác nhân sấy được quạt thổi vào và hút ra khỏi tháp.

Tháp sấy tuabin (hình 4-57) có cấu tạo gồm rôto có các giá theo



Hình 4-57. Tháp sấy tuabin

- 1- cửa vào cửa tác nhân sấy; 2- cửa nạp vật ẩm;
3- cửa khí thải; 4- trục quạt;
5- quạt; 6- rôto; 7- cửa tháo sản phẩm; 8- vỏ tháp;
9- khay

hướng kính để lắp được các khay hình dẻ quạt.

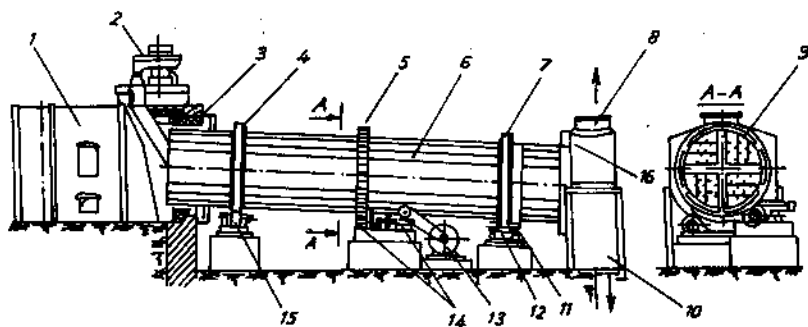
Giữa các đĩa cùng tầng có khoảng cách để nguyên liệu bị gạt rơi xuống đĩa ở tầng dưới đặt lệch với đĩa trên. Vật ẩm được nạp ở tầng đĩa trên cùng, sản phẩm được lấy ở cửa bên dưới đĩa dưới cùng. Trong lòng rôto có các quạt dạng tuabin lắp trên cùng một trục đứng. Quạt quay nhanh hơn rôto.

Cả hai dạng tháp sấy này đều có kết cấu phức tạp, năng suất không cao.

4.4.5. Máy sấy thùng quay

Quá trình sấy trong máy sấy thùng quay cũng là sấy đối lưu. Sấy thùng quay được áp dụng rộng rãi để sấy các vật ẩm dạng hạt, mảnh vụn có kích thước nhỏ như đậu đỗ, cà phê, ngô hạt, đường kính, muối ăn, quả và củ cắt nhỏ, gỗ mảnh, mùn cưa, cát v.v. Máy sấy thùng quay có những ưu điểm lớn như làm việc ổn định, năng suất cao, rất kinh tế.

Cấu tạo và hoạt động của máy sấy thùng quay gồm có (hình 4-58):

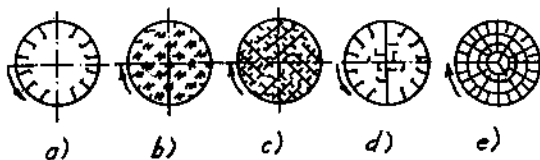


Hình 4-58. Máy sấy thùng quay

- 1- buồng đốt tạo tác nhân sấy là khói lò; 2- bộ phận nạp liệu vào thùng sấy (nạp vật sấy); 3- đệm kín miệng thùng; 4, 7- vành đai lăn; 5- bánh răng; 6- thùng sấy; 8- cửa nối với quạt hút khí thải cùng hệ thống xyclon và lọc túi; 9- cánh đảo; 10- cửa lấy sản phẩm; 11- các con lăn chặn để thùng sấy không tụt; 12, 15- con lăn đỡ; 13- động cơ; 14- hộp giảm tốc và bánh răng dẫn động; 16- hộp đệm kín hình răng lược.

Thùng hình trụ làm bằng sắt đặt nằm nghiêng, liên tục quay trong quá trình sấy. Tùy tính chất của vật sấy, năng suất mà chọn các thông số đường kính D , chiều dài L trong khoảng $L/D \leq 30$ với $D \leq 3,5$ m; góc nghiêng của thùng là $\nu = (\frac{1}{50} \div \frac{1}{15})$; vòng quay $n = (0,5 \div 8)$ vg/ph. Bên trong thùng có các cánh đảo trộn vật sấy. Vật ẩm được nạp vào đầu cao, sản phẩm lấy ra ở đầu thấp của thùng. Thời gian lưu của vật sấy trong thùng phụ thuộc vào đường kính, chiều dài, góc nghiêng, vòng quay và cánh đảo của thùng. Tác nhân sấy có thể là không khí được đốt nóng nhờ caloriphe, khối lò. Chiều chuyển động của tác nhân sấy có thể cùng chiều, ngược chiều hoặc cắt ngang dòng vật sấy.

- Các cánh đảo (hình 4-59), hình dạng và cách lắp chúng trong thùng phụ thuộc vào vật sấy. Đối với vật sấy có kích thước lớn, dễ bám dính vào thùng thì dùng cánh nâng vật sấy lên cao rồi đổ xuống tạo mưa hạt (hình 4-59a). Đối với vật sấy có kích thước nhỏ hơn, dễ chảy thì dùng dạng cánh như ở hình 4-59b, c, gọi là cánh phân phối. Hình 4-59d là cánh hình quạt được dùng trong trường hợp vật sấy có kích thước lớn hơn và có trọng lượng riêng lớn. Hình 4-59e là cánh đảo trộn dùng cho vật sấy có kích thước nhỏ như bột.



Hình 4-59. Các dạng cánh đảo

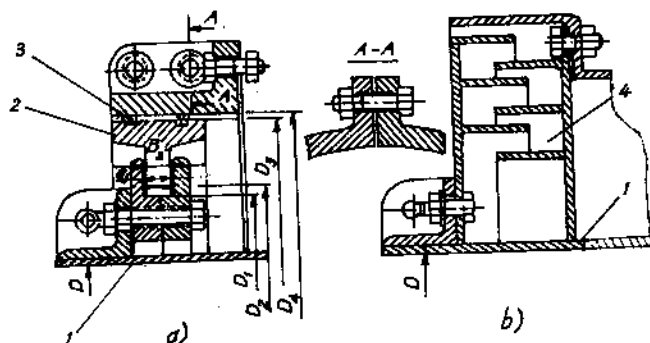
a- cánh nâng, đổ; b, c- cánh phân chia; d- cánh hình quạt; e- cánh đảo trộn.

- Bộ phận bịt kín ở đầu và cuối thùng quay. Nhiệm vụ của bộ phận này là bịt kín khe hở giữa thùng quay và bộ phận đứng yên ở hai đầu thùng nhằm chống lại sự xâm nhập của không khí khi áp suất trong thùng nhỏ hơn áp suất khí quyển (khi dùng quạt hút) và không

cho tác nhân sấy xì ra ngoài khi áp suất trong thùng lớn hơn áp suất khí quyển (khi dùng quạt đẩy).

Hình 4-60 thể hiện hai loại hộp đệm kín thường dùng trong máy sấy thùng quay.

Hộp đệm có cấu tạo như hình 4-60a, bịt kín tốt nhưng cần chú ý chọn vật liệu làm đệm phải chịu nhiệt không gây tổn thất ma sát lớn, đặc biệt khi bị nóng lên. Hộp đệm như hình 4-60b bịt kín nhờ trở lực cục bộ không triệt để nhưng không gây tổn thất do ma sát.



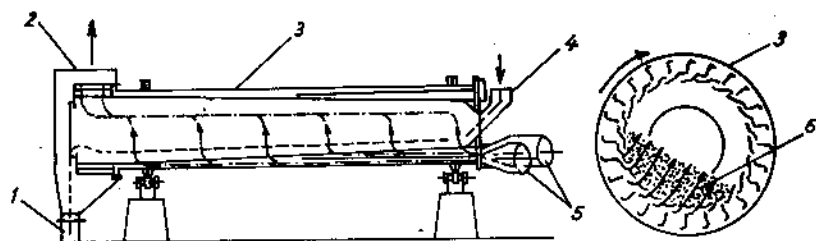
Hình 4-60. Các loại hộp đệm kín

a- Dùng vành đai và đệm; b- Hộp cài răng lược:

1- thân thùng; 2- vành đai; 3- các vòng đệm; 4- hộp cài răng lược.

- Hệ thống quạt vận chuyển tác nhân.

Nhiệm vụ của hệ thống quạt là tạo ra dòng chảy của tác nhân sấy qua thùng sấy có lưu lượng đúng như quá trình sấy yêu cầu. Chiều chuyển động của tác nhân sấy có thể cùng chiều, ngược chiều hoặc cắt ngang dòng vật sấy. Thông thường người ta chọn dòng chảy của tác nhân có chiều ngược với dòng vật sấy vì như vậy các hạt vật sấy nhỏ và bụi (trong loại vật sấy nào đó) không bị cuốn theo nhiều. Trường hợp tác nhân thổi cắt ngang lớp vật sấy (hình 4-61) thì cường độ sấy có tăng nhưng trở lực đối với hệ thống quạt bị tăng thêm $5000 \text{ (N/m}^2\text{)}$, hệ thống cấp tác nhân sấy cho thùng quay trở nên phức tạp.



Hình 4-61. Tác nhân đi qua lớp vật sấy

- 1- cửa lấy sản phẩm; 2- cửa khí thải; 3- thùng sấy quay; 4- cửa nạp vật sấy;
5- cửa vào tác nhân sấy; 6- vật sấy dạng hạt, mảnh nhỏ.

Hệ thống quạt trong máy sấy thùng quay có thể làm việc theo chế độ hút, hoặc vừa hút vừa đẩy. Đối với chế độ hút thì trở lực phía hút của quạt gồm trở lực gây ra do: buồng đốt, buồng hoà trộn (nếu tác nhân là khối lò), caloriphe (tác nhân sấy là không khí nóng khô), thùng sấy, ống dẫn, các đợt mở đợt thu, đổi chiều chuyển động; trở lực phía đẩy do xyclôn, lọc túi, đường ống và trở lực cục bộ gây nên. Như vậy ở chế độ hút thì thùng quay luôn có áp suất chân không tùy thuộc vào tổn thất trở lực phía trước nó. Với chế độ vừa đẩy vừa hút thì hệ thống quạt có thể điều chỉnh sao cho áp suất trong thùng sấy là chân không ở mức từ $(-5 \text{ đến } -25) \text{ N/m}^2$. Muốn tính tổng tổn thất trở lực của hệ thống quạt phải dựa vào kết cấu cụ thể và lưu lượng tác nhân sấy cần có (xem giáo trình *Bơm, quạt, máy nén; Sổ tay Hoá công*). Thông thường trở lực của cụm xyclôn, lọc túi đã chiếm từ $(50 - 90)\%$ tổng trở lực của cả hệ thống.

- Hệ thống dẫn động quay cho thùng sấy. Trọng lượng thùng quay gồm trọng lượng thùng (vỏ + các cánh đảo), trọng lượng vật sấy chứa trong thùng. Mômen cản quay gồm mômen do trọng lượng của khối vật sấy bị nâng lên, do lực ma sát ở các con lăn đỡ, con lăn chặn ma sát giữa cặp bánh răng bị dẫn lắp bên ngoài thùng và bánh răng dẫn nhận truyền động từ hộp giảm tốc. Công suất động cơ phải thắng được các mômen cản quay của thùng sấy và mômen cản do ma sát của gối

đỡ bánh răng dẫn, bù tổn thất do hộp giảm tốc và truyền động gây lên.

- Tính thiết kế máy sấy thùng quay theo các bước như sau:

1- Căn cứ năng suất, độ ẩm đầu và cuối của vật sấy để tính lượng ẩm bay hơi ΔU kg/h.

2- Lựa chọn tác nhân sấy có nhiệt độ đầu và cuối phù hợp với vật sấy đã cho.

3- Tính thùng sấy:

Thể tích của thùng sấy là V_t được tính theo điều kiện sau:

$$V_t = \frac{\Delta U}{A_v}, (\text{m}^3) \quad (4-108)$$

trong đó:

A_v - tải trọng bay hơi ẩm theo thể tích thùng, $\text{kg/m}^3 \cdot \text{h}$;

$A_v = (1 \div 185) \text{ kg/m}^3 \cdot \text{h}$ - phụ thuộc vào vật sấy, chế độ sấy.

Chọn hệ số chứa đầy β .

$$\beta = 0,15 \div 0,2 \quad (4-109)$$

Đường kính thùng là D_t nhỏ hơn chiều dài thùng là L_t theo tỷ số

sau:

$$\frac{L_t}{D_t} = (4 \div 10) \quad (4-110)$$

Lưu lượng tác nhân là G được tính theo điều kiện (4-111)

$$G = \frac{\pi}{4} D_t^2 (1 - \beta) w_t \cdot \rho_t, (\text{kg/s}) \quad (4-111)$$

trong đó:

w_t - tốc độ tác nhân sấy đi trong thùng sấy, m/s: lấy $w_t \geq 0,5$

m/s;

ρ_t - khối lượng riêng của tác nhân sấy, kg/m^3 .

Chiều dài L_t được tính từ công thức (4-110) phải bằng giá trị của nó được tính từ (4-112):

$$L_t = \frac{4V_t}{\pi D_t^2}, (\text{m}) \quad (4-112)$$

Thời gian sấy là τ :

$$\tau = 2 \frac{\beta \cdot \rho}{A_v} \cdot \frac{u_1 - u_2}{2 + u_1 + u_2}, (\text{h}) \quad (4-113)$$

trong đó:

β - hệ số chứa đầy;

ρ - khối lượng riêng trung bình của vật sấy, kg/m^3 ;

A_v - tải trọng bay hơi ẩm, $\text{kg/m}^3 \cdot \text{h}$;

u_1, u_2 - độ ẩm đầu, cuối của vật sấy.

Năng suất vật sấy ẩm là V_1 :

$$V_1 = \frac{m_1}{\rho_1} = F_t \cdot \beta \cdot w_1, (\text{m}^3/\text{s}) \quad (4-114)$$

trong đó:

ρ_1 - khối lượng riêng của vật sấy ẩm, kg/m^3 ;

m_1 - năng suất tính theo khối lượng vật sấy ẩm, kg/s ;

w_1 - vận tốc vật liệu đi trong thùng sấy, m/s ;

F_t - diện tích tiết diện ngang của thùng sấy, m^2 .

$$F_t = \frac{\pi \cdot D_t^2}{4}, (\text{m}^2) \quad (4-115)$$

Đường đi của vật sấy trong thùng không phải là đường thẳng, nó phụ thuộc vào vòng quay n , đường kính D_t , góc nghiêng γ của thùng và hệ số nâng cao x của vật sấy, nên ta có:

$$w_1 = x \cdot n \cdot g \gamma D_t \quad (4-116)$$

$x = 105$ đối với thùng không có cánh đảo hoặc cánh đảo nâng đỡ (hình 4-59a)

$x = 20$ đối với cánh như hình 4-59b,c

$x = 40$ đối với loại cánh dạng trung bình của hai loại trên.

Từ hai điều kiện (4-114) (4-116) ta có:

$$n.tg\gamma = \frac{4.m_1}{\rho_1.\beta.\pi.D_1^3.x}. \quad (4-117)$$

Từ điều kiện (4-117) ta chọn n thì sẽ tính được góc nghiêng γ hoặc ngược lại. Thông thường vòng quay của thùng là n có giá trị như sau:

$$n = (0,5 \div 8) \text{ (vòng/ph)}.$$

Góc nghiêng của thùng là γ có giá trị sau:

$$\gamma = \left(\frac{1}{15} \div \frac{1}{50} \right)$$

Dùng phương pháp tính bên để xác định chiều dày của thành thùng.

Công suất để quay thùng sấy là N được xác định theo thực nghiệm

$$N = 0,0013 D_1^3 L_1 \rho_1 n \sigma, \text{ (kW)} \quad (4-118)$$

trong đó:

D_1 - đường kính trong của thùng sấy, m;

L_1 - chiều dài thùng sấy, m;

ρ_1 - khối lượng riêng của vật sấy ẩm, kg/m^3 ;

n - vòng quay của thùng, v/ph;

σ - hệ số công suất, phụ thuộc dạng cánh và hệ số chứa đầy β , tra bảng.

Bảng 4-3. Ảnh hưởng của σ vào dạng cánh đảo và hệ số chứa đầy

Dạng cánh đảo	β	0,1	0,15	0,2	0,25
Cánh nâng, đổ		0,038	0,053	0,063	0,071
Cánh phân chia		0,023	0,026	0,038	0,044
Cánh dạng gạt		0,015	0,018	0,020	0,022
Cánh đảo trộn		0,006	0,008	0,010	0,011

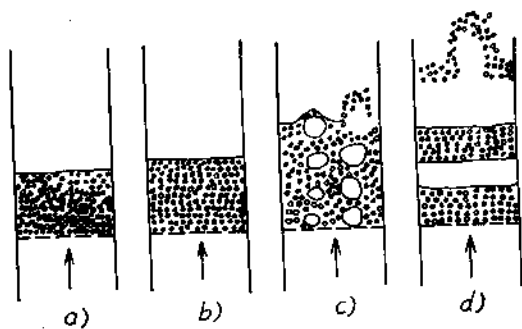
4.5. SẤY ĐỐI LƯU CÁC VẬT LIỆU RỜI LƯU ĐỘNG

4.5.1. Các định luật về lưu động tầng sôi và phụt

Ta hãy khảo sát hiện tượng sau đây: Đổ một lớp vật liệu dạng hạt lên lưới nằm ngang bên trong ống đặt thẳng đứng, tiết diện ngang của ống có thể là hình tròn, vuông, chữ nhật; hạt không lọt lưới. Thổi không khí đi qua lớp hạt chiều từ dưới lên, trạng thái của các hạt và cả lớp hạt phụ thuộc rất lớn vào vận tốc của dòng khí đi xuyên qua lớp hạt (hình 4-62).

Trên hình 4-62 ta thấy, khi vận tốc dòng khí nhỏ thì lực do nó sinh ra bé hơn trọng lượng hạt nên các hạt đứng yên. Tăng tốc độ dòng khí dần lên đến giá trị xấp xỉ vận tốc lắng của hạt thì sẽ xảy ra hiện tượng các hạt động dấy làm thể tích khối hạt lớn lên. Lúc này xem như lực đẩy của dòng khí cân bằng trọng lượng hạt. Tăng tiếp vận tốc dòng

khí, ta thấy hiện tượng hạt và khí chuyển động giống hết quá trình sôi (các bóng khí xuyên qua lớp hạt rồi nổ bùng ở bề mặt lớp hạt, tạo ra chuyển động mãnh liệt và hỗn độn của hạt. Trường hợp tiết diện ngang ống dẫn nhỏ, lớp hạt dày thì có thể xảy ra hiện tượng các bóng khí nhập lại với nhau bên dưới các lớp hạt tạo ra sự phân lớp.



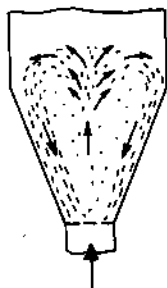
Hình 4-62. Ảnh hưởng của vận tốc dòng khí đến trạng thái lớp hạt trên lưới

- a- hạt đứng yên; b- thể tích khối hạt lớn lên;
c- các hạt và khí chuyển động giống hiện tượng sôi - gọi là tầng sôi; d- phân lớp

Nếu ta thay ống có tiết diện đều bằng ống có tiết diện thay đổi như hình nón chẳng hạn (hình 4-63) thì sẽ xảy ra hiện tượng phụt cộng

với sôi, tuần hoàn, nên ta gọi là sôi tuần hoàn.

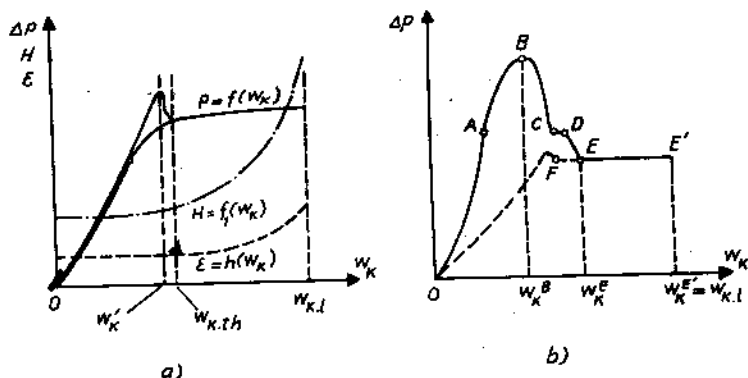
Áp dụng hiện tượng trên để sấy ta gọi là sấy tầng sôi và sấy tầng sôi tuần hoàn. Các quá trình này có trao đổi nhiệt và truyền ẩm giữa tác nhân sấy và vật sấy với cường độ cao, thời gian sấy giảm xuống, năng suất tăng lên.



Hình 4-63. Quá trình sôi tuần hoàn

4.5.1.1. Động lực học và sức cản trong tầng sôi và tầng sôi tuần hoàn

Khi dòng khí đi qua lớp hạt thì nó chịu sức cản khí động do lớp hạt gây nên. Trở lực khí động phụ thuộc vào tốc độ dòng khí (hình 4-64).



Hình 4-64. Ảnh hưởng của tốc độ dòng khí đến trở lực khí động của lớp hạt
a- khi sấy tầng sôi; b- sấy tầng sôi tuần hoàn.

Khi tốc độ dòng khí $W_K \leq W'_K$ thì lớp hạt đứng yên. Tốc độ tăng từ 0 đến W'_K thì Δp tỷ lệ thuận với bình phương tốc độ. Độ xốp của lớp hạt là $\varepsilon = 0,4$, chiều dày lớp hạt là $H = \text{const}$. $W_{K.th}$ gọi là tốc độ tới

hạn. Tăng tốc độ dòng khí lên $W_{K,th} > W'_K$ thì Δp đột ngột giảm đi một giá trị đúng bằng lực liên kết giữa các hạt, các hạt bắt đầu xa nhau và quá trình sôi xảy ra.

Ngược lại ta giảm tốc độ dòng khí từ giá trị $W_{K,th}$ xuống 0 thì Δp giảm dần mà không có bước nhảy như khi tăng. Điều đó được giải thích như sau: Để đưa các hạt từ trạng thái tĩnh sang động cần nhiều năng lượng hơn (để khắc phục lực liên kết giữa các hạt) giữ cho chúng ổn định chuyển động.

Tăng tốc độ dòng khí $W_K > W'_K$ dẫn tới chiều cao lớp hạt H tăng lên làm cho độ xốp ε cũng lớn lên ($\varepsilon = 0,55 - 0,75$), trong khi đó Δp gần như không đổi. Khoảng tốc độ dòng khí $W'_K \leq W_K \leq W_{K,1}$ là vùng sôi ổn định. $W_{K,1}$ gọi là tốc độ lắng của hạt. Khi tốc độ dòng khí là $W_K \geq W_{K,1}$ thì hạt bị cuốn theo dòng khí $H = \infty$; độ xốp đạt giá trị lớn nhất, chế độ tầng sôi bị phá vỡ và chuyển thành chế độ vận chuyển hạt.

Tương tự trong sấy phun tuần hoàn ta có đồ thị ở hình 4-64b. Đoạn OA ứng với lớp hạt đứng yên; khi tăng vận tốc dòng khí $W_K = W^B_K$ thì các hạt bị thổi tung lên, đến phần tiết diện ống rộng các hạt bị giảm tốc độ (vì dòng khí bị giảm tốc độ) nên chúng rơi xuống gần lưới để rồi lại bị thổi lên. Khi lớp hạt đã bị thổi lên thì trở lực của nó giảm mặc dù vẫn tăng vận tốc dòng khí từ W^K_B lên W^K_E ứng với đoạn BE . Khoảng vận tốc khí W^K_E đến $W^K_{E'}$ gọi là vận tốc ổn định quá trình sôi tuần hoàn. Tại điểm B thì trở lực của lớp hạt là cực đại.

Trong tính toán thiết kế máy sấy tầng sôi và tầng sôi tuần hoàn thì các đại lượng: trở lực lớp hạt tĩnh Δp , trở lực lớn nhất Δp_{max} , vận tốc tới hạn (lúc bắt đầu sôi) $W_{K,th}$, vận tốc lắng $W_{K,1}$ (hình 4-64a). Vận tốc đầu W^K_E và cuối $W^K_{E'}$ (hình 4-64b) là rất quan trọng.

Đối với quá trình sấy tầng sôi không tuần hoàn (tiết diện ngang của ống là không thay đổi) thì trở lực Δp của tầng sôi được tính như sau:

$$\Delta p = (\rho - \rho_K) g (1 - \varepsilon_0) H_0, \text{ (N/m}^2\text{)} \quad (4-119)$$

trong đó:

ρ, ρ_k - khối lượng riêng của lớp vật sấy, tác nhân sấy, kg/m^3 ;

g - gia tốc trọng trường, m/s^2 ;

ε_0 - độ xốp của lớp hạt đứng yên;

H_0 - chiều cao của lớp hạt đứng yên, m.

Trong thực tế thì sự khác nhau giữa $\Delta p_{\max}$ và Δp khi sôi ổn định là không nhiều:

$$(\Delta p_{\max} - \Delta p) = (0,015 \div 0,05)$$

Như vậy $\Delta p_{\max}$ chỉ lớn hơn Δp khoảng từ 1,5% đến 5%.

Để tính tốc độ dòng tác nhân lúc bắt đầu quá trình sôi ta căn cứ vào số Reynold tới hạn Re_{th} :

$$Re_{th} = \frac{Ar}{150 \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon^3} + \sqrt{\frac{1,75}{\varepsilon^3}} Ar} \quad (4-120)$$

trong đó:

Ar - số Archimédés;

ε - độ xốp của lớp hạt;

Với $\varepsilon = 0,4$ (khí rải lớp hạt bất kỳ)

ta có:

$$Re_{th} = \frac{Ar}{1400 + 5,22\sqrt{Ar}} \quad (4-121)$$

Lúc kết thúc quá trình sôi chuyển sang chế độ vận chuyển hạt ứng với vận tốc lắng W_{kl} ta có giá trị chuẩn số Reynold lắng Re_l :

$$Re_l = \frac{Ar \cdot \varepsilon^{4,75}}{18 + 0,61\sqrt{Ar \cdot \varepsilon^{4,75}}} \quad (4-122)$$

Khi độ xốp $\varepsilon = 1$, ta có:

$$Re_l = \frac{Ar}{18 + 0,6\sqrt{Ar}} \quad (4-123)$$

Từ (4-123) và (4-121) ta có:

$$K_{\max} = \frac{W_{K.l}}{W_{K.t.h}} = \frac{Re_l}{Re_{t.h}} = \frac{1400 + 5.22\sqrt{Ar}}{18 + 0.6\sqrt{Ar}} \quad (4-124)$$

$K_{\max} = (8,55 - 77,7)$ là hàm số của Ar .

$K_{\max}$ cũng có thể tra đồ thị ở tài liệu tham khảo [1].

Ta cũng có thể tính tỷ số giữa vận tốc lắng và vận tốc tới hạn như sau:

$$\frac{W_{K.t.h}}{W_{K.l}} = 0.1175 - \frac{0.1016}{1 + 0.00373Ar^{0.6}} \quad (4-125)$$

Các điều kiện trên phù hợp với lớp hạt sảy cùng loại và không khác nhau mấy về kích thước.

Đối với sảy tầng sôi tuần hoàn (hình 4-63) khi đoạn ống hình nón cụt (buồng sảy hình nón cụt) có góc nón $\varphi = (30^\circ - 50^\circ)$, tỷ số giữa đường kính đáy lớn D và đáy nhỏ d_o là $D/d_o = (2 \div 4)$ thì ta dùng các phương trình sau đây:

$$Re_{t.h} = K_1 \cdot Re_l \quad (4-126)$$

$$Re_d = K_2 \cdot Re_l \quad (4-127)$$

trong đó:

$Re_{t.h}$ - chuẩn số Reynold tới hạn (ứng với vận tốc tới hạn, lúc bắt đầu sôi tuần hoàn);

Re_l - chuẩn số Reynold ứng với vận tốc lắng;

Re_d - chuẩn số Reynold lúc bắt đầu quá trình sôi tuần hoàn ổn định.

$$K_1 = 0,364 \left(\frac{D}{d_o} - 1 \right)^{0,82} \left(\operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} \right)^{0,1} \quad (4-128)$$

$$K_2 = 1,94 K_1 \quad (4-129)$$

Trở lực của tầng sôi tuần hoàn là ΔP được tính như sau:

$$\Delta P = (0,64 - 0,75) g \cdot \rho (1 - \varepsilon_0) H_0 \quad (4-130)$$

trong đó:

g - gia tốc trọng trường, m/s^2 ;

ρ - khối lượng riêng của lớp hạt, kg/m^3 ;

ε_0, H_0 - độ xốp, chiều cao lớp hạt khi đứng yên trên lưới, m.

Sau khi đã tính được giá trị chuẩn số Reynold theo các điều kiện (4-121), (4-123), (4-126), (4-127) ta căn cứ vào phương trình chuẩn số Reynold ta sẽ tính được vận tốc tối hạn $W_{K.th}$, $W_{K.l}$ của tác nhân sấy:

$$W_{K.th} = \frac{Re_{l.h} \cdot v_K}{d_{tb}} \quad (4-131)$$

$$W_{K.l} = \frac{Re_{l.v_K}}{d_{tb}} \quad (4-132)$$

trong đó:

v_K - độ nhớt động của tác nhân sấy, m^2/s ;

d_{tb} - đường kính trung bình của hạt, m;

Đương nhiên khi tính $Re_{l.h}$, $Re_{l.v_K}$ ta phải tính Ar theo phương trình

sau:

$$Ar = \frac{d(\rho - \rho_K)g}{v_K \rho_K} \quad (4-133)$$

trong đó:

d - đường kính của hạt (có thể) lấy bằng đường kính trung bình

d_{tb} , đương nhiên trong sấy tầng sôi thì các hạt không quá khác nhau), m;

ρ - khối lượng riêng của hạt, kg/m^3 ;

ρ_K, v_K - khối lượng riêng, độ nhớt động của tác nhân sấy, kg/m^3 , m^2/s ;

g - gia tốc trọng trường, m/s^2 .

Đường kính tương đương của các hạt được tính như sau:

$$d_{1d} = \sqrt[3]{\frac{m}{\pi \cdot n \cdot \rho}}, \text{ (m)} \quad (4-134)$$

trong đó:

m - khối lượng của 1000 hạt, kg;

$n = 1000$ hạt;

ρ - khối lượng riêng của hạt, kg/m³.

Căn cứ vào năng suất sấy tính theo nguyên liệu ẩm, ta tính năng suất theo mẻ sấy, từ đó xác định chiều cao lớp hạt tính trên lưới là H_0 . Chiều cao H_0 phụ thuộc vào lưu lượng tác nhân sấy (xem mục 4.2), diện tích lưới (ghi); diện tích lưới cũng đồng thời là diện tích của buồng sấy tầng sôi không tuần hoàn. Đối với buồng sấy tầng sôi tuần hoàn thì diện tích lưới chính là diện tích đáy nhỏ của buồng sấy hình nón cụt.

Diện tích lưới F_L được tính như sau:

$$F_L = \frac{G}{3600 \cdot W_{Kth} \cdot \rho_K}, \text{ (m}^2\text{)} \quad (4-135)$$

trong đó:

G - khối lượng tác nhân sấy, kg/h;

W_{Kth} - vận tốc tới hạn của tác nhân sấy, m/s;

ρ_K - khối lượng riêng tác nhân sấy, kg/m³.

Sau khi xây dựng buồng sấy, tính nhiệt, tính chọn hoặc thiết kế caloriphe, thu hồi sản phẩm, lọc bụi, ta xác định hệ thống sấy, tính hệ thống quạt. Ta có thể chọn hệ thống quạt đẩy hoặc vừa đẩy vừa hút. Quạt phải có áp suất đủ để khắc phục mọi trở lực của hệ thống, trong đó có trở lực lớp hạt và có lưu lượng tác nhân sấy như đã tính.

4.5.1.2. Trao đổi nhiệt và truyền ẩm trong tầng sôi

Quá trình trao đổi nhiệt và truyền ẩm giữa vật sấy (các hạt) và tác nhân sấy trong tầng sôi xảy ra rất mạnh. Đó là kết quả tiếp xúc bề

mặt lớn giữa các hạt rời chuyển động hỗn loạn trong dòng tác nhân sấy chảy rời. Có rất nhiều tác giả đưa ra các phương trình chuẩn số Nusselt để từ đó xác định hệ số toả nhiệt α giữa tác nhân sấy và các hạt:

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{d_{td}} \quad (\text{kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{độ}) \quad (4-136)$$

trong đó:

λ - hệ số dẫn nhiệt của tác nhân sấy (không khí) lấy theo nhiệt độ trung bình, kcal/m.h.độ;

d_{td} - đường kính tương đương của hạt, m - tính từ (4-134).

Chuẩn số Nusselt được tính như sau:

$$Nu = 0,0151 F_e^{0,74} \cdot Re_{th}^{0,65} \left(\frac{H}{d_{td}} \right)^{-0,34} \quad (4-137)$$

Với $F_e = 30 \div 100$

$$Nu = 0,0283 F_e^{0,6} \cdot Re_{th}^{0,65} \left(\frac{H}{d_{td}} \right)^{0,34} \quad (4-138)$$

Với $F_e = 100 \div 200$

trong đó:

H - chiều cao lớp hạt khi sôi, m. đối với hạt ngũ cốc ta có thể chọn $H = (0,18 \div 0,25)$ m, sau đó tính kiểm tra:

$$F_e = d_{td} \sqrt[3]{\frac{4 \cdot g(\rho_l - \rho_k)}{3 v_k^2 \rho_k}} \quad (4-139)$$

g - gia tốc trọng trường, m/s²;

ρ_l, ρ_k - khối lượng riêng của hạt, tác nhân sấy, kg/m³;

v_k - độ nhớt động của tác nhân sấy, m²/s;

ρ_k, v_k - tra theo nhiệt độ trung bình.

Muốn tính chiều cao H của lớp hạt ta dựa vào phương trình truyền nhiệt sau:

$$\frac{6m\alpha.\Delta t}{\rho_1 d_{td}} = \Delta U.r \quad (4-140)$$

Từ (4-140) ta tính được khối lượng hạt m của hạt nằm trên lưới.

$$m = \frac{\Delta U.r.\rho_1.d_{td}}{6.\alpha.\Delta t}, (\text{kg}) \quad (4-141)$$

trong đó:

ΔU - lượng ẩm bay hơi, kg/h;

r - nhiệt hoá hơi của ẩm, kcal/kg: $r = 825$ (kcal/kg)

α - hệ số toả nhiệt, tính từ (4-136), kcal/m².h.độ;

d_{td} - đường kính tương đương của hạt, m;

ρ_1 - khối lượng riêng của hạt ẩm, kg/m³;

Δt - hiệu nhiệt độ trung bình giữa bề mặt hạt và tác nhân sấy, độ.

$$\Delta t = \frac{(t_{K_1} - t_2) - (t_{K_2} - t_2)}{\ln \frac{t_{K_1} - t_2}{t_{K_2} - t_2}} \quad (4-142)$$

trong đó:

t_{K_1}, t_{K_2} - nhiệt độ đầu, cuối của tác nhân sấy, °C;

t_2 - nhiệt độ cuối của hạt, °C.

Nếu ta lấy $t_2 \approx t_{K_2} - 1$ hay $t_{K_2} - t_2 = 1$, ta có:

$$\Delta t = \frac{t_{K_1} - t_{K_2}}{\ln(t_{K_1} - t_2)} \quad (4-143)$$

Chiều cao của lớp hạt khi sôi là H được tính như sau:

$$H = \frac{m}{F_L \cdot \rho'}, (\text{m}) \quad (4-144)$$

trong đó:

F_L - diện tích lưới (ghi), m²;

ρ' - khối lượng riêng của lớp hạt sôi, kg/m^3 ;

$\rho' = 750 \text{ (kg/m}^3\text{)}$ với hạt ngũ cốc.

Nếu quá trình sấy là gián đoạn thì m cũng là khối lượng hạt ẩm nạp mỗi lần vào buồng sấy. Đối với sấy liên tục thì trên lưới (ghì) luôn có khối lượng hạt sôi là m , khi đó thời gian lưu trong tầng sôi của hạt là τ .

$$\tau = \frac{2m}{m_1 + m_2}, \text{ (phút)} \quad (4-145)$$

trong đó: m_1, m_2 là khối lượng hạt ẩm, khô, kg/h .

4.5.2. Các hệ thống và thiết bị sấy tầng sôi

Dựa trên nguyên lý sấy tầng sôi đã đề cập ở các mục trước, người ta thiết kế hệ thống sấy tầng sôi tuần hoàn hay không tuần hoàn. Kết cấu cụ thể của hệ thống sấy phải phù hợp với từng loại vật sấy, có năng suất cao, chất lượng tốt và không gây ô nhiễm môi trường, giá thành hạ bao nhiêu tốt bấy nhiêu.

Máy sấy tầng sôi được áp dụng rất rộng rãi để sấy các vật sấy dạng hạt, dạng bột nhão, dung dịch, v.v. Đối với các vật sấy dạng bột nhão, dung dịch thì phải dùng các vật mang dạng hạt trơ với vật sấy, không thấm nước, chịu va đập và chịu nhiệt. Vật sấy bám dính lên bề mặt ngoài của các hạt mang (hạt chủ). Quá trình sấy tầng sôi diễn ra đối với các hạt có dính vật sấy dạng nhão. Sản phẩm sấy thu được ở dạng bột, được thu hồi nhờ các xyclon và lọc túi. Các vật mang lại được trộn với bột nhão để sấy tiếp.

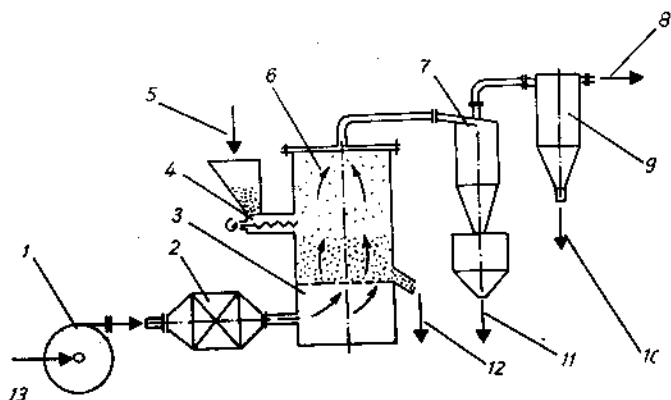
Các hệ thống máy sấy tầng sôi có cấu tạo đơn giản, làm việc liên tục hoặc gián đoạn, cường độ sấy cao hơn hẳn so với sấy tháp và sấy thùng quay. Hệ số tỏa nhiệt theo dung tích là $\alpha_v = (5800 - 12000) \text{ (W/m}^3\cdot\text{độ)}$, hệ số bay hơi ẩm trên diện tích lưới (ghì) là $A_p = (60 - 3000) \text{ (kg/m}^2\cdot\text{h)}$, thời gian sấy ngắn, sản phẩm khô đều, chất lượng tốt.

Nhược điểm của máy sấy tầng sôi là phải tạo ra tốc độ tác nhân

sấy đủ lớn để duy trì quá trình sôi làm tăng chi phí năng lượng cho quạt. Tác nhân sấy phải được cấp đều trên toàn diện tích lưới (ghì), nếu không thì chế độ sôi bị phá vỡ. Cần phải có cơ cấu đảo để tránh hiện tượng các hạt liên kết và bịt bết lỗ lưới cũng phá vỡ chế độ sôi.

Phân loại máy sấy tầng sôi dựa trên các đặc điểm như : làm việc liên tục hay theo chu kỳ, hình dạng tiết diện ngang của buồng sấy là hình tròn hay tứ diện, các hạt vừa sôi vừa chuyển dịch theo một hướng quy định hay không, buồng sấy có một hay nhiều tầng sôi v.v.

Hình 4-65 thể hiện cấu tạo hệ thống sấy tầng sôi với buồng sấy có một tầng sôi. Nguyên liệu ẩm được nạp vào buồng sấy nhờ vít tải. Quạt làm việc theo chế độ đẩy. Sản phẩm chủ yếu lấy ra ở cửa của buồng sấy, sản phẩm có kích thước nhỏ bị cuốn theo tác nhân sấy được thu hồi bằng xyclôn và lọc túi. Các cửa lấy sản phẩm đều phải có bộ phận đóng gió (lấy sản phẩm nhưng tác nhân sấy không lọt ra ngoài).



Hình 4-65. Hệ thống máy sấy tầng sôi

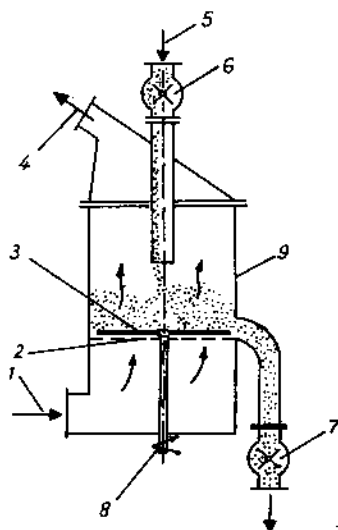
- 1- quạt; 2- caloriphe; 3- lưới (ghì); 4- vít tải nạp liệu;
5- nguyên liệu ẩm (các hạt ẩm); 6- buồng sấy tầng sôi;
7- xyclôn; 8- khí thải sạch; 9- lọc túi; 10, 11, 12- sản phẩm khô; 13- không khí

Năng suất của vít tải nạp liệu đúng bằng năng suất của hệ thống tính theo vật sấy ẩm. Hệ thống này có cấu tạo rất đơn giản để vận

hành, nó có thể làm việc liên tục hoặc theo chu kỳ (từng mẻ). Trong trường hợp sấy các loại hạt khó vỡ thì chỉ có cửa 12 là lấy sản phẩm, còn cửa 10 và 11 là bụi. Thông thường thì buồng sấy 6 là hình trụ; nếu là hình khối hộp thì tiết diện ngang nên là hình vuông, tiết diện hình chữ nhật thì cạnh dài không nên lấy lớn gấp đôi cạnh ngắn, vì như vậy dễ tạo ra vùng không sôi. Để hạn chế các mảnh sản phẩm ít bay theo tác nhân thì buồng sấy hơi loe dần về phía trên. Góc loe giữa hai thành buồng sấy bằng 14° - 16° (không nên lấy đến 20°).

Hình 4-66 thể hiện kết cấu buồng sấy dùng cho quá trình sấy tầng sôi các hạt không đồng nhất, để dính bột tạo ra các khối hạt làm phá vỡ chế độ sôi. Cánh đảo 3 liên tục quay để chống sự vón cục của các hạt.

Để tránh hiện tượng khô không đồng đều giữa các vùng trên lưới có kích thước rộng (buồng sấy lớn) thì ta tạo ra dòng sôi chảy từ cửa nạp liệu đến cửa tháo sản phẩm. Có rất nhiều cách để tạo ra dòng sôi chảy theo một hướng trong buồng sấy. Hình 4-67 thể hiện cấu tạo của máy sấy tầng sôi chảy theo dòng từ cửa vào đến cửa ra. Các hạt ẩm được rót vào sát thành buồng sấy chảy nhẹ xuống lưới. Tác nhân sấy là khối lò tạo ra nhờ buồng đốt nhiên liệu dạng lỏng (dầu FO chẳng hạn) được quạt 6 hút. Tác nhân theo ống dẫn 10 chui qua lưới và lớp hạt, tạo ra quá trình sôi chảy của các hạt.

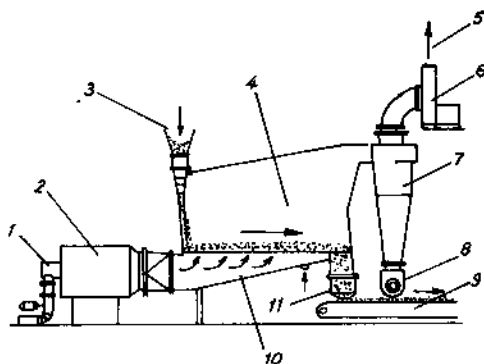


Hình 4-66. Buồng sấy một tầng sôi có cánh đảo hạt

- 1- tác nhân sấy do quạt thổi tới; 2- lưới (ghì); 3- cánh đảo; 4- khí thải đi đến các cyclon và lọc túi; 5- nguyên liệu ẩm; 6- cơ cấu nạp liệu đóng gió; 7- cơ cấu tháo sản phẩm và đóng gió; 8- trục cánh đảo; 9- buồng sấy

Sở dĩ các hạt vừa sôi và vừa chảy theo hướng từ cửa vào đến cửa ra là nhờ đặt lưới (ghì) nghiêng xuống một góc từ 1° - 4° về phía cửa ra, đồng thời thu hẹp dần lưới.

Ngoài ra có thể tạo ra quá trình sôi và chảy của lớp hạt bằng lưới khuyết và cánh quay như hình 4-68. Các hạt liên tục sôi trên lưới giữa các cánh, đồng thời bị các cánh quay gạt đến vùng lưới khuyết rồi rơi xuống cửa tháo ra ngoài. Tốc độ quay của cánh sao cho thời gian lưu của hạt trên lưới đúng bằng thời gian sấy.



Hình 4-67. Máy sấy tầng sôi chảy

- 1- thiết bị đốt; 2- buồng đốt dầu; 3- cửa nạp vật sấy dạng hạt ẩm; 4- buồng sấy; 5- khí thải; 6- quạt;
- 7- xyclôn; 8- cơ cấu tháo sản phẩm hoặc bụi;
- 9- băng tải sản phẩm; 10- kênh dẫn tác nhân;
- 11- cửa tháo sản phẩm.

Nếu trong buồng sấy có nhiều tầng sôi thì ta gọi là buồng sấy nhiều tầng sôi. Quá trình sôi ở các tầng là như nhau, nhưng nhiệt độ và độ ẩm của tác nhân sấy cho mỗi tầng thường là khác nhau. Nhờ các ống chảy truyền, độ dốc của ghi mà vật sấy dạng hạt từ cửa nạp lần lượt chảy qua các tầng sôi, khi đã đạt độ khô thì chảy ra ngoài.

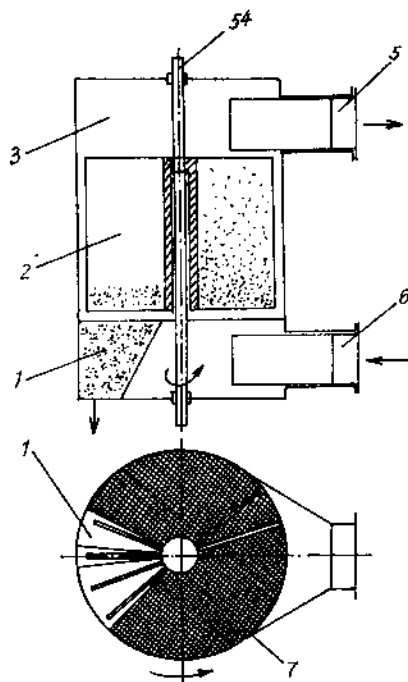
Buồng sấy nhiều tầng sôi cho phép điều chỉnh chế độ sấy (điều chỉnh nhiệt độ, độ ẩm của tác nhân) cho phù hợp với độ ẩm của vật sấy. Nó rất phù hợp cho quá trình sấy các vật sấy có lượng ẩm liên kết cao, sản phẩm khô đồng đều. Buồng sấy nhiều tầng sôi có kết cấu phức tạp hơn.

Hình 4-69 thể hiện cấu tạo của buồng sấy nhiều tầng sôi nằm ngang. Nó gồm có 4 tầng sôi đặt theo phương nằm ngang.

Hình 4-70 thể hiện cấu tạo của buồng sấy nhiều tầng sôi thẳng đứng. Vật sấy ẩm dạng hạt được nạp vào tầng sôi trên cùng, sản phẩm lấy ra ở tầng dưới cùng. Các hạt chảy chuyển từ tầng trên xuống tầng dưới là bộ phận chảy truyền (hình 4-71). Tác nhân sấy được cấp riêng cho mỗi tầng sau khi đi qua ghi và lớp hạt chúng theo khoảng riêng rồi cùng đi ra cửa trên đỉnh buồng sấy.

Cường độ sấy trong buồng sấy nhiều tầng sôi cao hơn buồng có một tầng sôi. Có thể sấy đến hàm ẩm rất thấp đối với các vật sấy có lượng ẩm liên kết lớn.

Bộ phận quan trọng trong máy sấy tầng sôi là lưới (ghi) phân phối gió. Để có quá trình sôi đồng đều trên toàn diện tích ghi thì áp suất tác nhân sấy phía dưới ghi phải đều. Điều đó dẫn tới trở lực cục bộ của ghi là đáng kể. Để có trở lực lớn thì tổng diện tích lỗ lấy bằng $(3 \div 10) \%$ diện tích ghi. Đường kính lỗ phải nhỏ để có nhiều lỗ phân bố đều trên diện tích ghi. Đường kính lỗ và số lỗ xác định sao cho vận tốc tác nhân sấy đi qua lỗ lớn gấp $(7 \div 10)$ lần vận tốc lắng của hạt có đường kính bằng đường kính lỗ ghi. Nhằm



Hình 4-68. Buồng sấy tầng sôi có vách ngăn (cánh) hướng kinh quay

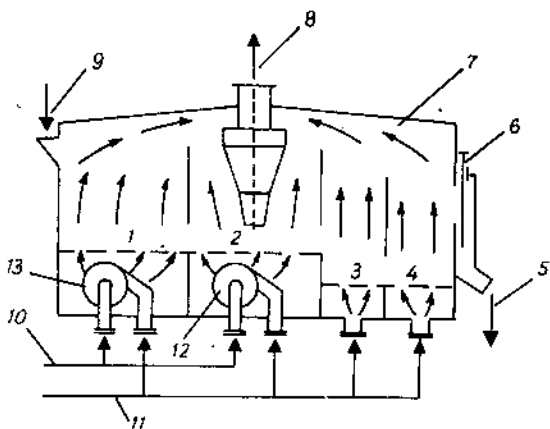
- 1- cửa tháo sản phẩm; 2- cánh quay;
- 3- Buồng sấy; 4- trục của cánh; 5- cửa ra của khí thải;
- 6- cửa vào của tác nhân sấy;
- 7- lưới (ghi) khuyết

phân đều tác nhân sấy ta có thể lắp ghi phụ bên dưới ghi chính với khoảng cách $(50 \div 60)$ mm. Đường kính lỗ trên ghi phụ bằng và nhỏ hơn 25 mm, tổng diện tích lỗ là $(40 \div 50)\%$ diện tích ghi.

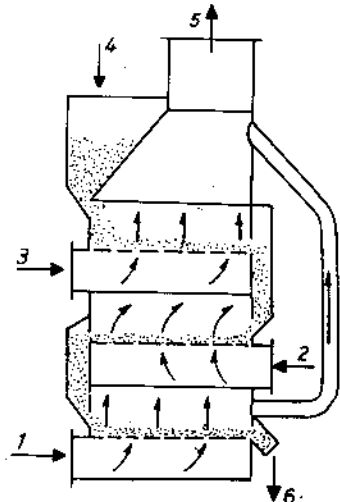
Cấu tạo của ghi phân phối gió rất đa dạng (hình 4-72). Ghi có thể là tấm thép đục lỗ, hàn từ các thành thép tròn ghép với tấm thép đục lỗ, ghép lại từ hai tấm thép đục lỗ lệch nhau cách nhau một khoảng nhỏ, gồm hai tấm thép đục lỗ đặt cách nhau $(50 \div 60)$ mm và giữa chúng là các hạt chịu nhiệt độ lộn xộn, ghi có thể là hình tròn, vuông hay chữ nhật theo tiết diện ngang của buồng sấy tầng sôi.

Ghi có thể đặt cố định hoặc quay được để đổ các hạt xuống ghi phía dưới như hình 4-71a.

Tùy dạng vật sấy mà sử dụng bộ phận nạp liệu cho phù hợp. Dạng hạt thì ta dùng cơ cấu quay như: vít



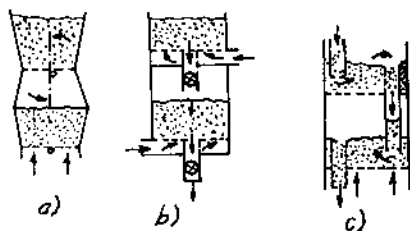
Hình 4-69. Buồng sấy có nhiều tầng sôi nằm ngang
1,2,3,4- các tầng sôi; 5- sản phẩm; 6- van điều chỉnh sản phẩm chảy nhiều hay ít; 7- buồng sấy; 8- khí thải; 9- nguyên liệu ẩm; 10- nhiên liệu lỏng; 11- không khí; 12,13- buồng đốt



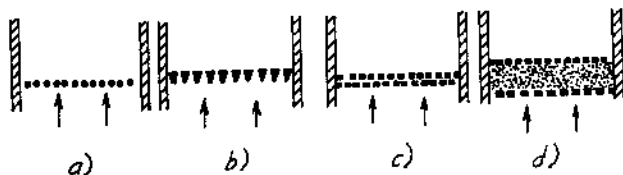
Hình 4-70. buồng sấy sấy nhiều tầng sôi thẳng đứng
1,2,3- tác nhân sấy cấp cho ba tầng sôi; 4- vật sấy ẩm dạng hạt; 5- khí thải; 6- sản phẩm

tải, rôto có cánh quay trong hộp (máy đóng gió). Dạng bột nhão hay dung dịch phun vào các hạt ở tầng sôi thì dùng cơ cấu thủy lực, đĩa văng v.v.

Tính thiết kế máy sấy tầng sôi có thể thực hiện theo các bước sau: Dựa trên cơ sở lý thuyết ở mục 4.2 và các định luật về tầng sôi ở mục 4.5.



Hình 4-71. Các phương pháp cho hạt chảy chuyển
a. Dung ghi quay; b. ống chảy chuyển có cơ cấu tháo; c. ống chảy chuyển.



Hình 4-72. Cấu tạo của ghi

a. Hàn từ các thanh thép tròn; b. Các thanh ghi; c. Ghi hai lớp bằng thép tấm đục lỗ; d. Gổm hai tấm thép đục lỗ, ở giữa có lớp đệm bằng các hạt chịu nhiệt.

- Dựa vào các số liệu đã cho để tính lượng ẩm bay hơi là ΔU .
- Lựa chọn tác nhân sấy là không khí nóng hay khói lò.
- Chọn buồng sấy một hay nhiều tầng sôi.
- Xác định tổng tổn thất nhiệt.
- Dùng quá trình sấy thực trên đồ thị $I-d$ của không khí ẩm để xác định lượng tác nhân cần thiết, lượng nhiệt cần cho quá trình sấy.
- Xác định tốc độ làm việc của tác nhân sấy theo điều kiện sau đây:

$$W_K = (3 \div 6) W_{K_{th}}, \text{ (m/s)} \quad (4-146)$$

hoặc:

$$W_K = (0,1 \div 0,3) W_{K,1}, (\text{m/s}) \quad (4-147)$$

- Tính diện tích lưới F_L theo điều kiện (4-148):

$$F_L = \frac{V_K}{W_K}, (\text{m}^2) \quad (4-148)$$

V_K - thể tích tác nhân sấy, m^3/s

- Tính hệ số truyền nhiệt và hiệu nhiệt độ trung bình giữa tác nhân sấy và hạt (vật sấy)

- Xác định chiều cao lớp hạt căn cứ vào khối lượng hạt nằm trên lưới và diện tích lưới.

- Xác định kích thước buồng sấy và thời gian sấy, chiều cao phía trên tầng sôi là $H = 2H_0 + (1,5 \div 2)$, m.

- Xây dựng hệ thống sấy gồm đầy đủ các trang thiết bị như: buồng sấy, caloriphe (hoặc buồng đốt), buồng hoà trộn, tuyến ống dẫn tác nhân, các xyclôn, lọc túi, quạt.

- Tính tổng tổn thất trở lực của hệ thống để chọn quạt.

- Tính chọn hoặc thiết kế cơ cấu nạp liệu và tháo sản phẩm.

4.5.4. Các định luật với lớp rung

Chuyển động rung được áp dụng để chế tạo ra các máy và thiết bị như: sàng rung để phân loại hạt, làm tơi hạt, đóng thùng chè thành phẩm, vận chuyển hạt, sấy các sản phẩm hạt và dạng hạt.

Chuyển động rung được tạo ra nhờ máy rung. Máy rung gồm bộ phận tạo ra chuyển động rung, bộ phận rung (sàng, thùng, máng v.v.). Khi ta đổ lớp hạt lên bề mặt phẳng có đục lỗ hoặc không, nhẵn hoặc nhám (tùy vào từng mục đích) đang rung thì các hạt cũng sẽ chuyển động rung. Lớp hạt có chuyển động rung phụ thuộc vào cấu tạo và các thông số rung của bề mặt chứa hạt. Trường hợp đơn giản nhất là chuyển động rung của các hạt trên bề mặt phẳng nằm ngang và rung theo chiều thẳng đứng. Khi đó chuyển động của mặt phẳng so với hệ

toạ độ đứng yên thoả mãn phương trình sau đây:

$$y = A \cos \varphi = A \cos \omega t \quad (4-149)$$

trong đó:

A - biên độ, m;

φ - góc pha, rad;

ω - tần số góc, rad/s;

t - thời gian, s.

Chuyển động của hạt so với mặt phẳng thoả mãn phương trình vi phân sau:

$$m y'' = -mg - m A \omega^2 \cos \varphi + N_p \quad (4-150)$$

trong đó:

m - khối lượng hạt là hằng;

g - gia tốc trọng trường, m/s²;

A - biên độ, m;

φ, ω - góc pha, tần số góc, rad, rad/s;

N_p - phản lực vuông góc với mặt sàng tác dụng lên hạt, N.

Trường hợp hạt không tách rời mặt phẳng đang rung, nghĩa là hạt không có gia tốc so với mặt phẳng. Khi đó vế trái của phương trình vi phân (4-150) bằng không và phản lực $N_p \neq 0$:

$$N_p = mg + m A \omega^2 \cos \varphi \quad (4-151)$$

Khi hạt tách ra khỏi mặt phẳng thì phản lực của bề mặt lên nó bằng không ($N_p = 0$). Như vậy từ (4-151) ta có:

$$A \omega^2 = -\frac{g}{\cos \varphi} \quad (4-152)$$

Từ phương trình (4-152) ta thấy, gia tốc rung nhỏ nhất khi hạt tách khỏi bề mặt rung là ứng với $\varphi = 0$ và $\varphi = \pi$ hay $\cos \varphi = \pm 1$, khi ấy ta có:

$$K = \frac{A \omega^2}{g} = 1 \quad (4-153)$$

Nếu mặt phẳng rung có đục lỗ, ta thổi khí (tác nhân sấy) qua, thì hạt sẽ chịu thêm các lực như lực cản của dòng khí, lực đẩy Archimedes. Lúc đó gia tốc để tách hạt khỏi bề mặt rung sẽ là K' :

$$K' = \frac{Aw^2}{g} + \frac{P_C + P_A}{m \cdot g} \geq 1 \quad (4-154)$$

trong đó:

P_C - lực cản của dòng khí, N;

P_A - lực đẩy Archimedes, N.

Khi $K < 1$ (không thổi gió), $K' < 1$ (có thổi gió) thì hạt nằm yên trên mặt phẳng rung. Một hạt nằm yên cũng có nghĩa là cả lớp hạt cũng nằm yên (rung y như mặt phẳng).

Khi $K \approx 1$ hoặc $K' \approx 1$ thì các hạt trong lớp hạt bắt đầu cựa quậy (xê dịch so với nhau) và ta gọi đó là tan chảy rung. Với $K > 1$; $K' > 1$ thì các hạt bắt đầu chuyển động hỗn loạn trên bề mặt phẳng đang rung, đó chính là trạng thái sôi rung.

Ở đây chúng ta đang xét về sấy đối lưu rung nên chỉ xét với K' mà thôi. Chiều và tốc độ chuyển động của tác nhân sấy có ảnh hưởng lớn đến chuyển động sôi rung của các hạt trên mặt phẳng rung. Đối với các hạt có kích thước nhỏ hoặc trọng lượng riêng nhỏ thì nên cho tác nhân sấy chuyển động với vận tốc nhỏ hoặc cho chiều chuyển động xuyên qua lớp hạt từ trên xuống để không cuốn theo các hạt.

Trong kỹ thuật sấy rung nói chung, ta có thể phân thành các loại sau:

- Sấy lớp sôi rung trên bề mặt nóng.
- Sấy lớp sôi rung trên bề mặt phẳng không đục lỗ, thổi tác nhân sấy dọc mặt phẳng.
- Sấy lớp sôi rung trên bề mặt phẳng có đục lỗ và thổi tác nhân sấy theo pháp tuyến (vuông góc) với mặt phẳng.

Quan hệ giữa chiều cao dâng của lớp hạt là ΔH , độ xốp ε , biên độ rung A , tần số rung ν , thể hiện như sau:

Khi: $A = (0,55 \div 2,5)$, $\nu = (30 \div 80)$ Hz thì:

$$\Delta H = 5,48 A \quad (4-155)$$

Trong sầy lớp sôi rung mà tác nhân sầy chuyển động vuông góc với lớp hạt từ dưới lên thì vận tốc tới hạn của dòng tác nhân là $W_{K.th}$:

$$W_{K.th} = 0,12 \left(\frac{\rho}{\rho_{l.s}} \right)^{0,63} \left(\frac{1}{\nu} \right)^{0,33} d^{0,83} \left(1 - 0,995 \frac{A \cdot \omega^2}{g} \right) \quad (4-156)$$

trong đó:

$\rho, \rho_{l.s}$ - khối lượng riêng của hạt, lớp hạt sôi, kg/m^3 ;

ν - tần số rung, Hz;

d - đường kính hạt, m;

A - biên độ, m;

ω - tần số góc, rad/s;

g - gia tốc trọng trường, m/s^2 .

Trở lực của lớp hạt sôi rung là ΔP phụ thuộc rất nhiều yếu tố như độ ẩm và đường kính hạt, các thông số rung, tốc độ dòng tác nhân xuyên qua lớp hạt:

$$\Delta P = \Delta P_o \left(\frac{A \omega^2}{g} \right)^{-n} \quad (4-156)$$

trong đó:

ΔP_o - trở lực của lớp hạt tĩnh;

A - biên độ rung, m;

ω - tần số góc, rad/s;

g - gia tốc trọng trường, m/s^2 ;

$$n = 0,41 + 0,198 d \cdot \rho$$

Quá trình trao đổi nhiệt và chuyển khối trong sầy tầng sôi rung rất phức tạp, khó tính chính xác được.

Khi bề mặt rung cũng đồng thời là bề mặt cấp nhiệt cho các hạt sôi rung (không dùng tác nhân sầy) thì hệ số toả nhiệt α từ bề mặt

nóng cho các hạt chịu ảnh hưởng bởi biên độ A và tần số rung ν . Nếu trong lớp hạt sôi rung có đặt các bề mặt truyền nhiệt thẳng đứng (các cánh tản nhiệt của bề mặt nằm ngang chẳng hạn) thì hệ số toả nhiệt giữa mặt đứng và lớp hạt sẽ cao hơn so với bề mặt nằm ngang. Trong trường hợp này ta có thể tính α như sau:

$$\alpha = K_2 (A\nu)^{n_2} \quad (4-157)$$

trong đó K_2, n_2 phụ thuộc vào vật liệu và điều kiện rung. Hoặc ta cũng có thể tính truyền nhiệt tương tự như sấy tầng sôi.

Khi bề mặt rung không phải là bề mặt cấp nhiệt thì quá trình sấy là sấy đối lưu. Hệ số toả nhiệt giữa tác nhân sấy và lớp hạt sôi rung lớn hơn từ (5-25) lần so với lớp hạt đứng yên. Hệ số α trong trường hợp lớp hạt sôi rung được tính phụ thuộc vào chuẩn số Nu :

$$Nu = 1.16 Re \left(\frac{A}{H} \right)^{0.8} \left(\frac{\nu \cdot w}{g} \right)^{0.96} \quad (4-158)$$

và

$$Nu = 0.142 Re \left(\frac{Aw^2}{g} \right)^{0.04} \quad (4-159)$$

trong đó:

Re - chuẩn số Reynold, tính theo điều kiện tốc độ dòng khí tới hạn để có lớp sôi rung;

A - biên độ, m;

w - tần số góc, rad/s;

ν - tần số rung, Hz;

g - gia tốc trọng trường, m/s².

Khi chọn các thông số rung ta căn cứ vào chế độ sôi rung liên tục của lớp hạt, thoả mãn điều kiện sau:

$$\sqrt{\pi^2 P^2 + 1} \leq \frac{Aw^2}{g} \leq \sqrt{\pi^2 P^2 + 4} \quad (4-160)$$

trong đó:

P - số chu kỳ dao động của bề mặt rung trong thời gian hạt bay (thời gian từ lúc hạt bị đẩy ra đến lúc tiếp xúc lại với mặt rung)

Ta có thể chọn các thông số như sau:

$$A.w^2 = (1,3 \div 5)$$

$$A = (0,5 \div 10) \text{ (mm)}$$

$$\nu = (5 \div 50) \text{ (Hz)}$$

Muốn quá trình sấy tầng sôi rung được liên tục, ta tạo cho lớp hạt vừa sôi rung vừa chảy theo hướng nhất định. Tốc độ chuyển động của lớp sôi rung phụ thuộc vào tính chất lưu biến và độ ẩm của hạt, cấu tạo của bề mặt rung (nhấn, xù xì, đục lỗ), góc nghiêng của bề mặt rung, biên độ và góc của hướng rung v.v. Tốc độ của lớp sôi là W_{ls} được tính như sau:

- Với bề mặt phẳng liên nhấn:

$$W_{ls} = K.A.w \cos \theta \sqrt{1 - \frac{1}{c^2}} \quad (4-161)$$

- Với mặt phẳng đục lỗ:

$$W_{ls} = \frac{\pi.K_1 g}{w.tg.\beta} \quad (4-162)$$

- Với bề mặt cong xoắn dạng vít:

$$W_{ls} = K_2 A w \cos \theta \quad (4-163)$$

trong đó

Các hệ K , K_1 , K_2 và c - xác định bằng thực nghiệm.

θ - góc của phương rung $\theta = 18^\circ \div 40^\circ$.

β - góc nghiêng của mặt rung $\beta = 8^\circ \div 10^\circ$

Các bước tính thiết kế máy sấy lớp sôi rung cũng tương tự như sấy tầng sôi, ngoài ra còn phải tính cơ cấu tạo rung trên cơ sở các số

liệu như: A, w, v, θ, β , v.v.

Sau đây là một số máy sấy lớp sôi rung.

4.5.5. Máy sấy lớp sôi rung

Trong các máy sấy lớp sôi rung thì các vật sấy dạng hạt cũng sôi, nhưng sự sôi của lớp hạt được tạo bởi bề mặt rung hoặc kết hợp giữa bề mặt rung và chuyển động của dòng tác nhân sấy. Căn cứ vào đó mà ta có thể chia máy sấy lớp sôi rung thành hai loại: máy sấy lớp sôi rung và máy sấy lớp sôi rung khí động.

Máy sấy lớp sôi rung và sôi rung khí động có ưu điểm là:

- Dùng để sấy các vật sấy dạng hạt, miếng mảnh có kích thước lớn, dễ dính nhau, hoặc kích thước nhỏ như bột, hiệu quả hơn sấy tầng sôi bình thường; vì các vật sấy này có chế độ sôi không giống nhau khi sấy tầng sôi bình thường
- Quá trình sôi rung và sôi rung khí động rất ổn định.
- Không cần tốc độ dòng khí (tác nhân sấy) cao cũng sôi được nên ít tổn năng lượng cho quạt.
- Cường độ sấy cao.

Nhược điểm của loại máy sấy này là cấu tạo phức tạp, đắt hơn máy sấy tầng sôi bình thường.

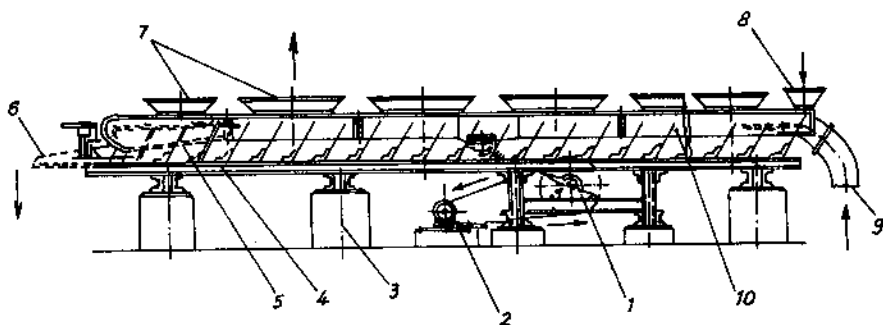
Hệ thống máy sấy lớp sôi rung gồm các bộ phận sau:

- Bề mặt rung mà trên đó lớp vật sấy dạng hạt sôi rung. Bề mặt rung có thể là mặt phẳng tròn hoặc đục lỗ đặt nằm ngang hay nghiêng; mặt cong dạng vít xoắn. Mặt rung nhận truyền động từ cơ cấu rung. Cơ cấu rung gồm các thanh đỡ bằng lò xo, bộ phận tạo rung thường là lực quán tính do chuyển động quay của khối lệch tâm nhận truyền động từ động cơ.
- Toàn bộ bề mặt rung có lớp vật sấy sôi rung được đặt trong buồng sấy, có cửa nạp liệu, cửa tháo sản phẩm, cửa quan sát, cửa lấy

mẫu thử.

- Hệ thống quạt đẩy, hút hoặc vừa hút vừa đẩy, xyclon, lọc túi, v.v.
- Bộ phận cấp nhiệt là caloriphe; khói lò.

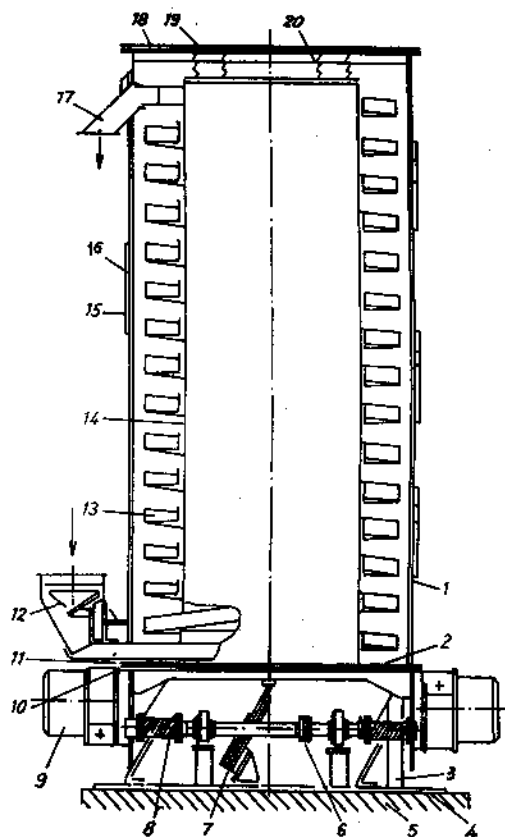
Hình 4-73 thể hiện cấu tạo của máy sấy rung nằm ngang với lớp sôi rung chuyển động ngang. Nguyên liệu là các vật sấy dạng hạt được nạp vào cửa 8 vào bề mặt rung giống như sàng rung. Tác nhân sấy được đưa vào buồng sấy 10 qua cửa 9, đi qua sàng xuyên qua lớp hạt sôi rồi đi ra ngoài qua các cửa 7. Các hạt chuyển động sôi nhờ mặt rung (sàng rung) và tác động của dòng tác nhân sấy. Lớp hạt vừa sôi rung vừa chảy về phía cửa 6 thì khô. Bộ phận tạo rung là khối lệch tâm 1 quay tròn nhờ đai truyền và động cơ 2. Hộp sấy 10 được treo trên khung 4 bằng các thanh lò xo. Hộp sấy 10 cùng rung với sàng (mặt rung). Khung 4 được bắt xuống móng tựa trên đệm cao su đàn hồi. Tốc độ chảy của dòng hạt sôi rung phụ thuộc vào góc nghiêng của sàng, biên độ rung, tần số rung. Trong hình 4-73 không thể hiện hệ thống quạt và caloriphe.



Hình 4-73. Máy sấy rung nằm ngang

- 1- bộ phận lệch tâm quay tròn tạo rung; 2- động cơ; 3- móng máy; 4- khung đỡ; 5- bề mặt rung đục lỗ; 6- cửa tháo sản phẩm; 7- các cửa khí thải; 8- cửa nạp liệu; 9- cửa vào của tác nhân sấy; 10- buồng (hộp) sấy.

Hình 4-74 thể hiện cấu tạo của máy sấy lớp sôi rung thẳng đứng, bề mặt rung có dạng vít xoắn quấn xung quanh ống hình trụ thẳng đứng, đỉnh cánh vít có thành vây dạng vít để vật sấy không rơi ra ngoài. Khối hình trụ có cánh vít được đặt trên bộ phận truyền rung 2, đỉnh được treo bằng các lò xo 20 vào đỉnh của vỏ trụ 1. Khi bộ phận 9 rung thì khối trụ có cánh vít cũng rung. Các hạt ẩm được nạp vào cánh vít thấp nhất nhờ phễu 12. Lớp hạt vừa sôi rung vừa chảy ngược lên cánh vít cao nhất thì khô rồi chảy qua cửa 17 ra ngoài. Bề mặt của vít rung tiếp xúc với lớp hạt phải có độ nhám nhất định và góc nghiêng của vít cũng phải phù hợp với các hạt đem sấy. Để lớp hạt vừa sôi rung vừa chuyển động lên thì khối trụ có cánh vít phải nhún xuống rất nhanh đồng thời xoay sang trái và trả lại. Tần

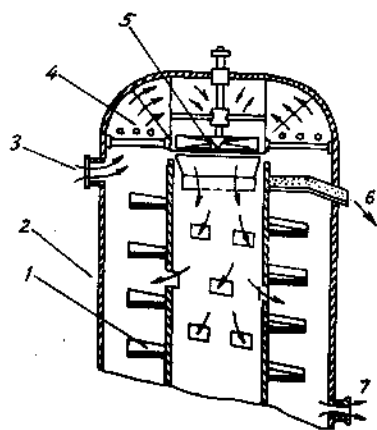


Hình 4-74. Máy sấy lớp sôi rung thẳng đứng

- 1- vỏ hình trụ đứng yên; 2- thiết bị truyền rung; 3- chân đỡ (giá); 4- tấm chân đế; 5- móng máy; 6- bánh đai; 7- lò xo nhíp; 8- khớp nối lò xo; 9- bộ phận tạo rung; 10- tấm phẳng; 11- bích; 12- cửa nạp liệu; 13- kênh vận chuyển dạng vít xoắn; 14- ống trụ; 15- cửa quan sát; 16- cửa lấy mẫu thử (kiểm tra); 17- cửa tháo sản phẩm; 18- nắp; 19- giá treo; 20- lò xo treo

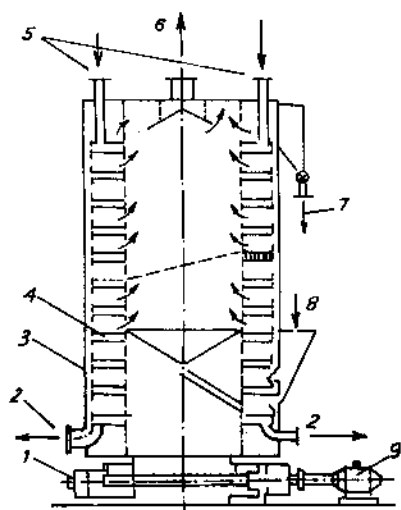
số và biên độ rung tùy thuộc vào kích thước và khối lượng riêng của hạt. Thời gian sấy phụ thuộc vào chiều dài vít và tốc độ di chuyển của lớp hạt rung. Năng suất sấy phụ thuộc thời gian sấy và chiều rộng từ chân đến đỉnh vít. Tác nhân sấy có thể chuyển động xoắn theo lớp hạt rung, hoặc từ ống trung tâm đi ra qua lớp hạt sôi rung (hình 4-75).

Khi cánh vít rộng bên trong thì ta có thể cấp nhiệt bằng hơi nước nóng. Trong trường hợp này ta có máy sấy lớp sôi rung tiếp xúc với mặt vít nóng (hình 4-76).



Hình 4-75. Tác nhân sấy đi ra từ ống tâm

- 1- vít rung; 2- vỏ máy; 3- không khí;
4- caloriphe; 5- quạt hướng trục;
6- sản phẩm; 7- khí thải.



Hình 4-76. Máy sấy lớp sôi rung tiếp xúc

- 1- bộ phận tạo rung; 2- nước ngưng; 3- vỏ;
4- vít rung đồng thời là caloriphe; 5- hơi nước
nóng bão hoà; 6- khí thải; 7- sản phẩm;
8- các hạt ẩm; 9- động cơ.

Máy sấy lớp sôi rung nói chung có kết cấu phức tạp, giá thành cao, năng suất sấy không lớn. Năng suất bay hơi riêng trên một mét vuông bề mặt làm việc (bề mặt rung) là A_F : $A_F = 225$ kg ẩm bay

hơi/m².h (khi làm bay hơi một dung dịch nào đó, có các hạt nền). Năng suất bay hơi ẩm theo thể tích máy là A_v : $A_v = 150$ (kg/m³.h). Lượng tác nhân sấy và nhiệt lượng cần cho 1kg ẩm bay hơi là $G' = 50$ (kg/kg), $q_k = 4200$ (kJ/kg).

4.6. SẤY ĐỐI LƯU CÁC VẬT LIỆU RỜI VÀ DUNG DỊCH TRONG DÒNG LƯU ĐỘNG

Khi ta cho các hạt rắn hay lỏng ở dạng phân tán vào dòng khí có vận tốc lớn hơn vận tốc lắng của hạt thì chúng bị cuốn theo dòng khí. Người ta đã áp dụng phương pháp này để vận chuyển hạt hoặc sấy các nguyên liệu ẩm dạng hạt. Khi sấy thì dòng khí chính là dòng tác nhân sấy. Quá trình sấy xảy ra khi dòng hạt bay theo dòng tác nhân sấy. Điểm khác nhau giữa vận chuyển hạt và sấy hạt là: mật độ hạt khi vận chuyển lớn gấp hàng chục thậm chí hàng trăm lần mật độ hạt khi sấy. Quá trình sấy như trên, được gọi là sấy trong dòng lưu động.

Căn cứ vào dạng cấu tạo của buồng sấy và dạng chuyển động của dòng lưu động mà ta chia ra: buồng sấy ống, buồng sấy xoáy lốc, buồng sấy xyclon, buồng sấy phun.

4.6.1. Các định luật về sấy trong dòng lưu động

Trong mục này ta sẽ nghiên cứu chuyển động của cả dòng khí và hạt về mặt khí động và sức cản khí động, truyền nhiệt và chuyển khối giữa hạt và khí (tác nhân sấy), trên cơ sở đó sẽ xây dựng các hệ thống sấy phù hợp.

4.6.1.1. Đặc tính của dòng lưu động khí-hạt

Xét theo phương tiện vận chuyển thì dòng lưu động khí-hạt có các đặc tính thể hiện qua các hệ số lưu lượng khối lượng (μ), hệ số lưu lượng thể tích (μ'), nồng độ khối lượng thực x , nồng độ thể tích x' , thành phần và dạng của hạt, trở lực chính diện của dòng hạt v.v.

Hệ số lưu lượng của dòng lưu động khí-hạt là μ , μ' được xác định như sau:

$$\mu = \frac{m}{G_K} = \frac{m}{w_K \cdot \rho_K \cdot F_\delta} \quad (1-164)$$

$$\mu' = \frac{V}{V_K} = \frac{m}{\rho \cdot w_K F_\delta} \quad (4-165)$$

trong đó:

ρ , m , V - khối lượng riêng, khối lượng, thể tích của hạt, kg/m^3 , kg/s , m^3/s ;

ρ_K , w_K , V_K - khối lượng riêng, vận tốc, thể tích của dòng khí (tác nhân sấy), kg/m^3 , m/s , m^3/s ;

F_δ - diện tích tiết diện ngang của ống dẫn (buồng sấy), m^2 .

Nồng độ khối lượng, nồng độ thể tích thực là x , x' được tính như sau:

$$x = \frac{m}{V'} = \frac{m}{w \cdot F_\delta} \quad (4-166)$$

$$x' = \frac{V}{V'} = \frac{m}{\rho \cdot w \cdot F_\delta} \quad (4-167)$$

trong đó:

V' - thể tích dòng hạt phân tán trong dòng khí, m^3/s ;

w - vận tốc của hạt, m/s .

Từ các điều kiện trên ta có:

$$\mu' = \mu \frac{\rho_K}{\rho} \quad (4-168)$$

$$x = x' \cdot \rho = \mu \cdot \rho_K \frac{w_K}{w} \quad (4-169)$$

Khi sấy thì $\mu \leq 1 \text{ kg/kg}$; Khi vận chuyển đơn thuần thì $\mu = (1,5 \div 100)$ hoặc lớn hơn.

Hình dạng và kích thước của hạt có ảnh hưởng đến chuyển động của dòng hạt. Khi các hạt là hình cầu thì kích thước hạt là đường kính d của hình cầu. Nếu hạt không phải hình cầu thì ta dùng đường kính tương đương d_{td} :

$$d_{td} = \sqrt[3]{\frac{6V_h}{\pi}} \quad (4-170)$$

trong đó V_h là thể tích của hạt, m^3 .

Tỷ số giữa bề mặt cầu có đường kính d_{td} và diện tích bề mặt thực của hạt gọi là hệ số φ :

$$\varphi = \frac{F_c}{F_h} = 4.83 \frac{V_h^{2/3}}{F_h} \quad (4-171)$$

trong đó:

F_c - diện tích mặt cầu có d_{td} , m^2 ;

F_h - diện tích bề mặt hạt, m^2 .

Hệ số hình dạng của hạt là ϕ được tính như sau:

$$\phi = a_t l \quad (4-172)$$

trong đó:

a_t - bề mặt riêng theo thể tích của hạt, m^2/m^3 ;

l - chiều dài của hạt, m .

Ta có:

$$\varphi = \frac{6l}{\phi \cdot d_{td}} \quad (4-173)$$

$\phi = 6$ - khi hạt có dạng khối lập phương hay dạng cầu.

$\phi = 4$ - khi hạt dạng trụ.

$\phi = 2$ - khi hạt dạng trụ tròn (tấm)

$\varphi = 0,77$ - khi hạt dạng bầu dục.

$\varphi = 0,66$ - khi dạng cong.

$\varphi = 0,58$ - khi dạng thanh.

$\varphi = 0,43$ - khi dạng tấm mỏng (trụ lùn).

Hệ số trở lực chính diện của dòng lưu động khí-hạt được ký hiệu là ξ_c , nó phụ thuộc vào rất nhiều yếu tố như: hình dạng và kích thước của các hạt, các điều kiện chuyển động của dòng khí-hạt, chuyển khối giữa các hạt và khí (tác nhân sấy) v.v.

$$\xi_c = K_1 \cdot K_2 \left(0.462 K_3 + \frac{30}{Re} \right) \quad (4-174)$$

trong đó K_1 là hệ số tính đến các điều kiện dày đặc của các hạt đang chuyển động và tác dụng tương hỗ giữa chúng với nhau.

$$K_1 = (1 - x')^{-4.75} = \varepsilon^{-4.75} \quad (4-175)$$

x' - nồng độ thể tích thực;

ε - độ xốp;

K_2 - hệ số ảnh hưởng của ống dẫn.

- Khi chảy màng:

$$K_2 = \left(1 - \frac{d}{D} \right)^{-5} \quad (4-176)$$

d - đường kính của hạt hình cầu, nếu không phải hình cầu thì lấy đường kính tương đương, m;

D - đường kính ống dẫn, m.

- Khi chảy rối:

$$K_2 = \left| 1 - \left(\frac{d}{D} \right)^2 \right|^{-3} \quad (4-176)$$

Hệ số K_3 là sự ảnh hưởng của hình dạng các hạt:

$$K_3 = 11 - 10\varphi \quad (4-177)$$

φ được tính từ điều kiện (4-173).

Hệ số trở lực tính từ điều kiện (4-174) áp dụng cho các hạt dạng cầu và bầu dục. Đối với các hạt dạng trụ, dạng đĩa, miếng mỏng thì hệ

số trở lực chính diện được tính như sau:

$$\xi_c = K_1 K_2 \left(1,18 + \frac{6}{Re} \right) \text{ với } Re = 0 \div 2 \cdot 10^5 \quad (4-178)$$

$$\xi_c = K_1 K_2 \left(1,19 + \frac{20}{Re} \right) \text{ với } Re = 0 \div 10^6 \quad (4-179)$$

Đặc tính chủ yếu của dòng lưu động khí-hạt là vận tốc lắng của các hạt. Khi $Re < 1$ thì vận tốc lắng của hạt là $W_{K,l}$ được tính theo phương trình của Stokes:

$$W_{K,l} = \frac{1}{18} \frac{g \cdot d^2}{\nu_K} \frac{(\rho - \rho_K)}{\rho_K}, \text{ (m/s)} \quad (4-180)$$

trong đó:

g - gia tốc trọng trường, m/s^2 ;

d - đường kính hoặc đường kính tương đương của hạt, m ;

ν_K - độ nhớt động học của khí, m^2/s ;

ρ - khối lượng riêng của hạt, kg/m^3 ;

ρ_K - khối lượng riêng của khí, kg/m^3 .

4.6.1.2. Khí động học và sức cản khí động của dòng lưu động khí-hạt

Chuyển động của các hạt trong dòng lưu động khí-hạt được xác định bởi các ngoại lực tác dụng lên chúng như: trọng lượng, sức cản của dòng khí, lực ma sát giữa các hạt với nhau, lực ma sát giữa các hạt và ống dẫn, lực ly tâm khi chảy trong ống cong.

Phương trình chuyển động của một hạt trong ống thẳng đứng và nằm ngang như sau:

Với ống thẳng đứng:

$$\frac{d(m \cdot W)}{d\tau} = \pm mg \pm \xi_c \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \frac{\rho_K W_{K,l,d}^2}{2} \quad (4-181)$$

Với ống nằm ngang:

$$\frac{d(m.W)}{d\tau} = \pm \xi_c \frac{\pi.d^2}{4} \cdot \frac{\rho_K W_{K.t.d}^2}{2} \quad (4-182)$$

trong đó:

m - khối lượng hạt, kg;

W - vận tốc hạt, m/s;

τ - thời gian, s;

g - gia tốc trọng trường, m/s²;

ξ - hệ số trở lực chính diện;

d - đường kính hạt, m;

$W_{K.t.d}$ - vận tốc tương đối của dòng khí so với hạt, m/s;

ρ_K - khối lượng riêng của khí, kg/m³.

Các dấu của các số hạng bên phải của (4-181) phụ thuộc vào chiều véc tơ vận tốc chuyển động với trọng lượng và vận tốc tương đối của hạt và dòng khí. Dấu của số hạng bên phải của (4-182) phụ thuộc vào chiều véc tơ vận tốc chuyển động và vận tốc tương đối giữa hạt và dòng khí.

Bằng phương pháp tích phân hai phương trình (4-181) và (4-182) ta sẽ thu được các đặc tính chủ yếu của chuyển động hạt trong dòng lưu động khí-hạt đó là: thời gian chuyển động của hạt trong thiết bị (ống) sấy, tốc độ tương đối giữa hạt và khí, chiều dài đoạn tăng tốc v.v. Đó là các thông số quan trọng để tính thiết kế máy sấy dòng lưu động khí-hạt. Việc tích phân hai phương trình trên gặp khó khăn lớn bởi hệ số trở lực chính diện ξ_c là hàm số có nhiều biến số.

Quan sát chuyển động của hạt từ cửa nạp liệu cho đến cửa ra ta thấy có giai đoạn tăng tốc, giai đoạn ổn định và sau cùng là lắng ở thiết bị thu hồi sản phẩm. Tại cửa nạp, hạt được đưa vào dòng khí đang chuyển động với vận tốc lớn hơn vận tốc lắng của hạt, nên hạt bị cuốn theo dòng khí (tác nhân sấy). Tùy chiều và độ lớn của vận tốc hạt (W) và dòng khí (W_K) mà hạt chuyển động nhanh thêm hay chậm lại. Trở

lực khí động học và vận tốc tương đối giữa khí và hạt có giá trị lớn nhất tại cửa nạp, chúng giảm dần với sự tăng dần của vận tốc hạt. Đến khi nào các lực tác dụng lên hạt là cân bằng thì hạt sẽ chuyển động đều ở điều kiện vận tốc tương đối giữa khí với hạt bằng vận tốc lắng.

Chuyển động của nhiều hạt trong dòng lưu động khí-hạt phức tạp hơn nhiều. Các hạt có trọng lượng và hình dạng, kích thước khác nhau sẽ chuyển động khác nhau. Các hạt không có dạng cầu sẽ có chuyển động xoáy, hạt nhẹ chuyển động nhanh hơn hạt nặng. Kết quả là xảy ra va đập giữa các hạt.

Đối với dòng lưu động khí-hạt trong ống thẳng đứng dễ xảy ra hiện tượng "pittông". Đó là hiện tượng các hạt được nạp vào với mật độ lớn (hệ số lưu lượng μ lớn) dẫn tới vận tốc lắng lớn lên làm các hạt đứng lại rồi nhập với nhau thành từng khối choán toàn bộ tiết diện ngang của ống. Trở lực chính diện lúc này đúng bằng trở lực của lớp hạt mà dòng khí phải đi qua. Vận tốc lắng của cả khối hạt (pittông) nhỏ hơn từ 8 đến 9 lần vận tốc lắng của từng hạt riêng lẻ. Để tránh hiện tượng tạo pittông thì nên làm ống sầy có tiết diện ngang lớn dần về phía trên đồng thời vận tốc dòng khí lấy lớn hơn vận tốc lắng theo điều kiện sau:

$$W_K = 10,5 + 0,75 W_{K1} \quad (4-183)$$

Sự chuyển động của dòng lưu động khí-hạt trong ống nằm ngang thì vận tốc dòng khí đủ lớn để tạo ra lực nâng cân bằng với trọng lượng của hạt. Tỷ số giữa vận tốc dòng khí W_K và vận tốc hạt W gọi là hệ số trượt, ký hiệu là i_t sao cho đạt giá trị sau:

$$i_t = \frac{W_K}{W} = 1,1 \div 1,7$$

Công thức thực nghiệm để tính i_t đối với dòng lưu động trong ống sầy nằm ngang như sau:

$$i_t = 1 + c \left(\frac{\rho}{\rho_K} - 1 \right)^{0,667} \left(\frac{d}{D} \right)^{0,667} \left(1 + \frac{200}{Fr + Fr_{th}} \right) \quad (4-184)$$

trong đó:

ρ, ρ_K - khối lượng riêng của hạt, khí kg/m^3 ;

d, D - đường kính hạt, đường kính ống, m;

$c = 0,014 \div 0,026$ là hệ số phụ thuộc dạng hạt;

$Fr, Fr_{t,h}$ - chuẩn số Phrud thường, lúc tới hạn được tính theo W_K

và $W_{K,th}$.

Giá trị của W_K lấy nhỏ nhất mà không xảy ra lắng hạt. $W_{K,th}$ được tính như sau:

$$W_{K,th} = 5,6 D^{0,34} d^{0,36} \left(\frac{\rho}{\rho_K} \right)^{0,5} \mu^{0,25} \quad (4-185)$$

Khi dòng lưu động khí-hạt đi trong đoạn ống cong thì có sự tham gia của lực ma sát giữa các hạt với nhau và với thành ống, lực ly tâm. Trong trường hợp này tốc độ tiếp tuyến của hạt đối với cung tròn có bán kính R được tính phụ thuộc tốc độ W_K và tỷ số trượt như sau:

-Với $W_K \leq 20 \text{ m/s}$ thì:

$$i_t = 1 + 0,165 \left(\frac{\rho}{\rho_K} \frac{d}{R} \right)^{0,5} Re^{-0,163} Fr^{0,27} \quad (4-186)$$

- $W_K > 20 \text{ m/s}$ thì:

$$i_t = 1 + 0,095 \left(\frac{\rho}{\rho_K} \right)^{0,5} \left(\frac{d}{R} \right)^{0,112} \quad (4-187)$$

Đối với buồng sấy có dạng xyclon hay xoáy ốc thì chuyển động của dòng lưu động khí-hạt còn phức tạp hơn so với đoạn ống cong. Vì trong trường hợp này còn có thêm nhiều thông số ảnh hưởng khác nữa như: mật độ lưu lượng μ , dạng và kích thước của buồng sấy, vận tốc dòng khí-hạt từ cửa vào buồng sấy. Khi mức độ xoáy thấp thì dòng lưu động khí-hạt đi vào phía trên buồng sấy, các hạt sẽ rơi xuống vùng xoáy của ra ở tâm rồi đi ra ngoài. Khi mức độ xoáy cao thì các hạt sẽ xoáy trong không gian hình vành trụ. Dưới tác dụng của lực ly tâm nên

các hạt có xu hướng dạt ra thành thiết bị (buồng sấy). Nhờ liên tục nạp mới dòng hạt nên các hạt ở vùng xoáy cũng tập trung ở vùng tâm rồi theo cửa ra ngoài. Như vậy ta thấy với buồng sấy dạng xyclon thì hạt không lắng trong xyclon mà trong đó xảy ra quá trình sấy các hạt trong dòng lưu động.

Vận tốc dòng khí làm thay đổi chế độ khí động có thể tính theo phương trình thực nghiệm sau đây:

$$Re_{t,h} = 0.29 \left(\frac{D}{h} \right)^{0.64} \left(\frac{D}{d} \right)^{1.13} Ar^{0.6} \quad (4-188)$$

trong đó:

h - chiều cao cửa vào xyclon, m;

d - đường kính hạt, m;

D - đường kính thiết bị xoáy (xyclon), m;

Ar - số Archimedes;

$Re_{t,h}$ - chuẩn số Reynold tới hạn.

Tỷ số giữa khối lượng các hạt đang xoáy trong thiết bị và lưu lượng dòng lưu động chảy qua thiết bị được gọi là khả năng kéo dẫn, ký hiệu là q_d :

$$q_d = A \cdot 10^{-3} G_K \frac{W_{K,o}^2}{2} D^{-0.55} n^{0.15} \quad (4-189)$$

$$q_d = q_{d,th} \left[1 + B \left(\frac{W_{K,o}}{W_{K,th}} \right)^{-2.5} \mu \left(\frac{W_{K,o}}{W_{K,th}} \right)^{-1} \right] \quad (4-190)$$

trong đó:

A, B các hệ số. $A \approx 3$ đối với các hạt có độ rời cao;

$A = 1,45 \div 3$ các hạt có độ rời nhỏ;

$B = 0,7 \div 0,9$. $B \approx 1,15$ với các hạt không có dạng cầu nhưng gần dạng cầu;

$W_{K,o}$ - tốc độ của dòng khí tại cửa vào, m/s;

$W_{k.th}$ - tốc độ tới hạn của dòng khí, m/s;

n -số cửa vào xyclon (buồng sấy dạng xyclon).

Các tốc độ $W_{k.o}$, $W_{k.th}$ đều tính từ phương trình chuẩn số Reynold đã biết sau khi tính được R_e từ (4-188);

G_k lưu lượng khí chảy qua thiết bị, kg/s.

Trong thiết bị sấy phun, các hạt dung dịch được phun vào buồng sấy nhờ các vòi phun hoặc đĩa văng, tác nhân sấy được thổi vào theo phương tiếp tuyến, từ trên xuống hoặc ngược lại. Các hạt dung dịch vừa chuyển động theo phương thẳng đứng vừa theo phương hướng kính. Vận tốc tuyệt đối của các hạt dung dịch là W được tính như sau:

$$W_k = \sqrt{W_{h.k}^2 + W_t^2}, \text{ (m/s)} \quad (4-191)$$

trong đó $W_{h.k}$, W_t là vận tốc của hạt dung dịch theo hướng kính, thẳng đứng m/s.

$W_{h.k}$, W_t được tính theo các điều kiện (4-181), (4-182).

Trở lực khí động của dòng lưu động khí-hạt chảy trong các ống hay thiết bị sấy được tính như sau:

$$\Delta P = \Delta P_k + \Delta P_h \quad (4-192)$$

trong đó:

ΔP_k - trở lực của dòng khí (tác nhân sấy);

ΔP_h - trở lực của dòng hạt (vật sấy).

$$\Delta P_k = \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3 \quad (4-193)$$

trong đó:

ΔP_1 - Tổn thất trở lực do ma sát;

ΔP_2 - Tổn thất trở lực cục bộ;

ΔP_3 - áp suất tĩnh của cột khí (tác nhân sấy), ΔP_3 dương khi cửa vào ở trên và ngược lại nó có dấu âm.

$$\Delta P_k = (1 - x') \rho_k \left[\left(\lambda \frac{L}{D} + \sum \xi \right) \frac{W_k^2}{2} \pm gL \right] \quad (4-194)$$

trong đó:

ρ_K - khối lượng riêng của khí, kg/m^3 ;

x' - nồng độ thể tích;

λ - hệ số ma sát của thành ống, thiết bị.

$\lambda = 0,0052 + 0,5Re^{-0,32}$ với ống trơn và chế độ chảy có

$Re = (3 \cdot 10^3 \div 3 \cdot 10^6)$, ta có thể tra bảng để tìm λ .

D, L - đường kính, chiều dài ống, thiết bị sấy, m;

ξ - trở lực cục bộ, tra bảng;

W_K - vận tốc dòng khí đi trong ống, thiết bị, m/s;

g - gia tốc trọng trường, m/s^2 ;

L - chiều dài hoặc chiều cao ống, buồng sấy, m.

$$\Delta P_h = \Delta P_4 + \Delta P_5 + \Delta P_6 + \Delta P_7 + \Delta P_8 \quad (4-195)$$

trong đó ΔP_4 là tổn thất áp suất do ma sát giữa các hạt với nhau, giữa các hạt với thành ống hay thiết bị, giữa các hạt với khí:

$$\Delta P_4 = \lambda' \frac{L}{D} x' \frac{\rho \cdot W^2}{2} \quad (4-196)$$

$$\lambda' = 27 Fr^{-0,75} - \text{với } \frac{D}{d} > (20 \div 25)$$

trong đó: d - đường kính hạt, m

$$\lambda' = 4,25 \left(\frac{D}{d} \right)^{0,5} Fr^{-0,75} - \text{với } \frac{D}{d} < (20 \div 25)$$

ΔP_5 là tổn thất áp suất để cân bằng trọng lượng của các hạt:

$$\Delta P_5 = \rho \cdot x' \cdot g \cdot L \quad (4-197)$$

$\Delta P_6, \Delta P_7$ - tổn thất động học và tĩnh học trong đoạn tăng tốc (đoạn ống sát với của nạp liệu).

$$\Delta P_6 = \frac{(\rho - \rho_K) m}{\rho \cdot F_0} \frac{W_{K1}^2}{2} \ln \frac{(W_c - W_K - W_{K1})(W_d - W_K + W_{K1})}{(W_c - W_K + W_{K1})(W_d - W_K - W_{K1})} \quad (4-198)$$

$$\Delta P_7 = \frac{m}{F_0} (W_c - W_d) \quad (4-199)$$

trong đó:

ρ, ρ_k - khối lượng riêng của hạt, khí kg/m^3 ;

F_0 - diện tích tiết diện cuối miệng đoạn tăng tốc, m^2 ;

m - khối lượng hạt kg/s ;

W_k - vận tốc dòng khí ở trước ống tăng tốc, m/s ;

W_c, W_d - vận tốc hạt ở cuối, đầu ống tăng tốc, m/s ;

$W_{k,l}$ - vận tốc lắng của hạt, m/s ;

ΔP_8 - tổn thất áp suất tại các trở lực cục bộ do hiện diện của các hạt trong dòng khí:

$$\Delta P_8 = \lambda_c \frac{\rho W^2}{2} \quad (4-199)$$

trong đó:

λ_c - hệ số ma sát của hạt lên thành ống.

Đối với đoạn ống có đường kính D và cong với bán kính $R \geq 2,5D$ thì ta có:

$$\lambda_c = a \cdot \rho \cdot Fr^{-0.75} \quad (4-200)$$

trong đó:

Fr - chuẩn số Phrud;

a - là hệ số dạng cút cong và vị trí của nó trong hệ thống.

Trường hợp dòng chảy thay đổi từ phương thẳng đứng sang phương ngang thì:

$$a = 6,9 \left(\frac{D}{R} \right)^{0.5}$$

Nếu dòng chảy từ phương ngang chuyển thành phương thẳng đứng thì:

$$a = 4,1 \left(\frac{D}{R} \right)^{0,5}$$

trong đó: D, R là đường kính ống, bán kính uốn ống, m

Chiều dài của đoạn ống tăng tốc có thể tính như sau:

$$L_t = \frac{W_K}{2g} \left[(W_K - W_{K,1}) \ln \frac{W_c - W_K - W_{K,1}}{W_d - W_K - W_{K,1}} - (W_K - W_{K,1}) \ln \frac{W_c - W_K + W_{K,1}}{W_d - W_K + W_{K,1}} \right] \quad (4-201)$$

$$W_c = 0,95 (W_K - W_{K,1})$$

Để tính trở lực khí động của dòng lưu động khí-hạt trong thiết bị xyclon ta dùng biểu thức sau:

$$\Delta P_K = \lambda \frac{L}{D} (1 - x') \frac{\rho_K \cdot W_K^2}{2} \quad (4-202)$$

$$\Delta P_h = \rho \cdot x' L \frac{W^2}{R} \quad (4-203)$$

Với $Re = (3 \cdot 10^4 \div 1,3 \cdot 10^5)$ thì $\lambda = 0,0815 Re^{-0,13}$.

D, R - đường kính, bán kính của xyclon, m;

λ - hệ số ma sát của thành xyclon;

L - chiều dài xyclon, m.

Trở lực khí động của buồng sấy dạng xoáy lốc được tính phụ thuộc vào hệ số trở lực cục bộ tính theo vận tốc ở cửa vào:

Hệ số trở lực khi không tải:

$$\xi = 10,9 \left(\frac{\sum h}{D} \right) \left(\frac{b}{D} \right)^{0,5} \left(\frac{D_o}{D} \right)^{-2,3} \quad (4-204)$$

Khi có tải:

$$\xi = (1 + 0,6\mu) \left(\frac{b}{D} \right)^{0,35} \left(\frac{D_o}{D} \right)^{-0,2} \left[90 \left(\frac{\sum h}{D} \right)^{1,7} + 4,4 \exp(-4,6D) \right] \quad (4-205)$$

trong đó:

h - chiều cao của rãnh xoáy, m;

b - chiều rộng của buồng xoáy, m;

D, D_0 - đường kính của vòng xoáy lớn nhất, nhỏ nhất, m.

Đối với buồng sấy phun thì trở lực của các hạt có thể bỏ qua vì nồng độ của các hạt dung dịch trong tác nhân sấy là không đáng kể. Như vậy chỉ có trở lực của dòng khí (tác nhân sấy) trong thiết bị cộng với trở lực cục bộ ở cửa vào và cửa ra.

4.6.1.3. Truyền nhiệt và chuyển khối đối với dòng lưu động khí-hạt

Quá trình truyền nhiệt và chuyển khối trong sấy dòng lưu động khí-hạt xảy ra giữa bề mặt các hạt và tác nhân sấy (cũng là dòng khí vận chuyển hạt). Quá trình truyền nhiệt và chuyển khối có cường độ lớn nhất ở vùng từ $(2 \div 4)$ m đầu tiên của thiết bị (ống) sấy tính từ cửa nạp liệu, vì trong khoảng này tốc độ tương đối của tác nhân sấy so với tốc độ hạt là lớn nhất. Cường độ truyền nhiệt và chuyển khối giảm dần theo chiều dài của thiết bị. Ở khoảng cách từ $(8 \div 10)$ m tính từ cửa nạp liệu thì nhiệt độ và hàm ẩm của hạt đạt giá trị ổn định.

Để tính toán truyền nhiệt trong buồng sấy dòng lưu động khí-hạt, ta dựa vào các phương trình chuẩn số.

Hệ số toả nhiệt α từ tác nhân sấy cho bề mặt các hạt được tính như sau:

$$\alpha = \frac{Nu \lambda_K}{d}, \text{ (kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{độ)}. \quad (4-206)$$

trong đó:

λ_K - hệ số dẫn nhiệt của tác nhân sấy, kcal/m.h.độ;

d - đường kính của hạt hình cầu; nếu các hạt khác hình cầu thì lấy đường kính tương đương, d_{td} , m.

$$d_{td} = \sqrt[3]{\frac{6V_h}{\pi}}, \text{ (m)} \quad (4-207)$$

trong đó V_b - thể tích của hạt không dạng cầu, m^3 .

Nếu các hạt có nhiều dạng khác nhau thì đường kính d được thay bằng đường kính trung bình d_{tb} :

$$d_{tb} = \frac{\sum d_i^3 n_i}{\sum d_i^2 n_i}, (m) \quad (4-208)$$

trong đó:

d_i - đường kính trung bình của nhóm hạt thứ i , ($i = 1; 2 \dots$);

n_i - là số hạt của nhóm thứ i .

Chuẩn số Nusselt được tính như sau:

$$Nu = 2 + 0,51 Re^{0,52} Pr^{0,33} \quad (4-209)$$

trong đó: Re - chuẩn số Reynold tính theo vận tốc lắng $W_{K.L}$ nên thành Re_l :

$$Re_l = \frac{W_{K.L} d}{\nu_K} \quad (4-210)$$

trong đó:

$W_{K.L}$ - vận tốc dòng khí làm các hạt lắng, m/s ;

ν_K - độ nhớt động của tác nhân sấy lấy theo nhiệt độ trung bình khi vào và ra khỏi buồng (ống) sấy, m^2/s ;

d - đường kính hạt hình cầu, m , nếu không cầu thì lấy d_{td} , nhiều dạng hạt thì lấy d_{tb} , m .

$$W_{K.L} = \frac{1}{18} \cdot \frac{gd^2}{\nu_K} \cdot \frac{\rho - \rho_K}{\rho_K}, (m/s) \quad (4-211)$$

trong đó:

g - gia tốc trọng trường, m/s^2 ;

ρ, ρ_K - khối lượng riêng của hạt, của khí (tác nhân sấy), kg/m^3 ;

ρ_K - lấy theo nhiệt độ trung bình của tác nhân sấy;

Pr - chuẩn số Prant:

$$Pr = \frac{v_k}{a} \quad (4-212)$$

trong đó a là số dẫn nhiệt của tác nhân sấy .

Diện tích bề mặt truyền nhiệt đúng bằng diện tích bề mặt của các hạt, ký hiệu là F_h ;

$$F_h = \frac{6m}{d \cdot \rho}, \text{ (m}^2\text{/h)} \quad (4-213)$$

trong đó:

m - năng suất sấy lấy theo sản phẩm ($m=m_2$), kg/h;

d - đường kính hạt cầu, m. (hoặc d_{td} , d_{tb});

ρ - khối lượng riêng của hạt, kg/m³.

Thời gian sấy là τ được tính như sau:

$$\tau = \frac{3600Q}{\alpha \cdot F_h \cdot \Delta t}, \text{ (s)} \quad (4-214)$$

trong đó:

Δt - hiệu nhiệt độ trung bình giữa tác nhân sấy và hạt, độ;

Q - nhiệt lượng mà tác nhân sấy truyền cho các hạt, kcal/h.

Nhiệt lượng Q đúng bằng nhiệt lượng làm lượng ẩm ΔU bay hơi và làm nóng khối hạt.

Từ vận tốc lắng $W_{K,1}$ ta tính được vận tốc tác nhân sấy là W_K như sau:

$$W_K = 1,25 W_{K,1}, \text{ (m/s)} \quad (4-215)$$

$$\text{hay } W_K = 10,5 + 0,57 W_{K,1}, \text{ (m/s)}, \quad (4-216)$$

Chiều dài buồng (ống) sấy là L_1 :

$$L_1 = (W_K - W_{K,1}) \tau, \text{ (m)} \quad (4-217)$$

Chiều dài tổng cộng của ống sấy là L :

$$L = L_1 + L_2, \text{ (m)} \quad (4-218)$$

trong đó

$$L_2 = 0,5 W_K \cdot d, \text{ (m)} \quad (4-219)$$

L_2 - là chiều dài bổ sung, m.

Đường kính ống sấy được tính như sau:

$$D = \sqrt{\frac{V_K}{0,785 W_K}} \quad (4-220)$$

trong đó:

V_K - lưu lượng tác nhân sấy, m^3/s .

Lưu lượng tác nhân sấy được tính từ chu trình sấy thực dụng trên đồ thị $I-d$ của không khí ẩm. Nhiệt độ lưu lượng trong sấy dòng lưu động nói chung là nhỏ: $\mu = 1 \text{ kg/kg}$.

Để tính toán buồng sấy dòng lưu động dạng xoáy ốc, ta áp dụng các phương trình sau:

- Đối với chế độ trên tới hạn:

$$Nu = 0,047 Ar^{-0,1} \left(\frac{D}{d} \right)^{-0,3} \left(\frac{h}{d} \right)^{0,15} \left(\frac{q_d}{q_{d,th}} \right)^{-0,16} \quad (4-221)$$

- Đối với chế độ dưới tới hạn:

$$Nu = 0,019 Re^{0,25} Ar^{0,35} \left(\frac{D}{d} \right)^{-0,1} \left(\frac{h}{d} \right)^{-0,1} \quad (4-222)$$

trong đó:

q_d và $q_{d,th}$ được tính từ (4-189) và (4-190);

Ar - chuẩn số Archimédés;

d, D - đường kính hạt, đường kính thiết bị xoáy (xyclon), m;

h - chiều cao cửa vào, m;

Re - chuẩn số Reynold.

Để tính nhiệt trong sấy dòng lưu động khí-hạt ta cũng có thể

dùng hệ số toả nhiệt theo thể tích buồng sấy là α_v :

$$\alpha_v = a_t \cdot \alpha \cdot x', \text{ (kcal/m}^3 \cdot \text{h} \cdot \text{độ)} \quad (4-223)$$

trong đó:

a_t - bề mặt riêng theo thể tích của hạt, m^2/m^3 ;

α - hệ số toả nhiệt, tính thông qua phương trình chuẩn số Nu , $\text{kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{độ}$;

x' - nồng độ khối lượng xem (4-167).

Đối với sấy phun dòng ngược chiều thì Nu để tính α và sau đó là α_v tính theo phương trình sau:

$$Nu = 5,688 \frac{m_2}{\rho_K F (W_{K,l} \pm W_K)^{0,8}} d_{tb}^{0,4} \quad (4-224)$$

trong đó:

m_2 - năng suất sấy tính theo sản phẩm, kg/s ;

ρ_K - khối lượng riêng của tác nhân sấy, kg/m^3 ;

F - diện tích tiết diện ngang của buồng sấy, m^2 ;

d_{tb} - đường kính trung bình của nhiều hạt, xem (4-208), m ;

$W_{K,l}$ - vận tốc dòng khí khi các hạt lắng, m/s ;

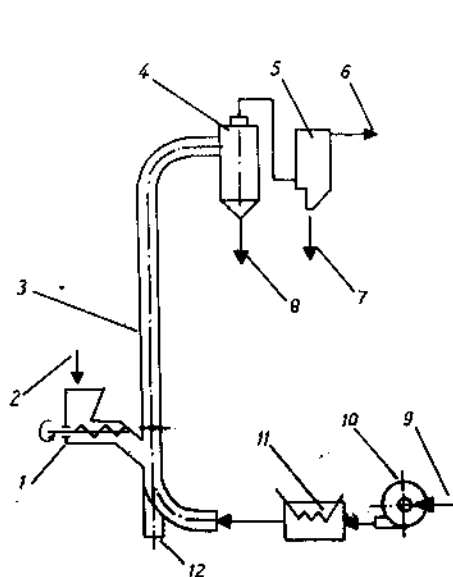
W_K - tốc độ khí lớn hơn hoặc nhỏ hơn $W_{K,l}$, m/s .

4.6.2. Các hệ thống sấy dòng lưu động dạng ống, xyclon, xoáy lốc

Dựa vào những tính toán đã nêu ở trên, người ta thiết kế và chế tạo các hệ thống sấy dòng lưu động khí-hạt. Chúng được dùng để sấy các vật liệu dạng hạt, các loại hạt, tinh bột, các chế phẩm sinh học v.v.

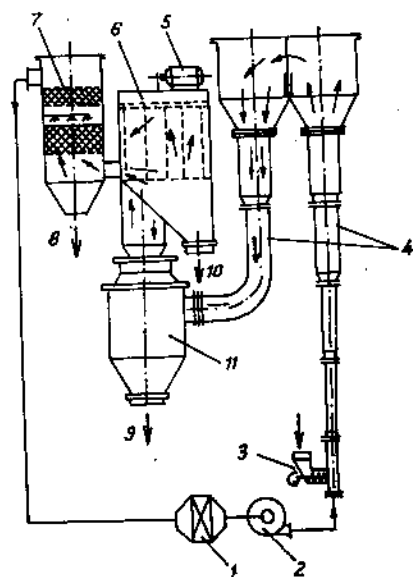
Đặc điểm chính của quá trình sấy dòng lưu động là các vật liệu sấy lưu lại trong buồng sấy ngắn (thời gian sấy ngắn) nên hàm ẩm của chúng thay đổi không nhiều. Lượng ẩm bay hơi trong buồng sấy chủ yếu là ẩm tự do trên bề mặt các vật sấy. Thời gian sấy ngắn cho phép sử dụng tác nhân sấy có nhiệt độ cao ngay cả với vật sấy có tính chịu nhiệt kém.

Hệ thống sấy lưu động có buồng sấy dạng ống thường đặt thẳng đứng. Tác nhân sấy và vật liệu sấy cùng chuyển động từ dưới lên. Lượng vật liệu sấy và tác nhân sấy có trong ống sấy không nhiều vì vậy ống sấy còn được dùng để sấy các vật liệu dễ cháy nổ. Ống sấy được dùng để nung nóng hạt trong các hệ thống sấy tháp hay sấy tầng sôi. Khi đó nó chỉ là một bộ phận của hệ thống sấy tháp hoặc sấy tầng sôi (hình 4-54). Trước buồng sấy có cửa nạp vật liệu sấy, sau buồng sấy có bộ phận thu hồi sản phẩm và làm sạch khí thải. Bộ phận tạo ra tác nhân sấy (không khí nóng hay khói lò) và hệ thống quạt cũng có cấu tạo tương tự như trong các hệ thống sấy khác.



Hình 4-77. Hệ thống sấy lưu động dạng ống

- 1- bộ phận nạp liệu; 2- vật liệu sấy; 3- ống sấy; 4- xyclon; 5- lọc túi; 6- khí thải; 7- sản phẩm nhẹ hoặc bụi; 8- sản phẩm sấy; 9- không khí; 10- quạt; 11- caloriphe; 12- cửa thông



Hình 4-78. Hệ thống sấy dòng lưu động dạng ống có tiết diện thay đổi.

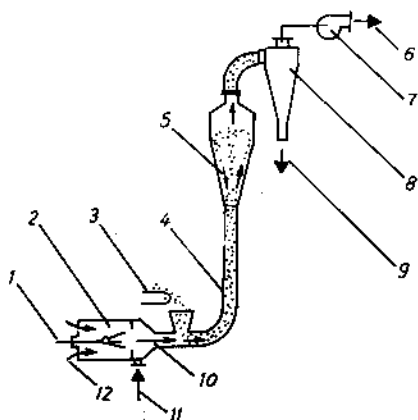
- 1- caloriphe; 2- quạt; 3- bộ phận nạp liệu; 4- buồng sấy dạng ống; 5- động cơ rũ bụi từ lọc túi; 6- lọc túi; 7- rửa sạch khí thải; 8- chất thải; 9- cửa lấy sản phẩm; 10- cửa xả bụi hoặc lấy sản phẩm nhẹ; 11- xyclon.

Cấu tạo cụ thể của các hệ thống sấy dòng lưu động rất đa dạng, tùy thuộc vào tính chất chế biến của các sản phẩm.

Hình 4-77 thể hiện cấu tạo của hệ thống sấy dòng lưu động dạng ống đơn giản. Trên hình ta thấy: Buồng sấy 3 là một ống thẳng đứng. Không khí ngoài trời được quạt 10 hút rồi đẩy qua Calorriphe 11 để tạo thành tác nhân sấy liên tục thổi vào ống sấy 3. Vận tốc tác nhân sấy đi trong ống phải lớn hơn vận tốc lơ lửng của hạt ($W_K > W_{K,l}$) để vừa sấy vừa đẩy các hạt lên xyclon 4. Vật liệu sấy dạng hạt được bộ phận nạp liệu dạng vít tải (có thể dùng cơ cấu khác như rôto, cánh quạt v.v) liên tục cấp vào ống sấy. Sản phẩm sấy chủ yếu được lấy ra ở đáy xyclon 4, các mảnh vỡ nhỏ hơn được thu hồi ở bộ phận lọc túi 5. Vì lý do nào đó các hạt bị bác cầu và tắc ống ngay đoạn nạp liệu của ống sấy thì ta mở cửa 12 để thông.

Nhược điểm của hệ thống sấy như hình 4-77 là cường độ sấy không cao, vì dòng hạt và dòng tác nhân sấy tuy có vận tốc khác nhau nhưng ổn định. Sự sáo trộn giữa dòng hạt và dòng tác nhân sấy càng lớn thì cường độ sấy càng cao. Để tạo ra xáo trộn giữa khí và hạt tăng lên (vận tốc tương đối giữa khí và hạt lớn lên) người ta chế tạo buồng (ống) sấy có tiết diện thay đổi (hình 4-78).

Hình 4-79 biểu diễn hệ thống sấy dòng lưu động khí-hạt với buồng sấy có tiết diện ngang lớn nhỏ khác nhau. Thực chất là sự kết hợp giữa

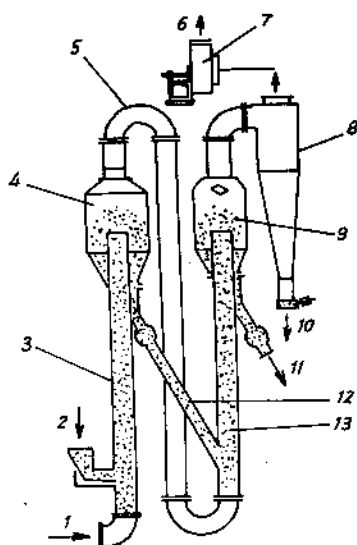


Hình 4-79. Hệ thống sấy dòng lưu động có buồng sấy thay đổi

- 1- khí đốt; 2- buồng đốt+ 3- băng tải nạp vật sấy; 4- ống sấy; 5- buồng sấy tầng sôi tuần hoàn; 6- khí thải; 7- quạt; 8- xyclon; 9- sản phẩm sấy; 10- tác nhân sấy là khói lò; 11, 12- không khí.

ống sấy và buồng sấy tầng sôi tuần hoàn. Tác nhân sấy là khói lò (có bổ sung không khí để điều chỉnh nhiệt độ và độ ẩm). Vật liệu sấy dạng hạt cho phép tiếp xúc trực tiếp với khói lò (tác nhân sấy). Trong ống 4 chủ yếu là quá trình nung nóng vật sấy và làm bay hơi ẩm bề mặt. Trong buồng 5 cho vận tốc giảm dần nên xảy ra quá trình sấy tầng sôi tuần hoàn. Khi các hạt đã khô thì chúng bị cuốn sang xyclon rồi tháo ra ngoài thành sản phẩm sấy. Tác nhân sấy sử dụng một lần rồi thải ra ngoài (cần làm sạch trước khi thải).

Đối với các vật sấy có trở lực dẫn ẩm bên trong lớn (khó truyền ẩm từ bên trong ra bề mặt hạt), nên sử dụng hệ thống sấy dòng lưu động dạng ống nhiều cấp được thể hiện ở hình 4-80. Trong ống sấy 3 chủ yếu làm nóng hạt và bay hơi ẩm tự do ở bề mặt các hạt. Do vận tốc dòng khí giảm nên hạt bị lắng ở buồng 4 rồi theo ống 12 chảy sang ống sấy 13 và gặp tại tác nhân sấy. Từ buồng 4 và trong ống 12 là thời gian để ẩm từ trong truyền ra bề mặt hạt rồi bay hơi trong ống sấy 13. Sản phẩm sấy được lắng ở buồng 9 và đi ra ngoài qua cơ cấu tháo sản phẩm. Bụi hoặc sản phẩm dạng bụi sẽ lắng ở xyclon 8. Khí thải sạch được quạt hút và đẩy ra ngoài.



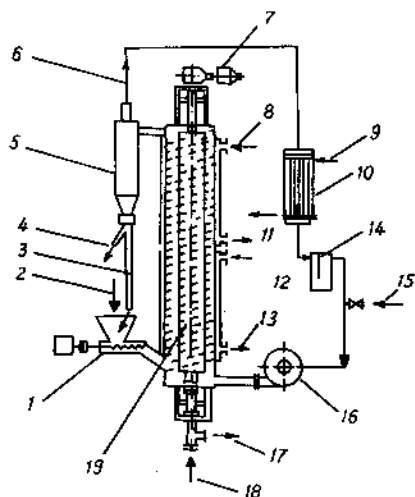
Hình 4-80. Buồng sấy dạng ống nhiều cấp

- 1- tác nhân sấy từ caloriphe hoặc lò đốt tới; 2- vật liệu sấy dạng hạt;
- 3- ống sấy thứ nhất; 4- buồng lắng thứ nhất; 5- ống dẫn tác nhân sấy;
- 6- khí thải; 7- quạt; 8- xyclon;
- 9- buồng lắng thứ hai; 10- bụi hoặc sản phẩm dạng bụi; 11- sản phẩm sấy;
- 12- ống dẫn hạt; 13- ống sấy thứ hai.

Trên hình 4-81 ta thấy, buồng sấy có cấu tạo gồm hình trụ hai vỏ. Mặt trong của vỏ là bề mặt truyền nhiệt cho các hạt và cả dòng khí trợ vận chuyển hạt. Bên trong vỏ có vít vô tận, đỉnh cánh vít sát với mặt trong của vỏ. Như vậy đã tạo thành rãnh xoáy dạng vít vô tận. Dòng lưu động khí trợ-hạt chảy trong rãnh xoáy đó từ dưới lên trên. Trong quá trình chuyển động như vậy, các hạt liên tục đập vào bề mặt nóng của vỏ. Các hạt nóng lên và xảy ra quá trình sấy tiếp xúc và đối lưu. Nhờ vậy cường độ sấy trong trường hợp này khá cao. Sản phẩm được thu hồi nhờ xyclon 5. Một lượng hạt khô được tuần hoàn và trộn với các hạt ẩm nạp vào buồng sấy nhằm tăng cường quá trình sấy. Khí thải (gồm khí trợ + hơi nước) được đưa qua thiết bị trao đổi nhiệt 10 để làm mát và tách nước để tái sử dụng.

Nhược điểm của hệ thống này là có cấu tạo phức tạp, khó làm sạch bề mặt trong của vỏ (bề mặt trao đổi nhiệt) nhất là các vật sấy có độ dính kết cao, tổn thất trở lực lớn.

Hình 4-82 là cấu tạo của buồng sấy dòng lưu động dạng xoáy

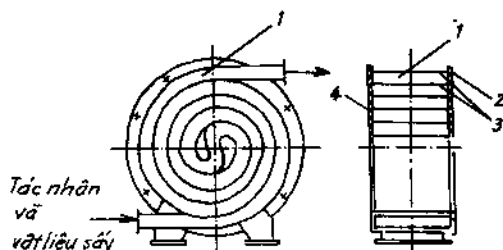


Hình 4-81. Hệ thống sấy lưu động với buồng sấy dạng kênh vít xoắn

- 1- máy nạp liệu (vật sấy); 2- vật sấy ẩm;
- 3- vật sấy đã khô (sản phẩm) tuần hoàn;
- 4- sản phẩm; 5- xyclon; 6- khí thải; 7- động cơ quay bộ phận làm sạch bên trong buồng sấy;
- 8, 12- hơi nước nóng; 11, 13- nước ngưng;
- 9- nước làm mát khí thải; 10- thiết bị ngưng hơi nước từ dòng khí thải; 14- cốc tách nước;
- 15- khí trợ bổ sung; 16- quạt; 17, 18- nước rửa bên trong buồng sấy; 19- buồng sấy.

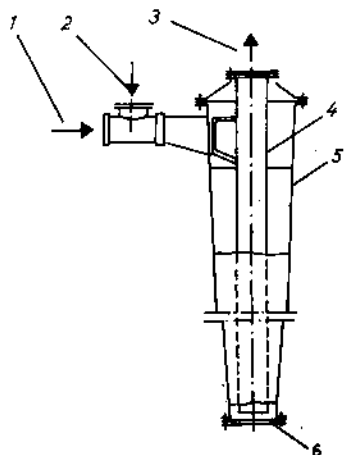
lốc. Dòng khí-hạt đi vào rãnh xoáy ngược chiều kim đồng hồ rồi đi ra theo chiều kim đồng hồ. Dòng khí mang hạt đồng thời là tác nhân sấy, nó có thể là không khí nóng hoặc khói lò tùy vào sản phẩm sấy yêu cầu. Lắp buồng sấy này với caloriphe hoặc buồng đốt, hệ thống quạt, xyclon, bộ phận làm sạch khí thải, bộ phận nạp liệu và tháo sản phẩm ta sẽ có hệ thống sấy dòng lưu động dạng xoáy lốc. Hệ thống sấy này có trở lực nhỏ và năng suất cũng không lớn (lưu lượng tác nhân sấy cao nhất là 7 (kg/s), và hệ số lưu lượng là $\mu = 1$ (kg/kg)).

Ngoài ra còn có buồng sấy dòng lưu động dạng xyclon. Cấu tạo của buồng sấy này cũng giống như xyclon dùng để lắng và thu hồi sản phẩm hoặc bụi, nhưng trong buồng sấy dòng lưu động này thì cả vật sấy (các hạt) và tác nhân sấy liên tục xoáy rồi theo ống tâm ra ngoài rồi mới tới xyclon lắng. Buồng sấy dạng xyclon có chiều dài lớn hơn chiều dài của xyclon lắng, tiết diện hình vành khuyên giữa ống trung tâm và



Hình 4-82. Buồng sấy dòng lưu động dạng xoáy lốc

1- rãnh xoáy; 2,4- hai nắp; 3- hai băng thép cuộn thành hình xoáy lốc



Hình 4-83. Buồng sấy dạng xyclon

1- tác nhân sấy; 2- vật sấy dạng hạt; 3- sản phẩm sấy và khí thải; 4- ống tâm; 5- vỏ; 6- nắp đáy khử tắc nếu có.

vỏ hẹp hơn so với xyclon lỏng (hình 4-83). Lắp buồng sấy xyclon với hệ thống quạt, xyclon lỏng, caloriphe hoặc buồng đốt, cơ cấu tháo sản phẩm và nạp liệu ta sẽ có hệ thống sấy dòng lưu động dạng xyclon.

4.6.3. Các hệ thống sấy phun

Hệ thống sấy phun gồm có buồng sấy phun, bộ phận nạp liệu là những vòi hoặc cơ cấu phun, hệ thống quạt, caloriphe để cấp nhiệt cho tác nhân sấy, bộ phận thu hồi sản phẩm sấy.

Hệ thống sấy phun dùng để sấy các dung dịch, huyền phù, kem phân tán. Trong công nghiệp chế biến thực phẩm, hệ thống sấy phun dùng để sấy dung dịch sữa đã tách bơ thành sữa bột, lòng đỏ trứng gà, cà phê hoà tan, nước quả ép các loại, nấm men, vitamin v.v.

Nhờ các bộ phận phun mà nguyên liệu sấy được phun thành những hạt rất nhỏ vào dòng tác nhân sấy đi trong buồng sấy làm tăng sự tiếp xúc giữa hai pha. Nhờ vậy mà cường độ sấy rất cao, thời gian sấy ngắn, sử dụng tác nhân sấy có nhiệt độ cao. Sản phẩm sấy phun có chất lượng cao, xốp, dễ hoà tan, tiện cho sử dụng và chế biến. Để đảm bảo chọn lựa các thông số chế độ sấy (năng suất, kích thước hạt phun, nhiệt độ sấy, thời gian sấy, kích thước và dạng buồng sấy).

Hệ thống sấy phun có những nhược điểm như sau: lưu lượng tác nhân lớn, tổn kém trong khâu chuẩn bị dung dịch (nguyên liệu sấy) và hệ thống phun có giá thành cao, hệ thống có kích thước lớn, nhất là khi sử dụng tác nhân sấy có nhiệt độ thấp.

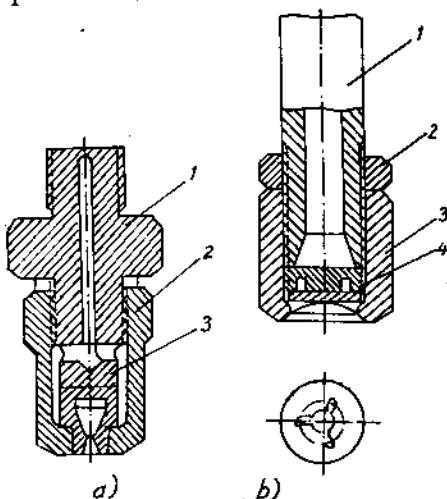
Sau đây chúng ta chỉ cập đến các bộ phận quan trọng của hệ thống sấy phun như cơ cấu phun, buồng sấy phun; các hệ thống quạt, caloriphe, xyclon thu hồi sản phẩm, lọc túi v.v, cũng tương tự như các hệ thống sấy khác. Tác nhân sấy tuyệt đối sạch, sản phẩm sấy phải được thu hồi đến mức cao nhất để tránh lãng phí và ô nhiễm môi trường. Chuẩn bị nguyên liệu sấy (dung dịch đem phun) là một công đoạn của dây truyền công nghệ chế biến thực phẩm hoặc dược phẩm v.v.

4.6.3.1. Cơ cấu và phương pháp phun

Nhiệm vụ của cơ cấu phun là phải phun dung dịch thành các hạt phân tán có kích thước đều như yêu cầu, năng suất cao, lâu mòn, dễ thay thế và giá thành phù hợp. Cơ cấu phun gồm: các vòi phun thủy lực, các loại đĩa văng, các vòi phun cơ học.

Vòi phun cơ học nói chung có cấu tạo đơn giản (hình 4-84), năng suất cao (4000kg/h trở xuống). Công phục vụ và chi phí năng lượng thấp ($2 \div 4$) kW.h/t. Vòi phun cơ học có các nhược điểm như sau: khó điều chỉnh năng suất, đòi hỏi áp suất phun cao, lỗ nhỏ nên dễ tắc. Vòi phun cơ học thường để phun các dung dịch keo, dung dịch có độ nhớt lớn, không dùng để phun các loại huyền phù, các loại kem (bột nhão).

Vòi phun có cấu tạo như hình 4-84a làm việc theo nguyên tắc: dòng chảy với tốc độ rất lớn phun vào dòng khí (tác nhân sấy), do ma sát lớn với dòng khí mà dòng (tia) lỏng bị rối tung thành các hạt rất mịn như sương. Để làm được như vậy thì áp suất dung dịch trước vòi phun bằng từ ($2 \div 20$) MPa và đường kính lỗ vòi phun phải nhỏ vào khoảng ($0,8 \div 1,5$) mm. Đường kính các hạt lỏng sau khi phun là $d = (20 \div 100) \mu\text{m}$. Độ phân tán phụ thuộc vào tính chất vật lý của dung dịch và khí (tác nhân sấy), cấu tạo của vòi phun. Độ phân tán càng cao khi tốc độ phun lớn, áp suất trước vòi phun cao, mật độ môi trường khí cao.



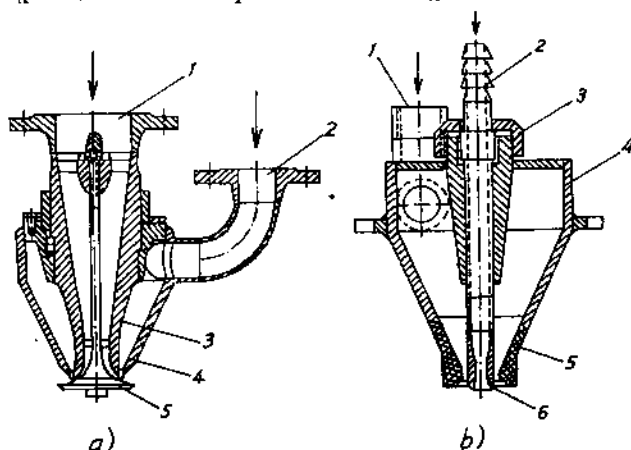
Hình 4-84. Vòi phun cơ học

a. Vòi phun thành dòng hạt: 1- kẹp nối;
2- vỏ; 3- vòi phun.

b. Vòi phun ly tâm: 1- ống dẫn; 2- đai ốc;
3- vỏ; 4- vòi phun.

Vòi phun cơ học ly tâm (hình 4-84b) có áp suất làm việc thấp ($0,2 \div 0,5$) MPa do cấu tạo của miệng vòi phun nên dung dịch chảy xoáy với vận tốc ly tâm lớn làm tung thành các hạt nhỏ. Dòng hạt phun ra có dạng hình nón với góc đỉnh bằng từ $90^\circ \div 140^\circ$.

Các vòi phun thủy lực được ứng dụng rộng rãi hơn (hình 4-85). Nguyên lý hoạt động của chúng là dòng dung dịch phun ra gặp dòng không khí hoặc hơi quá nhiệt có mật độ lớn. Do chênh lệch tốc độ mà xuất hiện lực ma sát làm cho dung dịch phân tán thành các hạt có đường kính từ $(6 \div 7) \mu\text{m}$. Vòi phun thủy lực chia làm hai loại: áp suất khí thấp $P_K \leq 0,01$ MPa và áp suất khí cao $P_K = (0,15 \div 0,7)$ MPa.



Hình 4-85. Vòi phun thủy lực

a. Cấp khí (tác nhân sấy) bằng ống trung tâm, dung dịch đi vào theo đường tiếp tuyến:

1- cửa cấp khí; 2- cửa cấp dung dịch; 3- miệng trong; 4- miệng ngoài, đĩa hình nón.

b. Cấp khí ngoài, cấp dung dịch trong: 1- cửa cấp khí; 2- cửa cấp dung dịch; 3- đai ốc;

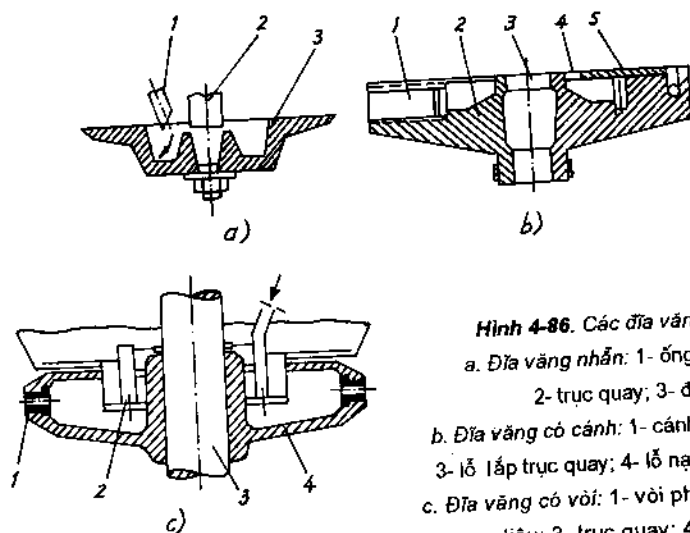
4- vỏ; 5- miệng ngoài; 6- miệng trong.

Loại thấp áp có hệ số lưu lượng là: 1kg dung dịch cần ($4 \div 10$) kg không khí (tác nhân sấy). Loại cao áp là 1kg dung dịch cần ($0,5 \div 0,7$) kg không khí (tác nhân sấy). Vòi phun thủy lực thường dùng để phun hầu hết các loại dung dịch kể cả bột nhão loãng, huyền

phù. Để dàng điều chỉnh năng suất và độ phân tán. Nhược điểm của chúng là: chi phí năng lượng cao (60 kWh/t), năng suất không cao, khi tăng năng suất lên (600 ÷ 650) kg/h có ảnh hưởng chút ít đến độ đồng đều của các hạt.

Để cấp dung dịch, huyền phù, bột, nhão loãng dưới dạng hạt nhỏ li ti vào buồng sấy phun còn có các cơ cấu đĩa văng ly tâm (hình 4-86 và hình 4-87). Nguyên tắc hoạt động của đĩa văng ly tâm như sau: dung dịch, huyền phù hay bột nhão loãng được cấp vào gần trục quay của đĩa, đĩa quay từ (4000 ÷ 20.000) vg/ph thậm chí 50.000 vg/ph. Dưới tác dụng của lực ly tâm nên nguyên liệu bị văng thành màng mỏng quanh đĩa vào môi trường tác nhân sấy trong buồng sấy với vận tốc rất lớn. Do có lực ma sát của tác nhân sấy mà nguyên liệu bị xé nhỏ thành các hạt có đường kính trung bình $d_b = (8 \div 18) \mu m$.

Để có vòng quay nhanh cho đĩa văng ta dùng tuabin khí, tuabin hơi, động cơ điện cao tốc, hoặc động cơ điện và hộp tăng tốc. Chi phí năng lượng cho đĩa văng không lớn (5 ÷ 10) kWh/t.



Hình 4-86. Các đĩa văng ly tâm

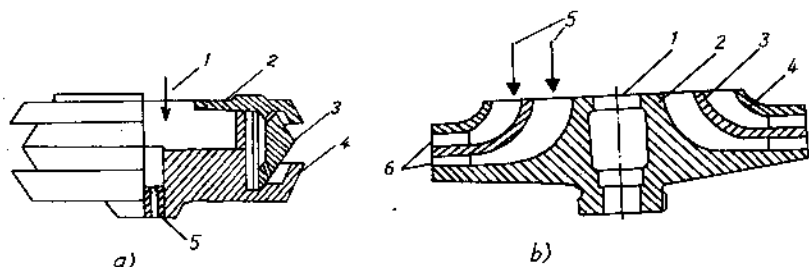
a. Đĩa văng nhẵn: 1- ống nạp liệu;

2- trục quay; 3- đĩa.

b. Đĩa văng có cánh: 1- cánh; 2- đĩa văng;

3- lỗ lắp trục quay; 4- lỗ nạp liệu; 5- nắp.

c. Đĩa văng có vòi: 1- vòi phun; 2- các ống nạp liệu; 3- trục quay; 4- đĩa văng.



Hình 4-87. Đĩa văng nhiều tầng

a. Đĩa văng nhiều tầng không cánh: 1- nguyên liệu; 2- đĩa trên; 3- đĩa giữa;
4- đĩa dưới; 5- lỗ lắp trục quay.

b. Đĩa văng nhiều tầng có cánh: 1- lỗ lắp trục; 2- đĩa dưới; 3- đĩa giữa;
4- đĩa trên; 5- nguyên liệu; 6- các cánh.

Đĩa văng có bề mặt nhẵn (hình 4-86a) có thể làm cho nguyên liệu trượt trên mặt đĩa dẫn tới tốc độ ly tâm giảm không tạo ra được các hạt nhỏ và đồng đều theo yêu cầu sấy. Để tránh hiện tượng trên người ta dùng đĩa có cánh hoặc đĩa có vôi (hình 4-86b, 4-86c). Để đáp ứng năng suất lớn người ta dùng đĩa nhiều tầng như ở hình 4-87.

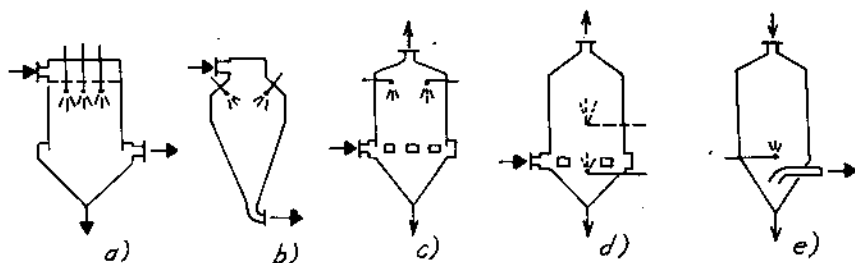
4.6.3.2. Buồng và cơ chế sấy phun

Việc bố trí cơ cấu phun, cửa cấp tác nhân sấy vào buồng sấy; hình dạng và kích thước buồng sấy; phương pháp tách sản phẩm sấy ra khỏi khí thải v.v. Có ảnh hưởng lớn đến sự hoà trộn đồng đều giữa dòng tác nhân sấy và dòng hạt vật liệu sấy; tức là ảnh hưởng lớn đến cường độ sấy, chất lượng và năng suất quá trình sấy.

Đối với các buồng sấy sử dụng vòi phun thì cách bố trí vòi phun, cửa cấp tác nhân sấy, cửa lấy sản phẩm, cửa cho khí thải được thể hiện ở hình 4-88.

Trên hình 4-88a ta thấy, dung dịch được các vòi phun thẳng từ đỉnh buồng sấy xuống, tác nhân sấy được phân đều trên toàn bộ tiết diện ngang của buồng sấy nhờ có tấm chắn đục lỗ. Tác nhân sấy có nhiệt độ cao chảy chùng lấy dòng hạt dung dịch phun ra từ

các vòi phun cùng chuyển động xuống phía dưới. Các hạt lỏng bị đốt nóng rất nhanh đến nhiệt độ bay hơi của ẩm, quá trình bay hơi xảy ra mãnh liệt. Lượng ẩm tự do bay hơi hết, nhiệt độ tác nhân sấy giảm xuống bằng nhiệt độ bay hơi.



Hình 4-88. Các buồng sấy sử dụng vòi phun

- a. Dòng tác nhân sấy và dòng hạt dụng dịch cùng chiều, sản phẩm và khí thải ra theo hai cửa riêng; b. Hai dòng cùng chiều, sản phẩm và khí thải ra cùng một cửa.
c. Hai dòng ngược chiều; d. Dòng hỗn hợp; e. Dòng hỗn hợp.

Lúc này còn lại các hạt rắn có bề mặt khô và biến thành giống như “vỏ”. Sau đó nhiệt độ bên trong hạt tăng lên bằng nhiệt độ bay hơi, làm cho ẩm bên trong bay hơi và phá vỡ lớp “vỏ” để ra ngoài. Khi đến cuối buồng sấy thì sản phẩm sấy đi ra theo cửa đáy, tác nhân sấy đi ra theo cửa bên đến xyclon và lọc túi (nếu cần). Đương nhiên cửa lấy sản phẩm phải có cơ cấu vừa lấy sản phẩm vừa không cho tác nhân sấy xì ra theo.

Ở hình 4-88b, các vòi phun hướng vào tâm buồng sấy, tác nhân sấy theo phương tiếp tuyến vào phần đỉnh rồi chảy xoáy chùm lấy dòng hạt. Sản phẩm và khí thải cùng theo cửa đáy đi ra. Phương pháp này có nhược điểm là các hạt chưa khô bị lực ly tâm làm dính vào thành buồng sấy, khi khô tạo thành lớp đáng kể, khi rơi xuống có thể làm tắc cửa ra.

Nhược điểm chung của dòng cùng chiều từ trên xuống là cần chiều cao buồng sấy lớn hơn loại khác.

Đối với dòng cùng chiều như ở hình 4-88c có thể dùng để sấy dòng hạt có kích thước lớn hơn hạt trong dòng cùng chiều. Kích thước hạt dung dịch đủ lớn để vận tốc lắng của nó lớn hơn vận tốc dòng tác nhân sấy đi ngược từ dưới lên. Dòng hạt dung dịch đi dần xuống dưới bị đốt nóng làm ẩm bay hơi. Sản phẩm ra theo cửa đáy, khí thải ra theo cửa đỉnh. Do ngược chiều và tốc độ dòng hạt chậm nên sản phẩm đạt đến độ ẩm rất thấp (khô kiệt).

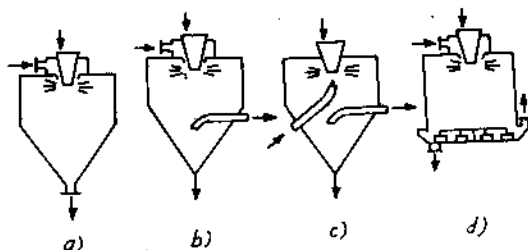
Nhược điểm của phương pháp này là có nguy cơ cho sản phẩm nếu nhiệt độ tác nhân sấy cao quá mức cho phép.

Theo phương pháp như ở hình 4-88d thì: lúc đầu dòng hạt mới phun ra chuyển động cùng chiều từ dưới lên với tác nhân sấy. Các hạt dung dịch có kích thước nhỏ bị đốt nóng nhanh hơn, ẩm bay hơi nhanh hơn, nên cả sản phẩm và khí thải theo cửa đỉnh ra ngoài để đến bộ phận thu hồi. Các hạt có kích thước lớn hơn thì: lúc đầu chuyển động cùng chiều tác nhân sấy, sau đó chậm dần rồi chuyển động ngược chiều tác nhân sấy (do vận tốc lắng lớn hơn vận tốc tác nhân sấy). Khi đã khô thì sản phẩm theo cửa đáy ra ngoài. Đối với các hạt kích thước trung bình thì có quỹ đạo chuyển động phức tạp hơn (lúc lên, lúc xuống, lúc lơ lửng). Khi khô thì theo tác nhân sấy ra cửa trên đỉnh. Chiều cao buồng sấy được tính cho sấy khô các hạt có kích thước lớn. Vị trí đặt vòi phun phụ thuộc vào vận tốc tác nhân sấy và vận tốc lắng của hạt dung dịch. Các vòi phun ra dòng hạt có kích thước bé phải đặt xa đỉnh buồng sấy hơn vòi phun ra các hạt to.

Với phương pháp dòng hỗn hợp như hình 4-88c thì: lúc đầu là dòng ngược chiều, sau là cùng chiều. Các hạt bé có quãng đường ngược ngắn hơn so với hạt to, cũng nhờ vậy mà sản phẩm khô đều. Sản phẩm ra theo cửa đáy, khí thải và sản phẩm mịn theo cửa bên cạnh đi ra ngoài rồi đến thiết bị thu hồi sản phẩm mịn.

Các buồng sấy sử dụng đĩa văng cấp dung dịch đều làm việc theo nguyên tắc dòng cùng chiều. Đĩa văng luôn đặt trên đỉnh buồng sấy (hình 4-89). Chùm hạt văng ra theo mặt phẳng nằm ngang, tác nhân sấy theo cửa tiếp tuyến chảy xoáy chùm lấy các hạt cùng chảy

xoáy xuống dưới. Bán kính của chùm hạt văng ra là căn cứ để xác định đường kính buồng sấy. Do đĩa văng quay nhanh nên nó cũng giống như chiếc quạt hút dòng tác nhân sấy và các hạt dung dịch lên trên. Nếu đĩa văng đặt gần đỉnh sẽ dẫn tới hiện



Hình 4-89. Buồng sấy sử dụng đĩa văng cấp vật liệu sấy

- a. Tác nhân sấy chảy xoáy chùm lên đĩa văng, sản phẩm ra cùng khí thải;
- b. Sản phẩm và khí thải ra khác nhau;
- c. Tác nhân xoáy chùm lên đĩa văng từ phía dưới;
- d. Lấy sản phẩm nhờ cào

tượng dính bột vật sấy lên đỉnh buồng sấy. Phương pháp cấp tác nhân sấy như ở hình 4-89a, b, d đã khắc phục được hiện tượng trên. Đối với vật liệu sấy kém chịu nhiệt thì có thể cấp tác nhân sấy theo cách như ở hình 4-89c. Miệng ống cấp tác nhân sấy cong sao cho dòng tác nhân sấy chảy xoáy theo chiều quay đĩa văng.

Lấy sản phẩm bằng cào như ở hình 4-89d làm cho chiều cao buồng sấy giảm đi đáng kể.

4.6.3.3. Tính thiết kế buồng sấy phun

Tính thiết kế buồng sấy phun là tìm dung tích, chiều cao và đường kính của nó.

Dung tích buồng sấy có thể tính dựa trên hệ số toả nhiệt thể tích α_v hoặc cường độ bay hơi ẩm theo thể tích A_v .

Nếu dựa trên hệ số toả nhiệt thể tích α_v thì dung tích buồng sấy là V được tính như sau:

$$V = \frac{Q}{\alpha_v \Delta t_{th}}, \text{ (m}^3\text{)} \quad (4-225)$$

trong đó:

α_v - hệ số toả nhiệt thể tích được tính theo phương trình (4-223);

Q - nhiệt lượng mà tác nhân sấy truyền cho các hạt dung dịch để làm bay hơi lượng ẩm ΔU và làm nóng dung dịch đến nhiệt độ bay hơi, kcal/h;

Δt_{tb} - hiệu nhiệt độ trung bình giữa tác nhân sấy và vật sấy (các hạt dung dịch), độ.

$$Q = \Delta U (600 + 0.44 t_{K_2} - t_2) + m_2 c_2 (t_2 - t_1), \text{ (kcal/h)} \quad (4-226)$$

trong đó:

m_2 - năng suất sấy tính theo sản phẩm sấy, kg/h;

t_1, t_2 - nhiệt độ đầu, cuối của vật liệu sấy, độ;

t_{K_2} - nhiệt độ cuối của tác nhân sấy, độ.

ΔU - lượng ẩm bay hơi, kg/h:

$$\Delta U = m_1 - m_2, \text{ (kg/h)}$$

m_1, m_2 - năng suất sấy tính theo vật sấy ẩm, khô, kg/h.

$$\Delta t_{tb} = \Delta t_1 (1 - X) + \Delta t_2 X \quad (4-227)$$

Δt_1 là chênh lệch nhiệt độ giữa tác nhân sấy và vật sấy trong giai đoạn tốc độ sấy không đổi ứng với quá trình thay đổi của tác nhân sấy từ B đến C' (hình 4-90).

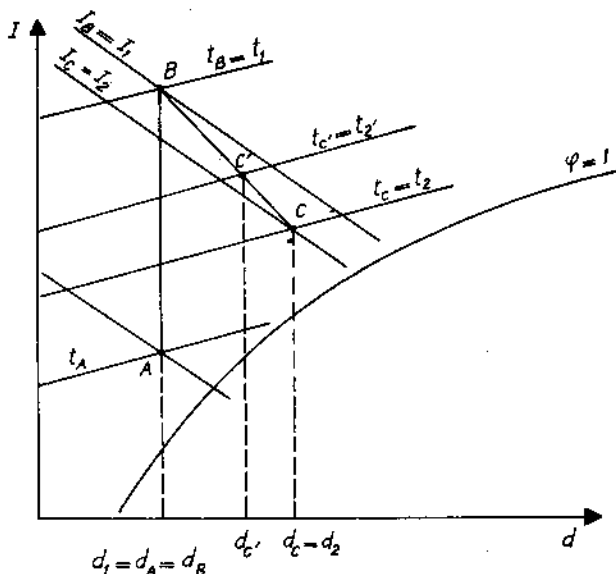
$$\Delta t_1 = \frac{t_{K_1} - t_{K_2}}{\ln \frac{t_{K_1} - t_u}{t_{K_2} - t_u}} \quad (4-228)$$

t_u - nhiệt kế bầu ướt, °C;

t_2 được tính phụ thuộc vào d_2 .

$$d_2 = d_1 + \frac{1000 \cdot \Delta U}{G_K}, \text{ (g/kg.K.K)} \quad (4-229)$$

G_K - lưu lượng tác nhân sấy, kg/h.



Hình 4-90. Quá trình sấy đổi lưu trong buồng sấy phun

$$\Delta t_2 = \frac{(t_{K_2'} - t_u) - (t_{K_2} - t_2)}{\ln \frac{t_{K_2'} - t_u}{t_{K_2} - t_2}}, (^\circ\text{C}) \quad (4-230)$$

t_2 - nhiệt độ cuối của vật sấy, $^\circ\text{C}$

$$t_2 = (t_{K_2} - t_u) \frac{w' - w_2}{w_1 - w'} + t_u, (^\circ\text{C}) \quad (4-231)$$

w_1, w_2 - độ ẩm đầu và cuối của vật sấy, %;

w' - độ ẩm thủy động của vật sấy, %;

X - là tỷ lệ thời gian sấy của giai đoạn có tốc độ sấy giảm dần so với thời gian sấy tổng:

$$X = \frac{1}{1 + \frac{(t_{K_2} - t_{K_2'})(w_1 - w')}{(t_{K_1} + t_{K_2'})(w' - w_c) \ln \frac{w' - w_c}{w_2 - w_c}}} \quad (4-232)$$

trong đó:

w_c - độ ẩm cân bằng của vật sấy, %.

Sau khi đã tính được dung tích V của buồng sấy ta tính được chiều cao H , nếu chọn đường kính D của nó, hay ngược lại chọn H rồi tính D :

$$H = \frac{4V}{\pi \cdot D^2}, (\text{m}) \quad (4-233)$$

H, D - chiều cao, đường kính buồng sấy phun, m.

Tỷ lệ giữa chúng như sau:

- Đối với buồng sấy dùng đĩa văng ta chọn:

$$\frac{H}{D} = (0,8 \div 1); \text{ đĩa văng đặt cách đỉnh từ } (1 \div 1,5) \text{ m}$$

$$D \geq (2,8 - 3,4)R_c, (\text{m}).$$

R_c - bán kính chùm hạt văng ra từ đĩa, m.

- Đối với buồng sấy dùng vòi phun ta chọn:

$$\frac{H}{D} = (1,5 \div 2,5) \text{ với tốc độ tác nhân sấy đi trong buồng sấy}$$

$$W_k = (0,2 \div 0,5) \text{ m/s.}$$

Khi muốn thu sản phẩm sấy có các hạt với kích thước nhỏ mịn thì tỷ số trên có thể lấy từ 5 đến 7.

Đáy nón của buồng sấy phun tùy vào sản phẩm sấy, phương pháp thu hồi sản phẩm.

Khi dùng vòi phun cơ khí để cấp dung dịch (nguyên liệu sấy) cho buồng sấy thì công suất động cơ bơm pittông dùng để bơm dung dịch được tính như sau:

$$N_{dc} = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{1000 \cdot \eta}, (\text{kW}) \quad (4-234)$$

trong đó:

ρ - khối lượng riêng của dung dịch, kg/m^3 ;

g - gia tốc trọng trường, m/s^2 ;

Q - lưu lượng dung dịch m^3/s ;

H - tổng tổn thất áp lực bao gồm cột áp thủy tĩnh cộng với tổn thất đường ống, m cột chất lỏng;

η - hệ số hiệu dụng tổng: $\eta = (0,6 - 0,85)$.

Khi ta dùng vòi phun thủy khí thì công suất nén khí được tính theo công thức (4-235).

$$N = 3,88 \frac{V_K T_1}{273 \cdot \eta_v \cdot \eta_c \cdot \eta_i} \ln \frac{P_2}{P_1} \quad (4-235)$$

trong đó:

V_K - lưu lượng khí nén, m^3/ph ;

T_1 - nhiệt độ không khí ngoài trời, $^{\circ}K$;

P_1 - áp suất không khí ngoài trời, at ;

P_2 - áp suất không khí sau khi nén, at ;

η_v - hệ số hiệu dụng thể tích;

η_c - hệ số hiệu dụng cơ khí;

η_i - hệ số hiệu dụng chỉ thị.

Khi dùng đĩa văng ly tâm thì công suất động cơ quay đĩa được tính như sau:

$$N = 1,9110^{-3} Q \cdot w \quad (4-236)$$

trong đó:

Q - lưu lượng dung dịch, kg/s ;

w - vận tốc dòng của đĩa văng, m/s .

Để quay đĩa văng ta có thể dùng tuabin khí nén, khí ấy công suất của máy nén khí được tính tương tự như công thức (4-235).

Hệ thống quạt được tính sau khi thiết lập xong hệ thống sấy phun.

Sấy rang (Sấy trên bề mặt vật nóng)

5.1. QUÁ TRÌNH SẤY RANG

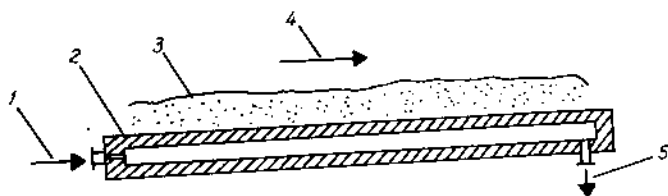
Sấy rang là quá trình sấy mà vật sấy tiếp xúc trực tiếp với bề mặt vật cấp nhiệt và có đảo trộn vật sấy hoặc không. Phương pháp này được ứng dụng rất rộng rãi trong dân dụng và công nghiệp để sấy các vật dạng rắn rời (các loại hạt; rau, củ, quả, cây băm nhỏ), các loại bột nhão (dạng kem), các loại dung dịch (nước hoa quả ép, sữa v.v.).

Bề mặt vật nóng có thể phẳng, hình lòng chảo, hình cầu, hình trụ. Năng lượng cấp cho bề mặt nóng có thể lấy từ ngọn lửa, năng lượng điện, hơi nước nóng, nước nóng, trong đó tốt nhất là hơi nước nóng và nước nóng có nhiệt độ lớn hơn 100°C . Vật liệu để chế tạo vật nóng phải có hệ số dẫn nhiệt cao, có độ bền cơ, nhiệt và chống ăn mòn cao. Nhiệt độ bề mặt nóng được quy định phụ thuộc nhiệt độ cho phép của từng loại vật sấy. Trong một số trường hợp ta có thể dùng vật nóng dạng hạt được đốt nóng trước rồi trộn đều với vật sấy dạng hạt. Phương pháp này có bề mặt tiếp xúc lớn và đồng đều.

Có thể kết hợp sấy rang với sấy đối lưu theo hai cách: vừa sấy rang vừa thổi không khí trên bề mặt của lớp vật sấy; sấy rang trước (nung nóng vật sấy) sau đó thổi không khí để sấy theo phương pháp tăng sôi.

Quá trình truyền nhiệt và chuyển ẩm trong sấy rang diễn ra như sau: Nhiệt lượng từ nguồn nhiệt cấp cho bề mặt nóng (vật nóng) rồi truyền cho vật sấy. Nhiệt lượng mà vật sấy nhận được bằng nhiệt lượng

cần để nung nóng vật sấy đến nhiệt độ bay hơi của ẩm và cấp cho quá trình bay hơi ẩm. Quá trình trên phụ thuộc vào các thông số như: nhiệt độ, vật liệu và cấu tạo của bề mặt nóng; diện tích tiếp xúc giữa vật sấy với bề mặt nóng; độ chứa ẩm của vật sấy; nhiệt độ và độ ẩm tương đối của không khí (tác nhân sấy) thổi trên bề mặt lớp vật sấy (hình 5-1).



Hình 5-1. Sấy trên bề mặt nóng

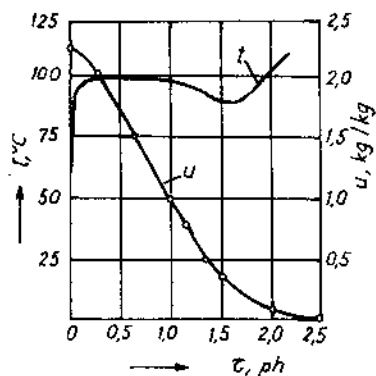
1- hơi nước nóng; 2- vật nóng; 3- lớp vật sấy; 4- không khí (tác nhân sấy); 5- nước ngưng.

Trên hình 5-1 ta thấy, khi chiều dày của lớp vật sấy là đáng kể và không đảo trộn, thì quá trình truyền nhiệt và truyền ẩm phụ thuộc rất lớn vào nhiệt độ bề mặt tiếp xúc của vật nóng t_m :

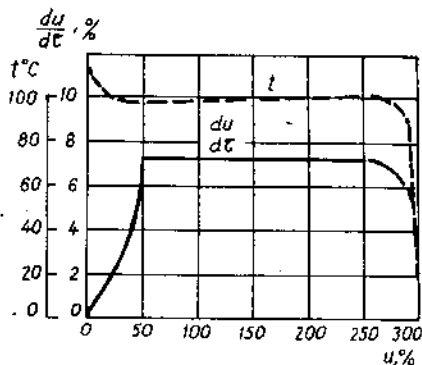
Khi $t_m \leq (65 \div 85)^\circ\text{C}$ thì nhiệt lượng từ vật nóng truyền cho vật sấy chủ yếu bằng dẫn nhiệt.

Khi t_m lớn hơn nhiệt độ bay hơi của ẩm thì: lớp vật sấy tiếp xúc trực tiếp với vật nóng sẽ nhanh chóng đạt nhiệt độ bay hơi của ẩm. Hơi ẩm đi xuyên vào lớp vật sấy phía trên có nhiệt độ còn thấp, chúng sẽ ngưng lại và truyền nhiệt cho lớp vật sấy đó. Khi nhiệt độ của toàn lớp vật sấy tăng lên bằng nhiệt độ bay hơi ẩm thì hiện tượng ngưng đọng chấm dứt. Đây là thời điểm bắt đầu giai đoạn sấy thứ nhất (vận tốc sấy không đổi). Hơi ẩm bay lên sẽ được tác nhân sấy cuốn đi. Do truyền nhiệt từ vật nóng sang vật sấy không đủ mà cường độ bay hơi ẩm lớn, làm cho nhiệt độ t của vật sấy ở cuối giai đoạn sấy thứ nhất giảm xuống một ít (hình 5-2).

Giai đoạn sấy thứ hai cũng tương tự như các quá trình sấy khác.



Hình 5-2. Đường cong sấy u , và đường cong nhiệt độ t



Hình 5-3. Đường cong tốc độ sấy $\frac{du}{d\tau}$ và đường cong nhiệt độ t

Hình dạng của bề mặt vật nóng (bề mặt tiếp xúc) có thể là mặt phẳng, mặt trụ, mặt cầu. Tùy vào tính chất và dạng của vật sấy mà chọn dạng vật nóng cho phù hợp.

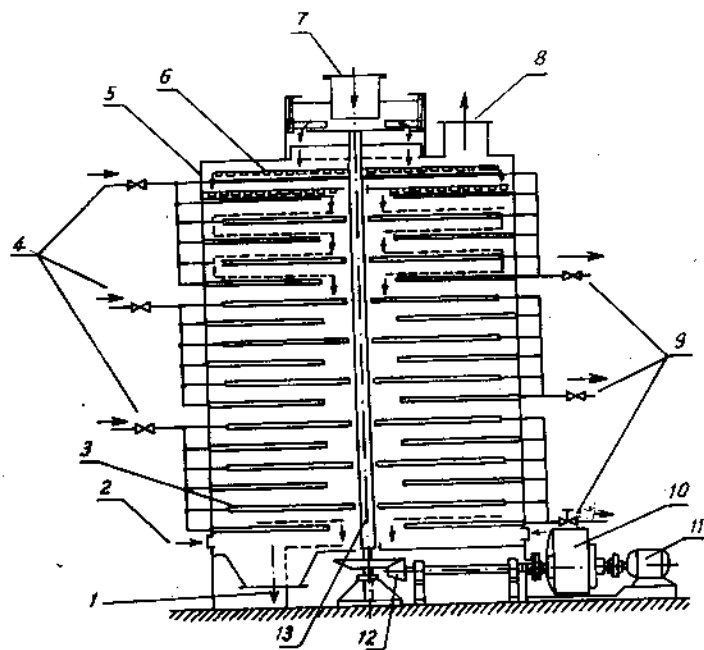
5. 2. CÁC KIỂU MÁY SẤY RANG

Việc lựa chọn hình dạng của bề mặt nóng, kết cấu và hoạt động cụ thể của máy sấy phụ thuộc vào từng loại vật sấy và có ảnh lớn đến năng suất, chất lượng và giá thành của sản phẩm sấy.

Để sấy các vật sấy dạng hạt ta có thể dùng máy sấy rang kiểu tháp đĩa thể hiện ở hình 5-4. Cấu tạo của máy gồm thân hình trụ thẳng đứng, bên trong có các tầng đĩa đặt nằm ngang. Các đĩa đều là hình tròn có lỗ ở tâm, nhưng khác nhau ở chỗ chúng có hai cỡ đường kính ngoài và đường kính lỗ. Các đĩa có đường kính nhỏ và lớn đặt xen kẽ nhau; chúng đều là hộp kim loại rỗng trong để đưa hơi nước nóng vào và lấy nước ngưng ra. Trên mỗi đĩa có cánh đảo với góc nghiêng ngược nhau và liên tục quay theo trục thẳng đứng ở tâm tháp. Vật sấy dạng hạt được nạp vào cửa trên cùng chảy xuống đĩa dưới cùng. Nhờ cánh

đảo mà dòng hạt chảy lần lượt qua các đĩa từ trên xuống. Vật sấy được rang trên các đĩa nóng đến nhiệt độ bay hơi của ẩm. Không khí đóng vai trò là tác nhân sấy chuyển động từ dưới lên ngược chiều với vật sấy. Ẩm bay hơi đi theo không khí ra ngoài. Trục mang các cánh đảo quay được nhờ hệ thống gồm động cơ, hộp giảm tốc và cặp bánh răng nón.

Bề mặt truyền nhiệt cho vật sấy là tổng diện tích bề mặt trên của các đĩa. Căn cứ nhiệt độ cho phép đối với từng loại vật sấy mà chọn nhiệt độ mặt đĩa và nhiệt độ ngưng tụ của hơi nước cho phù hợp. Thời gian sấy phụ thuộc vào kích thước đĩa, số tầng đĩa, tốc độ quay và góc nghiêng của cánh đảo.



Hình 5-4. Máy sấy rang kiểu tháp đĩa

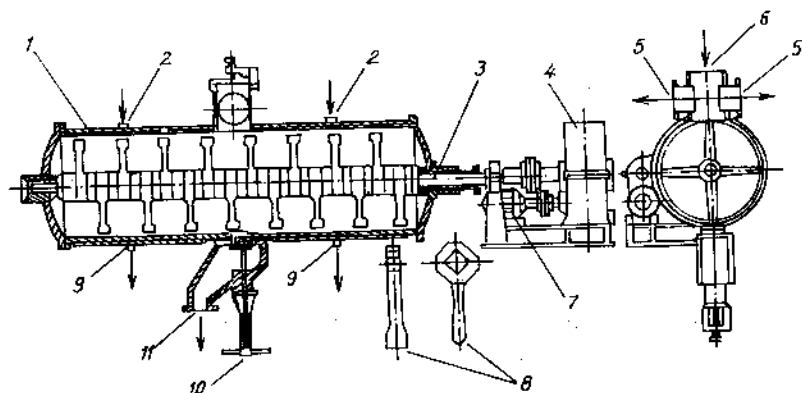
- 1- cửa lấy sản phẩm; 2- không khí vào tháp; 3- các tầng đĩa; 4- hơi nước nóng;
5- thân tháp; 6- các cánh đảo; 7- cửa nạp vật sấy ẩm; 8- cửa khí thải; 9- nước ngưng;
10- hộp giảm tốc; 11- động cơ; 12- cặp bánh răng nón; 13- trục quay.

Nếu không khí đối lưu tự nhiên thì việc thoát ẩm từ vật sấy sẽ chậm hơn đối lưu cưỡng bức.

Máy sấy rang kiểu tháp đĩa có cường độ bay hơi ẩm theo diện tích cấp nhiệt (diện tích mặt trên của các đĩa) không cao: $A_F = (1,5 \div 8) \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}$. Hệ số toả nhiệt có điều kiện từ mặt đĩa cho vật sấy là $\alpha = (35 \div 85) \text{ W/m}^2 \cdot \text{độ}$.

Máy sấy rang kiểu tháp đĩa tuy có tốn nhiều vật liệu chế tạo (do A_F nhỏ) nhưng ít tiêu tốn nhiệt lượng trên mỗi kg ẩm bay hơi: $q = (700 \div 1000) \text{ kcal/kg}$.

Công suất động cơ quay các cánh đảo phụ thuộc vào sức cản của vật sấy lên các cánh đảo, ma sát của ổ đỡ trục, hệ số hiệu dụng của bộ truyền động.



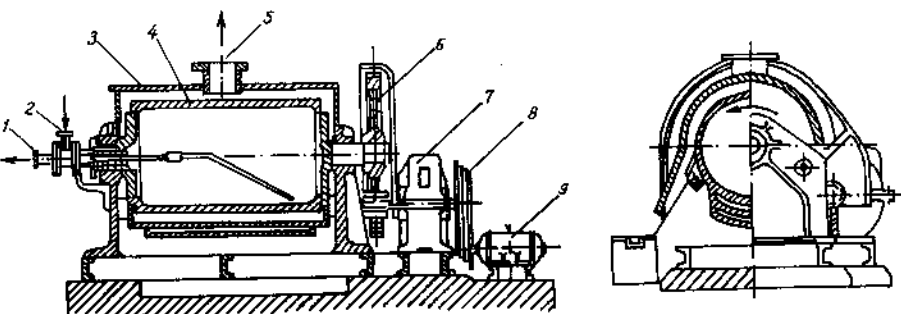
Hình 5-5. Máy sấy rang hình trụ nằm ngang.

- 1- buồng sấy hình trụ hai vỏ; 2- các cửa cấp hơi nước nóng; 3- trục cánh đảo;
4- hộp giảm tốc; 5- cửa thoát khí và ẩm; 6- cửa nạp vật sấy dạng hạt; 7- động cơ;
8- cấu tạo của cánh đảo; 9- các cửa xả nước ngưng; 10- tay quay mở cửa tháo sản phẩm sấy; 11- cửa sản phẩm sấy.

Hình 5-5 thể hiện máy sấy rang nằm ngang có cánh đảo. Buồng sấy là thùng hình trụ hai vỏ nằm ngang. Vật sấy dạng hạt được nạp qua cửa phía trên, sản phẩm tháo qua cửa phía dưới. Hơi nước nóng được cấp vào không gian giữa hai vỏ bằng các cửa phía trên, nước ngưng

được xả qua các cửa phía dưới. Bề mặt truyền nhiệt có thể lấy bằng bề mặt trong của vỏ trong. Vật sấy liên tục được đảo trộn nhờ các cánh đảo lắp liên tiếp trên trục quay chậm nhờ động cơ và bộ truyền động. Máy sấy loại này làm việc gián đoạn (theo mẻ), năng suất không lớn. Cường độ bay hơi ẩm trên diện tích bề mặt truyền nhiệt là $A_F = (3 \div 25) \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}$. Hệ số tỏa nhiệt từ bề mặt nóng cho vật sấy là $\alpha = (35 \div 120) \text{ W/m}^2 \cdot \text{độ}$. Nhiệt lượng cần cho mỗi kg ẩm bay hơi là $q = (6300 \div 9500) \text{ kJ/kg}$.

Đối với các vật sấy ở dạng dung dịch, bột nhão, ta có thể dùng máy sấy tang quay (hình 5-6 và hình 5-7). Thông thường tang hình trụ được đốt nóng từ bên trong bằng hơi nước, vật sấy được cấp vào mặt ngoài dưới dạng màng mỏng đều. Tang liên tục quay rất chậm nhờ động cơ và bộ truyền động đai, hộp giảm tốc, cặp bánh răng. Sản phẩm được dao bóc ra dưới dạng màng mỏng (bánh đa nem, giấy gói kẹo) hoặc dạng bột. Máy sấy tang quay loại này có năng suất thấp. Mặt ngoài của tang phải có độ tròn và bóng cao, khó chế tạo. Ngoài ra để màng sản phẩm khô đều và không rách thì độ dày của tang phải đều.

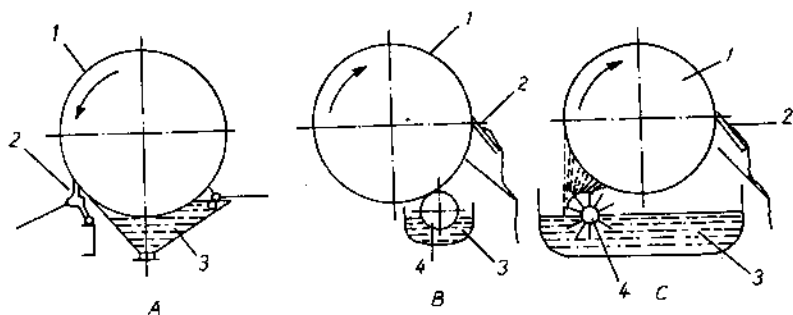


Hình 5-6. Máy sấy tang quay

- 1- cửa xả nước ngưng; 2- cửa cấp hơi nước nóng; 3- vỏ; 4- tang quay; 5- cửa thoát hơi; 6- cặp bánh răng; 7- hộp giảm tốc; 8- bộ truyền đai thay đổi tốc độ; 9- động cơ.

Có nhiều phương pháp cấp vật sấy lên bề mặt tang quay, khi lựa chọn phương pháp phải dựa vào tính chất của vật sấy, năng suất, chất lượng sản phẩm. Hình 5-7 thể hiện ba phương pháp thông dụng để cấp vật sấy lên bề mặt tang quay. Hình 5-7a áp dụng cho vật sấy ở dạng

dung dịch có độ đồng đều cao, không lắng. Hình 5-7b được áp dụng với vật sấy có dạng kem, bột nhão. Hình 5-7c dùng cho vật sấy ở dạng dung dịch đặc, dạng kem.

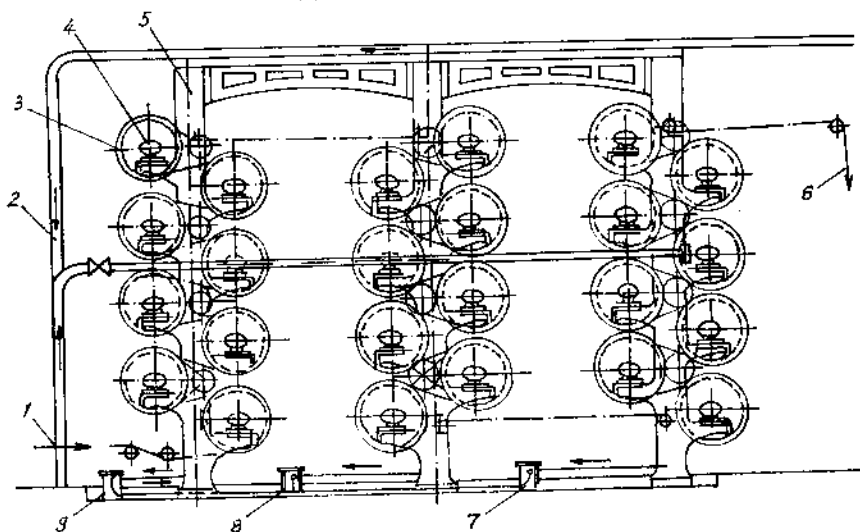


Hình 5-7. Phương pháp cấp vật sấy lên tang sấy

a. Nhúng tang vào nguyên liệu; b. Dùng trục cán (bôi); c. Dùng cơ cấu văng.

1- tang sấy quay; 2- dao bóc sản phẩm; 3- vật sấy;

4- bộ phận cấp vật sấy lên mặt tang.



Hình 5-8. Máy sấy vải

1- vải ẩm; 2- ống cấp hơi nước nóng; 3- tang sấy; 4- ổ đỡ; 5- giá đỡ;

6- vải khô; 7, 8, 9- cốc xả nước ngưng.

Máy sấy tang quay có thể dùng để sấy vải trong công nghiệp dệt-nhuộm. Trong trường hợp này người ta dùng nhiều tang lắp song song thành nhiều cụm như hình 5-8. Chiều dài của tang lớn hơn chiều rộng của băng vải một ít, góc ôm lớn hơn 180° . Cả hai mặt vải đều được tiếp xúc với mặt tang nóng đang quay nhờ lực kéo của tấm vải do máy kéo vải khô tạo nên. Nhiệt lượng cấp cho quá trình sấy lấy từ hơi nước nóng đang ngưng tụ trong các tang quay, nước ngưng đi qua cốc xả ra ngoài. Máy sấy loại này còn có tên gọi là máy sấy tiếp xúc. Bề mặt truyền nhiệt bằng tổng bề mặt tiếp xúc của vải và các tang. Máy sấy vải loại này có năng suất cao vì nhiệt độ sấy cao, thời gian sấy ngắn. Cường độ bay hơi ẩm vào khoảng $(8 \div 10) \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}$.

5.3. TÍNH THIẾT KẾ MÁY SẤY RANG

Ta có thể tính thiết kế máy sấy rang tương tự như sấy đối lưu các vật liệu rời xếp lớp. Căn cứ độ ẩm đầu, cuối của vật sấy, năng suất sấy ta tìm được lượng ẩm bay hơi là ΔU . Căn cứ nhiệt độ cao nhất mà vật sấy cho phép ta chọn nhiệt độ của bề mặt vật nóng (mặt tiếp xúc). Nếu có các hệ số bay hơi riêng bề mặt A_F hoặc hệ số toả nhiệt α giữa vật sấy và tác nhân sấy ta dễ dàng tính được bề mặt bay hơi F của vật sấy theo các công thức sau đây:

$$F = \frac{\Delta U}{A_F}, (\text{m}^2) \quad (5-1)$$

$$F = \frac{Q_n + Q_b}{\alpha \cdot \Delta t_{tb}}, (\text{m}^2) \quad (5-2)$$

trong đó:

F - bề mặt bay hơi (là bề mặt của lớp hạt tiếp xúc với tác nhân sấy, cũng xem như là bề mặt mà hạt tiếp xúc với vật nóng), m^2 ;

A_F - hệ số bay hơi bề mặt, $\text{kg/m}^2 \cdot \text{h}$;

ΔU - lượng ẩm bay hơi, kg/h ;

Q_n - nhiệt lượng nung nóng vật sấy, kcal/h;

Q_b - nhiệt lượng cấp cho ẩm bay hơi, kcal/h;

α - hệ số toả nhiệt từ vật sấy cho tác nhân sấy, kcal/m².h.độ;

Δt_{tb} - hiệu nhiệt độ trung bình giữa vật sấy và tác nhân sấy, tùy thuộc chiều chuyển động của chúng là cùng hay ngược chiều mà sử dụng công thức cho phù hợp, °C.

$$\Delta t_{tb} = \frac{(t_{K_1} - t_1) - (t_{K_2} - t_2)}{\ln \frac{t_{K_1} - t_1}{t_{K_2} - t_2}}, (^\circ\text{C}) \quad (5-3)$$

$$\Delta t_{tb} = \frac{(t_{K_1} - t_2) - (t_{K_2} - t_1)}{\ln \frac{t_{K_1} - t_2}{t_{K_2} - t_1}}, (^\circ\text{C}) \quad (5-4)$$

Công thức (5-3) áp dụng khi dòng cùng chiều, công thức (5-4) áp dụng cho dòng ngược chiều.

trong đó:

t_{K_1}, t_{K_2} - nhiệt độ đầu, cuối của tác nhân sấy, °C;

t_1, t_2 - nhiệt độ đầu, cuối của vật sấy, °C.

Nếu không tính đến tổn thất nhiệt qua vỏ máy sấy thì nhiệt lượng mà bề mặt nóng truyền cho vật sấy đúng bằng nhiệt lượng mà vật sấy truyền cho tác nhân sấy và nung nóng vật sấy.

Hệ số toả nhiệt α có thể tính gần đúng theo điều kiện truyền nhiệt bằng tiếp xúc giữa hai vật thể như sau:

$$\alpha = \frac{2\sqrt{\lambda.c.\rho}}{\sqrt{\pi}\sqrt{\tau}}, (\text{kcal/m}^2.\text{h.}^\circ\text{C}) \quad (5-5)$$

trong đó:

λ - hệ số dẫn nhiệt của vật sấy, kcal/m.h.độ;

c - nhiệt dung riêng của vật sấy, kcal/kg.độ;

ρ - khối lượng riêng của vật sấy, kg/m³ ;

τ - thời gian sấy, h.

Phương trình (5-5) phải thoả mãn điều kiện (5-6) sau đây:

$$\frac{\delta}{a \cdot \tau_{\max}} = 9437 \quad (5-6)$$

trong đó:

δ - độ dày lớp vật sấy, m;

a - số dẫn nhiệt của lớp vật sấy, m²/h;

$\tau_{\max}$ - thời gian sấy tối đa, h.

Từ bề mặt truyền nhiệt ta kết cấu được máy sấy rang. Từ thời gian sấy ta tính được chuyển động của hạt trong máy sấy khi máy làm việc liên tục, trên cơ sở đó tính cơ cấu đảo trộn. Tác nhân sấy trong trường hợp này là không khí ở điều kiện thường được đối lưu tự nhiên hoặc cưỡng bức trên bề mặt của lớp vật sấy. Lượng không khí đối lưu phụ thuộc vào trạng thái đầu, cuối của nó (khí vào và ra) và lượng ẩm bay hơi ΔU .

Nhiệt lượng cấp cho máy sấy rang liên tục đúng bằng nhiệt lượng làm nóng vật sấy, làm nóng không khí, tổn thất ra bên ngoài. Nếu làm việc gián đoạn thì ngoài các đại lượng trên còn phải tính đến lượng nhiệt làm nóng máy sấy.

Đối với sấy tang quay (hình 5-6, 5-7, 5-8), các bước tính thiết kế có thể thực hiện lần lượt như sau:

1- Chọn nhiệt độ mặt tang nóng t_n phụ thuộc nhiệt độ cho phép của vật sấy;

2- Chọn chiều dày δ của lớp vật sấy;

3- Tính tốc độ sấy ở giai đoạn thứ nhất là N :

$$N = \frac{q_m}{\rho_o \cdot R_v} \quad (5-7)$$

trong đó:

q_m - cường độ bay hơi ẩm:

$$q_m = \alpha_{m,p} (P_{b,m} - P_{t,n}) \quad (5-8)$$

$\alpha_{m,p}$ - hệ số truyền ẩm:

$$\alpha_{m,p} = (4.77 + 3.26 W_K) \cdot 10^{-8} \quad (5-9)$$

W_K - vận tốc tác nhân sấy;

$P_{b,m}$ - áp suất hơi nước ngay trên bề mặt lớp vật sấy (lấy bằng áp suất hơi bão hoà);

$P_{t,n}$ - áp suất hơi nước trong tác nhân sấy;

ρ_o - khối lượng riêng của chất khô trong vật sấy, kg/m^3 ;

R_v - tỷ số thể tích trên diện tích bề mặt của vật sấy ẩm;

R_{v_o} - tỷ số thể tích trên diện tích bề mặt của vật sấy khô; khi vật sấy ít co ngót thì $R_v \approx R_{v_o}$:

$$R_{v_o} = \frac{V}{F_o}$$

V - thể tích của vật sấy, m^3 ;

F_o - diện tích bề mặt tự do của vật sấy khô, m^2 .

4- Tính mật độ dòng nhiệt q :

$$q = \frac{\lambda}{\delta} (t_n - t), (\text{kcal/m}^2 \cdot \text{h}) \quad (5-10)$$

trong đó:

λ - hệ số dẫn nhiệt của lớp vật sấy, kcal/m.h.độ ;

δ - độ dày lớp vật sấy, m ;

t_n - nhiệt độ mặt tang, $^{\circ}\text{C}$;

t - nhiệt độ vật sấy, $^{\circ}\text{C}$.

5- Tính thời gian sấy τ .

$$\tau = \frac{u_1 - u_c}{N} - \frac{1}{x.N} \{1 + \ln[x(u_2 - u_c)]\}, h \quad (5-11)$$

trong đó:

N - tốc độ sấy ở giai đoạn thứ nhất;

u_1, u_2 - độ chứa ẩm đầu, cuối của vật sấy;

u_c - độ chứa ẩm cân bằng của vật sấy;

x - hệ số tỷ lệ:

$$x = \frac{1}{u_B - u_c} \quad (5-12)$$

u_B - độ chứa ẩm của vật sấy lúc kết thúc giai đoạn sấy thứ nhất.

6- Tính tần số quay của tang v_t :

$$v_t = \frac{\varphi}{\tau} \quad (5-13)$$

trong đó:

φ - hệ số sử dụng mặt tang;

τ - thời gian sấy, s.

7- Tính đường kính tang D_t :

$$D_t = \frac{m_1}{\pi \cdot \rho_1 \cdot v_t \cdot B \cdot \delta \cdot \varphi}, (m) \quad (5-14)$$

trong đó:

m_1 - khối lượng lượng vật sấy ẩm;

ρ_1 - khối lượng riêng của vật sấy ẩm, kg/m^3 ;

B - chiều dài tang quay, m;

δ - chiều dày lớp vật sấy, m;

ω - hệ số sử dụng mặt tang;

v_t - tần số quay của tang.

8- Tính dòng nhiệt q từ hơi nước nóng đang ngưng tụ truyền ra mặt tang quay:

$$q = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_t}{\lambda_t}} (t_h - t_n) \text{ (kcal/m}^2\text{.h)} \quad (5-15)$$

trong đó:

t_h, t_n - nhiệt độ hơi nước đang ngưng tụ, nhiệt độ mặt ngoài tang, °C ;

α_1 - hệ số toả nhiệt từ hơi nước cho tang, kcal/m².h.độ;

δ_t, λ - chiều dày, hệ số dẫn nhiệt của tang, m, kcal/m.h.độ.

9- Căn cứ vào trạng thái đầu và cuối của tác nhân sấy (không khí), xác định lượng không khí đi qua máy sấy khi đã tính được ΔU (lượng ẩm bay hơi).

10- Tính chi phí nhiệt, điện năng trên mỗi kg ẩm bay hơi (hoặc trên mỗi tấn thành phẩm), tính kinh tế.

Các hình thức sấy khác

6.1. SẤY BỨC XẠ

Sấy bức xạ là quá trình sử dụng năng lượng của các tia bức xạ phát ra từ vật bức xạ để làm nóng vật sấy đến nhiệt độ bay hơi ẩm khỏi vật sấy, làm giảm độ ẩm của nó đến mức theo yêu cầu.

Từ xa xưa con người đã biết sử dụng bức xạ mặt trời để sấy (phơi nắng) các sản phẩm nông, ngư, lâm nghiệp v.v. Phương pháp này tiện lợi nhưng phụ thuộc nhiều vào thời tiết, vùng địa lý, thời gian sấy kéo dài, tốn nhiều sức lực cho con người, kém vệ sinh.

Trong công nghiệp chế biến nông sản, thực phẩm, thường dùng các tia bức xạ nhân tạo để sấy. Quá trình trao đổi nhiệt trong sấy bức xạ có cường độ cao hơn nhiều trong sấy đối lưu và sấy trên bề mặt nóng (sấy tiếp xúc còn gọi là sấy rang). Bề mặt vật sấy nhanh chóng bị đốt nóng, tạo ra chênh lệch nhiệt độ lớn giữa bề mặt và lớp sâu bên dưới. Điều này dễ dẫn tới chất lượng sản phẩm không như ý muốn (cong vênh, nứt vỡ, biến màu v.v). Muốn tránh điều trên ta căn cứ vào tính chất vật sấy, yêu cầu của sản phẩm sấy mà sử dụng nguồn tia bức xạ, điều chỉnh cường độ bức xạ và thời gian bức xạ cho phù hợp.

Máy sấy bức xạ có cấu tạo đơn giản, dễ sử dụng có khả năng tăng cường độ sấy ở giai đoạn thứ nhất, rất hiệu quả với lớp vật sấy mỏng. Tuy trường hợp mà thời gian sấy có thể giảm hàng chục thậm chí cả trăm lần so với sấy đối lưu.

Máy sấy bức xạ cần trang bị các thiết bị bảo vệ, điều chỉnh chế độ sấy, quan tâm thường xuyên để có sản phẩm tốt và không bị hoá hoạn. Máy sấy bức xạ ít được sử dụng vì không kinh tế bằng sấy đối lưu.

6.1.1. Cơ chế truyền nhiệt và chuyển khối trong sấy bức xạ

Như đã nói ở trên, nhiệt lượng cấp cho vật sấy nóng lên và cấp cho ẩm bay hơi được lấy từ năng lượng của các tia bức xạ. Vì vậy cường độ và đặc tính của quá trình truyền nhiệt và chuyển khối trong sấy bức xạ được xác định bởi quang phổ bức xạ của vật phát năng lượng bức xạ và khả năng hấp thụ năng lượng bức xạ của vật sấy.

Thông thường trong sấy bức xạ, người ta dùng vật phát năng lượng bức xạ liên tục và cường độ cao thuộc vùng quang phổ hồng ngoại với bước sóng $\lambda = (0,77 \div 300) \mu\text{m}$. Bước sóng lớn nhất λ_{max} và cường độ quang phổ bức xạ E_λ phụ thuộc vào nhiệt độ của vật phát năng lượng bức xạ. Theo các định luật của Planck và Vin ta có quan hệ sau:

$$E_\lambda = \frac{\varepsilon_\lambda \cdot c_1 \cdot \lambda^{-5}}{e^{c_2/\lambda T} - 1} \quad (6-1)$$

$$T \cdot \lambda_{\text{max}} = 2,9 \cdot 10^{-3} \quad (6-2)$$

trong đó:

ε_λ - độ đen;

c_1, c_2 - các hằng số Planck:

$c_1 = 3,74 \cdot 10^{-16} \text{ (W.m}^2\text{)};$

$c_2 = 1,44 \cdot 10^{-2} \text{ (m.}^\circ\text{K)}.$

λ_{max} - bước sóng ứng với cường độ bức xạ cao nhất.

Cường độ bức xạ được xác định theo định luật như sau:

$$E = \int_{\lambda=0}^{\lambda=\infty} E_\lambda d\lambda = \varepsilon \cdot c_0 \left(\frac{T}{100} \right)^4 \quad (6-3)$$

trong đó:

ε - độ đen của vật bức xạ;

c_0 - hệ số bức xạ của vật đen tuyệt đối:

$$c_0 = 5,6687 \text{ (W.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}\text{)}$$

Khi tia bức xạ đến vật sấy thì năng lượng truyền cho vật sấy phụ thuộc khả năng hấp thụ năng lượng của vật sấy. Tia bức xạ gặp vật sấy thì tạo thành ba thành phần: đi xuyên D_λ , phản xạ R_λ và hấp thụ A_λ . Đối với các sản phẩm thực phẩm ẩm nếu gặp tia bức xạ có bước sóng thuộc vùng hồng ngoại: $\lambda = (0,77 \div 2,5)$ μm thì R_λ và D_λ có giá trị lớn hơn, với $\lambda = (2,5 \div 50)$ μm và $\lambda > 50$ μm thì A_λ lớn hơn.

Hầu hết các vật có đặc tính xốp mao dẫn khi sấy thì D_λ tăng với $\lambda = (1,4 \div 15)$ μm và D_λ giảm với $\lambda = (0,4 \div 1,4)$ μm .

Khi vật sấy có giá trị D_λ nhỏ thì lớp vật chất bề mặt sẽ bị đốt nóng nhanh còn lớp vật chất xa bề mặt ít được đốt nóng dẫn tới nứt vỡ, cong vênh. Để tránh hiện tượng trên thì vật sấy nên có chiều dày nhỏ (nếu được). Đối với vật sấy có D_λ với giá trị lớn thì năng lượng bức xạ sẽ xuyên sâu vào trong, đốt nóng đều các lớp vật chất của vật sấy, sản phẩm sấy không bị cong vênh, nứt vỡ.

Quan hệ giữa mật độ dòng nhiệt bức xạ trên bề mặt là q_0 với mật độ dòng nhiệt tại vùng sâu cách bề mặt vật sấy một khoảng x được thể hiện ở công thức sau đây:

$$q_x = q_0 \cdot \exp(-K_\lambda \cdot x) \quad (6-4)$$

trong đó:

$$K_\lambda = a_\lambda + S_\lambda \quad (6-5)$$

a_λ - hệ số hấp thụ ánh sáng;

S_λ - hệ số tán xạ.

$$a_\lambda = \frac{1 - \eta_\lambda}{1 + \eta_\lambda} \cdot \delta_\lambda \quad (6-6)$$

$$S_\lambda = \frac{2 \eta_\lambda}{1 - \eta_\lambda} \cdot \delta_\lambda \quad (6-7)$$

trong đó:

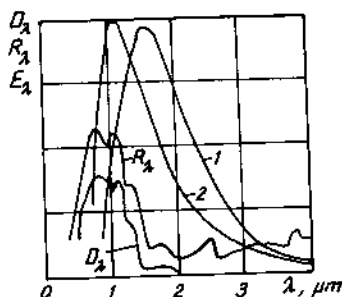
δ_λ - độ suy yếu của tia bức xạ;

η_λ - khả năng phản xạ của vật sấy với chiều dày lớn.

$$\delta_{\lambda} = \frac{1}{l} \ln \frac{1 - R_{\lambda} \eta_{\lambda}}{D_{\lambda}} \quad (6-8)$$

trong đó: l là chiều dày vật sấy (lớp vật sấy).

Căn cứ vào các đặc tính quang phổ và chiều dày của vật sấy mà lựa chọn vật phát tia bức xạ cho phù hợp. Hình 6-1 thể hiện các đặc tính quang phổ của vật sấy là mì ống có chiều dài $l = 1,3$ mm, độ chứa ẩm $u_1 = 31,2\%$ và thạch anh là vật phát tia năng lượng. Trên hình ta thấy, muốn đốt nóng nhanh bề mặt (lớp vật sấy mỏng) thì dùng vật phát tia bức xạ có đặc tính quang phổ là đường 1, ứng với giá trị D_{λ} và R_{λ} thấp. Ngược lại, khi cần đốt nóng sâu vào lớp vật sấy thì dùng vật phát tia bức xạ có đặc tính quang phổ như đường 2.



Hình 6-1. Các đặc tính quang phổ của mì ống và vật phát tia bức xạ là thạch anh

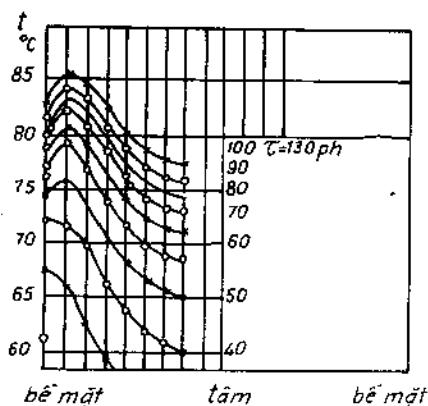
Đường 1-khi $t = 1162^{\circ}\text{C}$

Đường 2-khi $t = 1977^{\circ}\text{C}$

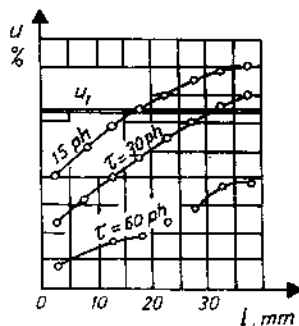
Trên hình 6-2 ta thấy, khi thời gian sấy τ tăng lên thì nhiệt độ cao nhất của vật sấy không phải ở lớp mặt mà ở lớp sâu hơn một ít, vì có đối lưu tác nhân sấy (không khí) tăng lên làm giảm nhiệt độ bề mặt.

Trên hình 6-3 ta thấy, khi mới sấy τ nhỏ thì độ ẩm ở lớp mặt nhỏ hơn lớp sâu rất nhiều, vì lớp mặt nhanh chóng bị tia bức xạ đốt nóng làm cho ẩm bị dẫn vào lớp sâu hơn. Khi thời gian sấy $\tau = 60$ phút thì độ ẩm của vật sấy giảm và chênh ẩm giữa lớp mặt và lớp sâu giảm đi, vì nhiệt độ ở lớp sâu đã được nâng lên làm bay hơi ẩm và dẫn ẩm ra ngoài.

Đối với vật sấy dày nên áp dụng quá trình sấy bức xạ với cường độ bức xạ thay đổi để tránh chênh nhiệt quá lớn giữa lớp mặt và lớp sâu nhằm khắc phục nứt vỡ.



Hình 6-2. Trường nhiệt độ của vật sấy khi sấy bức xạ



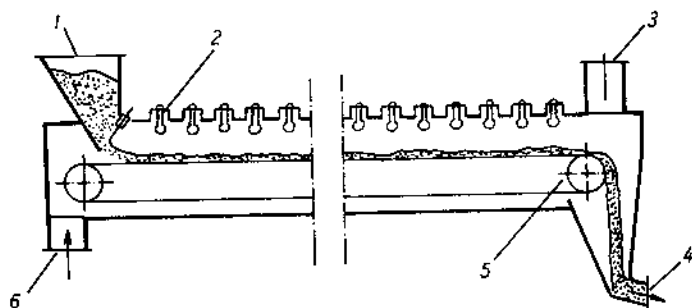
Hình 6-3. Phân bố ẩm trong vật sấy

6.1.2. Các hệ thống sấy bức xạ

Trong hệ thống sấy bức xạ, năng lượng để nung nóng vật sấy đến nhiệt độ bay hơi của ẩm và cấp cho quá trình bay hơi ẩm là năng lượng bức xạ phát ra từ các vật bức xạ đặt ngay bên trên bề mặt của lớp vật sấy. Ẩm bay hơi đi vào dòng tác nhân sấy (không khí) rồi ra ngoài. Thông thường các vật bức xạ được lắp cố định, vật sấy chuyển động liên tục nhờ băng tải, tự chảy, dòng lưu động khí hạt, tầng sôi. Để quá trình bay hơi ẩm tốt và tránh cho vật sấy bị đốt nóng quá mức người ta dùng quạt đối lưu cưỡng bức tác nhân sấy (không khí). Cũng vì vậy mà hệ thống sấy bức xạ được gọi là hệ thống sấy bức xạ-đối lưu. Nếu gắn thêm đặc điểm của hệ thống vận chuyển ta có tên gọi cụ thể hơn. Chẳng hạn ở hình 6-4 là hệ thống sấy băng tải bức xạ-đối lưu, hình 6-5 là hệ thống sấy tháp bức xạ-đối lưu v.v.

Kích thước của buồng sấy trong hệ thống sấy ở hình 6-4 phụ thuộc vào năng suất sấy. Tốc độ băng tải phụ thuộc vào thời gian sấy. Chiều rộng băng tải phụ thuộc vào năng suất và chiều dày lớp vật sấy

trên băng. Ở hình 6-5 thì thời gian sấy phụ thuộc vào tốc độ tự chảy của hạt và tổng chiều dài máng nghiêng. Năng suất sấy phụ thuộc vào



Hình 6-4. Hệ thống sấy băng tải bức xạ đối lưu

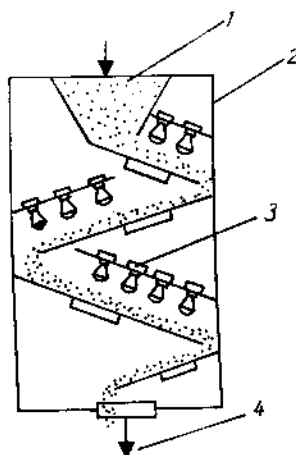
- 1- cửa nạp vật sấy ẩm; 2- các bóng đèn công suất lớn; 3- cửa khí thải;
4- cửa sản phẩm sấy; 5- băng tải; 6- cửa không khí vào.

chiều rộng, chiều dày, tốc độ chảy của lớp hạt. Chiều cao của tháp phụ thuộc vào kích thước, góc nghiêng và số lượng máng nghiêng. Nếu ma sát giữa hạt và máng lớn, góc nghiêng nhỏ thì có thể tạo rung cho các máng một cách hợp lý.

Việc lựa chọn loại vật bức xạ và bố trí chúng trong buồng sấy cũng rất quan trọng cho quá trình sấy bức xạ.

6.1.3. Các thiết bị phát tia bức xạ

Để có các tia bức xạ, ta có thể dùng nhiều loại thiết bị bức xạ khác nhau như: đèn gương, đèn thạch anh, que đốt điện trở, gốm.



Hình 6-5. Tháp sấy bức xạ hạt tự chảy

- 1- cửa nạp các hạt ẩm; 2- thân tháp; 3- các vật bức xạ; 4- sản phẩm sấy

a. Đèn gương (bầu thủy tinh được tráng gương một phần ở bên trong để tập trung tia sáng về một phía). Dây tóc đèn là vonfram, công suất từ $(150 \div 500)$ W. Nhiệt độ đèn là $(2300 \pm 100)^{\circ}\text{K}$. Hệ số hiệu dụng năng lượng là 70%, thời gian sử dụng là $(3500 \div 6000)$ h.

Đèn có nhược điểm dễ vỡ, quán tính nhiệt kém (tắt điện thì nguội nhanh), tổn thất nhiệt lớn, chiếu không đều. Tuy có cấu tạo đơn giản, dễ sử dụng nhưng đèn ít được dùng để sấy các sản phẩm thực phẩm.

b. Đèn ống thạch anh

Cấu tạo của loại này là dây vonfram xoắn đặt trong tâm của ống thạch anh hình trụ, công suất của nó từ $(0,1 \div 20)$ kW (tương đương với $(30 \div 400)$ kW/m² bề mặt ống hoặc $(1 \div 1,5)$ kW/m dài. Nhiệt độ của đèn loại này là 2800°K (2527°C), tuổi thọ 5000 h.

c. Que đốt bằng điện

Cấu tạo của que đốt gồm dây hợp kim nicrom xoắn hình lò xo đặt trong ống kim loại, cách điện bằng oxit manhê, oxýt nhôm hoặc cát thạch anh. Công suất của mỗi dàn que đốt đạt đến 25 (kW) (tương đương 4 kW/m dài), nhiệt độ là 800°C . Đây là loại que đốt thông dụng nhất.

d. Vật bức xạ bằng gốm

Đây là loại tiện lợi trong công nghiệp chế biến thực phẩm. Cấu tạo của nó gồm dây điện trở bằng hợp kim nicrom được ép vào trong lòng khối gốm. Công suất mỗi chiếc là 1 kW với nhiệt độ làm việc từ 450°C đến 700°C .

Để đảm bảo bức xạ được đồng đều thì các thiết bị bức xạ phải có cơ cấu (bộ phận) phản xạ như pha đèn.

6.1.4. Các bước cơ bản tính thiết kế hệ thống sấy bức xạ

Có thể thực hiện tính thiết kế hệ thống sấy bức xạ theo hai cách như sau:

a. Chọn thiết bị phát tia năng lượng (thiết bị bức xạ) và bố trí chúng trong buồng sấy sau đó tính thời gian sấy theo điều kiện (6-9):

$$\tau = \frac{1}{KD} \ln \frac{B + KD(t_2 - \frac{t}{K})}{B + KD(t_1 - \frac{t}{K})} \quad (6-9)$$

trong đó:

$$D = \frac{\alpha}{c \cdot \rho_o \cdot R_v};$$

$$B = \frac{q_o - q_m \cdot r \cdot K_f}{c \cdot \rho_o \cdot K_f \cdot R_v}$$

trong đó:

t_1, t_2 - nhiệt độ đầu và cuối của vật sấy, °C;

t - nhiệt độ của tác nhân sấy (không khí), °C;

K - tỷ số giữa nhiệt độ bề mặt và nhiệt độ trung bình của vật sấy;

K_f - tỷ số giữa bề mặt vật bức xạ trên bề mặt vật sấy chịu bức xạ;

q_o - mật độ bức xạ, W/m²;

α - hệ số toả nhiệt tổng, W/m².°K:

$$\alpha = \alpha_d + \alpha_b$$

α_d, α_b - hệ số toả nhiệt đối lưu, bức xạ:

$$\alpha = (18,6 + 23,2), (W/m^2 \cdot ^\circ K).$$

c - nhiệt dung riêng của vật sấy, J/kg.°K;

ρ_o - khối lượng riêng của vật sấy khô, kg/m³;

q_m - cường độ bay hơi ẩm, kg/m³.s;

r - nhiệt hoá hơi của ẩm, kJ/kg;

R_v - tỷ số giữa thể tích của vật sấy trên bề mặt của chính nó, m³/m².

b. Cho trước năng suất và thời gian sấy, tính số lượng và bố trí các thiết bị phát tia năng lượng trong buồng sấy cho phù hợp.

- Tính tổng tổn thất nhiệt để nung nóng vật sấy đến nhiệt độ bay hơi ẩm, nhiệt bay hơi ẩm, nung nóng phương tiện vận chuyển, nung nóng không khí v.v. Muốn tính phần này, cần kết cấu sơ bộ buồng sấy.

- Chọn thiết bị phát tia năng lượng, sau đó tính mật độ bức xạ q_0 .

- Xác định diện tích của lớp vật sấy chịu bức xạ theo công thức sau:

$$F = \frac{\Sigma Q}{q_0}, (m^2) \quad (6-10)$$

trong đó:

ΣQ - tổng tổn thất nhiệt, W;

q_0 - mật độ bức xạ W/m^2 .

- Xác định các kích thước của buồng sấy.

- Tính thiết kế hệ thống vận chuyển vật sấy.

Nếu hệ thống sấy bức xạ kết hợp với sấy đối lưu với tác nhân sấy có nhiệt độ lớn hơn nhiệt độ bề mặt của lớp vật sấy thì diện tích chịu bức xạ là F được tính như sau:

$$F = \frac{\Sigma Q}{q_0 + \alpha \cdot \Delta t}, (m^2) \quad (6-11)$$

trong đó:

ΣQ - tổng tổn thất nhiệt, W;

q_0 - mật độ bức xạ, W/m^2 ;

α - hệ số toả nhiệt giữa tác nhân sấy và vật sấy, $W/m^2 \cdot ^\circ K$;

Δt - hiệu nhiệt độ trung bình giữa tác nhân sấy và bề mặt vật sấy, $^\circ K$.

6.2. SẤY THĂNG HOA

Sấy thăng hoa là quá trình làm giảm độ ẩm của vật sấy bằng thăng hoa (từ thể rắn thành thể hơi).

Sấy thăng hoa có ưu điểm rất lớn mà các phương pháp sấy khác

không có đó là: sản phẩm sấy có chất lượng cao (giữ nguyên màu sắc, cấu trúc, hương vị, tính thủy hóa), giữ gìn hoạt tính sinh học.

Trong công nghiệp chế biến và bảo quản thực phẩm, sấy thăng hoa được áp dụng để sấy thịt, cá, rau quả đông hộp.

Sấy thăng hoa cũng được dùng rất nhiều trong sản xuất dược phẩm.

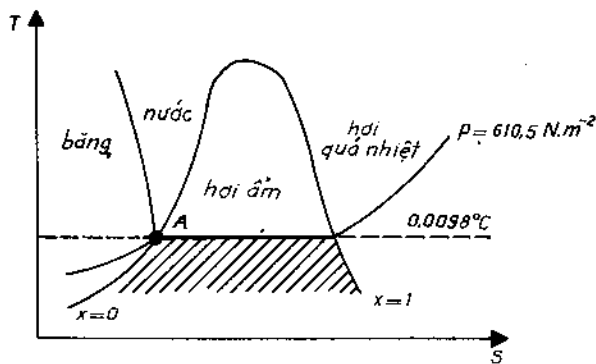
Muốn bảo quản lâu thì sản phẩm sấy thăng hoa phải được đóng hộp có độ kín cao.

Muốn sấy thăng hoa, trước tiên phải làm lạnh đông vật sấy để biến ẩm trong vật sấy thành thể rắn. Sau đó đặt vật sấy đã đông lạnh vào buồng sấy kín, tiến hành hút chân không ở áp suất thấp hơn áp suất điểm ba pha của nước là $610,5 \text{ N/m}^2$ tính theo áp suất tuyệt đối, đồng thời cấp nhiệt cho vật sấy. Ẩm thăng hoa khỏi vật sấy được hoá lỏng rồi thải ra ngoài hệ thống sấy. Nhiệt lượng cấp cho quá trình thăng hoa phải vừa đủ, nếu cấp nhiệt nhiều hơn mức cần thiết sẽ phá hỏng quá trình sấy thăng hoa.

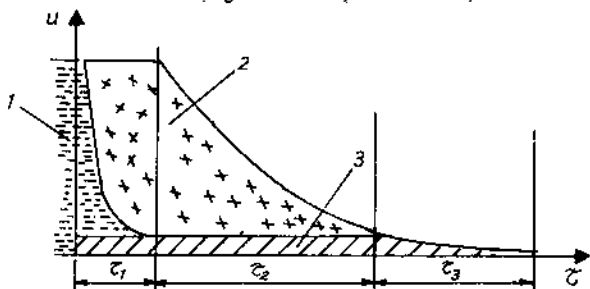
Trong hệ thống máy sấy thăng hoa buồng sấy vừa làm nhiệm vụ buồng lạnh đông vật sấy. Như vậy trong buồng sấy phải có dàn lạnh và dàn cấp nhiệt. Buồng sấy phải có cấu tạo phù hợp với năng suất yêu cầu, có độ bền và độ kín cao, nạp và tháo sản phẩm dễ dàng, vật liệu chế tạo buồng sấy là thép không gỉ. Sau khi vật sấy được nạp vào buồng sấy thì tiến hành làm lạnh đông nhờ hệ thống máy lạnh. Khi đã hoàn thành quá trình lạnh đông vật sấy thì dùng máy lạnh, hút chân không buồng sấy đồng thời cấp nhiệt cho vật sấy, quá trình thăng hoa ẩm xảy ra. Bơm chân không có nhiệm vụ duy trì áp suất trong buồng sấy ở giá trị $610,5 \text{ N/m}^2$.

Cấp nhiệt cho vật sấy trong quá trình sấy thăng hoa có thể thực hiện bằng tiếp xúc hay bức xạ hoặc kết hợp cả hai cách.

Hình 6-6 thể hiện trạng thái của H_2O trên đồ thị $T-S$, hình 6-7 thể hiện trạng thái của H_2O trong quá trình sấy thăng hoa. Hình 6-8 là sơ đồ nguyên lý cấu tạo và hoạt động của máy sấy thăng hoa. Vật sấy 2 đã đông lạnh đặt lên bề mặt cấp nhiệt 3, phía trên có thiết bị cấp nhiệt bằng bức xạ 4; tất cả đặt trong buồng sấy thăng hoa 1.



Hình 6-6. Trạng thái của H_2O trên đồ thị T-S



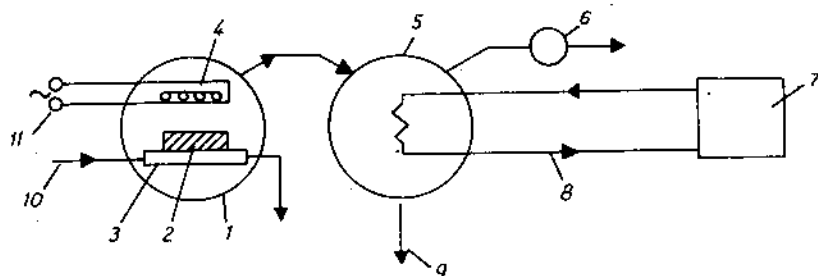
Hình 6-7. Trạng thái của H_2O khi sấy thăng hoa của vật sấy ẩm

1- H_2O lỏng (nước); 2- băng; 3- nước liên kết;

τ_1 - thời gian làm đông lạnh vật sấy; τ_2 - thời gian sấy thăng hoa; τ_3 - thời gian nhả

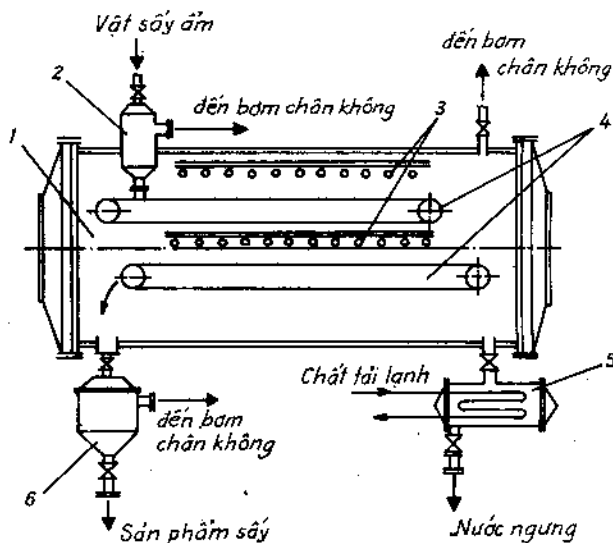
Buồng sấy 1 nối thông với thiết bị ngưng tụ hơi nước 5, có cùng áp suất với buồng sấy. Bơm hút chân không 6 luôn hút khí không ngưng để duy trì áp suất thấp trong buồng sấy thăng hoa. Chất tải lạnh được máy lạnh 7 hạ nhiệt độ xuống thấp hơn nhiệt độ của hơi nước trong thiết bị 5 để làm cho hơi nước thăng hoa từ vật sấy 2 sẽ được ngưng tụ hết rồi chảy ra ngoài. Nhiệt lượng do thiết bị 3 và 4 cấp cho vật sấy vừa đủ để cấp cho một lượng H_2O thăng hoa khỏi vật sấy. Hệ thống sấy thăng hoa loại này làm việc gián đoạn (theo mẻ). Áp suất chung trong buồng sấy bằng $(13 \div 130) \text{Pa}$, nhiệt độ bằng $-20(^{\circ}\text{C})$ đến $-60(^{\circ}\text{C})$; nhiệt độ vật sấy từ $-15(^{\circ}\text{C})$ đến $-40(^{\circ}\text{C})$, nhiệt độ ngưng tụ của hơi nước là $-40(^{\circ}\text{C})$ đến $-70(^{\circ}\text{C})$, nhiệt độ của chất tải lạnh là $-50(^{\circ}\text{C})$ đến $-80(^{\circ}\text{C})$.

Thời gian sấy thăng hoa phụ thuộc vào đối tượng sấy, bằng khoảng từ 6h đến 16h.



Hình 6-8. Nguyên lý cấu tạo và hoạt động của máy sấy thăng hoa làm việc gián đoạn

- 1- buồng sấy; 2- vật sấy đông lạnh; 3- thiết bị cấp nhiệt; 4- thiết bị bức xạ nhiệt;
5- buồng ngưng; 6- bơm chân không; 7- máy lạnh; 8- chất tải lạnh; 9- nước ngưng;
10-nguồn nhiệt; 11- nguồn điện



Hình 6-9. Nguyên lý cấu tạo và hoạt động của buồng sấy thăng hoa liên tục.

- 1- buồng sấy; 2- buồng nạp liệu; 3- thiết bị cấp nhiệt bằng bức xạ; 4- băng tải; 5- thiết bị ngưng tụ; 6- thiết bị tháo sản phẩm.

Ngoài sấy thăng hoa gián đoạn còn có sấy thăng hoa liên tục (hình 6-9) hoặc sấy thăng hoa theo chu kỳ.

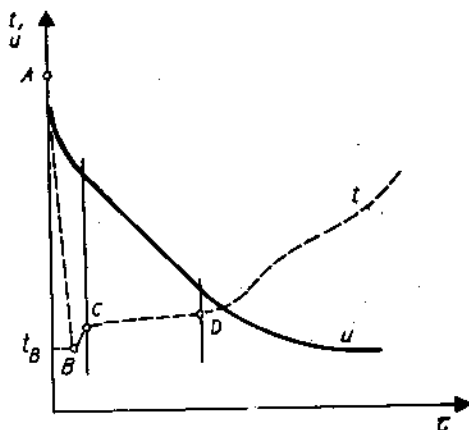
Các thiết bị 2; 5; 6 khi làm việc phải đảm bảo không làm lọt nhiều không khí để tránh phá vỡ chế độ sấy thăng hoa.

Như trên đã nói, muốn có quá trình thăng hoa (từ thể rắn sang thể hơi) thì trước hết phải làm lạnh đông vật sấy. Quá trình làm lạnh đông vật sấy được thực hiện bằng hai cách. Cách thứ nhất là dùng máy lạnh đông hoặc nitơ lỏng để làm lạnh đông vật sấy bên ngoài buồng sấy thăng hoa. Cách thứ hai là vật sấy tự lạnh đông ngay trong buồng sấy thăng hoa bằng hút chân không.

Hình 6-10 biểu diễn đường cong sấy (u) và đường cong nhiệt độ (t) của vật sấy theo thời gian sấy τ trong quá trình sấy thăng hoa mà vật sấy tự lạnh đông trong buồng sấy. Khi hút chân không, áp suất trong buồng sấy giảm xuống; ẩm tự do trong vật sấy bay hơi mạnh, làm giảm nhanh nhiệt độ của nó xuống đến nhiệt độ đóng băng (t_B) của ẩm (đường $A-B$). Quá trình đóng băng của ẩm có toả nhiệt nên nhiệt độ của vật sấy tăng lên một chút ($B-C$). Quá trình thăng hoa ẩm diễn ra khác với quá trình sấy thứ nhất (tốc độ sấy không đổi) trong sấy đối lưu là nhiệt độ tăng lên một ít theo thời gian sấy (đoạn $C-D$ dốc lên). Điều đó được giải thích là ở lớp sâu bên trong vật sấy còn có ẩm đang đóng băng.

Giai đoạn sấy thứ hai là giai đoạn bay hơi ẩm liên kết, nhiệt độ của vật sấy tăng nhanh.

Do áp suất trong buồng sấy thăng hoa nhỏ hơn áp suất khí quyển



Hình 6-10. Đường cong sấy và đường cong nhiệt độ sấy trong sấy thăng hoa

nên luôn có không khí lọt vào. Bơm chân không có nhiệm vụ hút hết lượng khí không ngưng từ vật sấy thoát ra và cả lượng không khí lọt vào. Lượng khí không ngưng từ vật sấy phụ thuộc vào loại vật sấy, lượng không khí lọt vào phụ thuộc vào cấu tạo của buồng sấy, nhất là ở các bộ phận nạp liệu, tháo sản phẩm, xả nước ngưng của buồng sấy làm việc liên tục. Nói chung khó tính chính xác các đại lượng trên. Thông thường người ta căn cứ vào năng suất, cấu tạo của buồng sấy để chọn bơm chân không sao cho có lưu lượng đủ lớn để có thể điều chỉnh được áp suất trong buồng sấy bằng việc mở thêm cửa cho không khí vào phía cửa hút của bơm.

PHỤ LỤC

Phụ lục 1. Thành phần hóa học của một số nông sản và thực phẩm (tính cho 100 g sản phẩm)

[illegible]

Phụ lục 2. Độ ẩm cân bằng của sản phẩm (%) phụ thuộc vào nhiệt độ và độ ẩm của không khí

Sản phẩm	Nhiệt độ, °C	Độ ẩm tương đối của không khí, %								
		20	30	40	50	60	70	80	90	100
Lúa	20	7,5	9,1	10,4	11,4	12,5	13,7	15,2	17,6	0
	30	-	8	9,1	10,1	11,1	12,6	14	16,6	22,0
Gạo	20	8	9,6	10,9	12	13	14,6	16	18,7	-
	30	-	8,3	9,8	10,7	11,8	13,1	14,7	17,3	22,5
Ngô	20	8,2	9,4	10,7	11,9	13,2	14,9	16,9	19	-
	30	-	8,3	9,5	10,6	11,6	13,8	15,9	17,9	22,0
Đậu tương	50	5,5	6,7	8,0	9,2	10,4	12	13,6	16,1	-
	20	5,4	6,5	7,1	8	9,5	11,6	15,3	20,9	-
Tinh bột	20	39	5,1	6,9	8,5	10,1	12,6	15,8	19,0	-
Lá thuốc lá	20	10,8	13,9	16,35	19,8	23	27,1	33,4	-	-
Chè búp xanh	20	6,9	8	8,5	8,7	9	15	21	28	-
Mì sợi	20	7,1	8,7	10,6	12,2	13,7	16,6	18,8	22,4	-

Phụ lục 3. Kích thước và đường kính tương đương của một hạt ngũ cốc

T.t	Vật liệu	Kích thước, mm			Khối lượng 1000 hạt (g)	d_w , mm	φ
		dây δ	rộng b	dài l			
1	Lúa mì	1,5 - 3,8	1, - 4	4,2 - 8,6	22 - 42	2,72	1,45
2	Gạo	1,2 - 2,8	2,5 - 4,3	5 - 12	24 - 31	2,76	1,68
3	Ngô	3 - 8	5 - 11	5,2 - 14	205 - 345	7,50	1,03
4	Kê	1 - 2,2	1,2 - 3	1,8 - 3,2	6 - 65	1,38	1,35
5	Đậu	3,5 - 8	3,7 - 8	4 - 8,8	155	6,2	1,00

Phụ lục 4. Thông số vật lý của một số thực phẩm

T.T	Vật liệu	Khối lượng riêng, kg/m ³		Khối lượng 1000 hạt, g	Nhiệt dung riêng C		Hệ số dẫn nhiệt λ	
		γ _v	Khối hạt γ _k		kcal/kg.°K	kJ/kg.°K	kcal/mh.°K	W/m.°K
1	Lúa mì	1200 - 1500	730 - 859	22 - 42	0,35 - 0,37	1,55 - 1,46	0,08	0,10
2	Gạo	1100 - 1200	470 - 530	24 - 34	-	-	0,086	0,09
3	Ngô	1000 - 1300	600 - 850	205 - 345	-	-	-	-
4	Kê	800 - 1200	-	6 - 6,5	-	-	-	-
5	Đậu	1000 - 1490	-	155	-	-	-	-
6	Đậu nành	1000 - 1400	-	265	-	-	-	-
7	Muối ăn	1000 - 1400	-	-	0,21 - 0,22	0,87 - 0,92	-	-
8	Đường cát	-	-	-	0,25 - 0,28	1,04 - 1,07	0,103	0,120
9	Khoai tây	1044 - 1058	650 - 750	-	-	-	0,37 - 0,46	0,43 - 0,54
10	Cà rốt	973 - 1040	550 - 650	-	0,869 - 0,94	3,64 - 3,936	0,43 - 0,78	0,5 - 0,93
	Củ cải	1080 - 1120	833	-	0,895 - 3,85	3,76 - 3,85	0,41 - 0,48	0,48 - 0,61

Phụ lục 5. Độ ẩm bảo quản của hạt nông sản

Vật liệu	$\omega_{\min}$	ω_{TB}	$\omega_{\max}$
Lúa mì, gạo	14	15,50	17
Ngô	14	17	20
Kê	13,50	15	17
Đậu nành	16	18	20
Đậu	14	17	19
Hạt giống hướng dương	15	17	20
Hạt đay	11	12	14

Phụ lục 6. Nhiệt độ cho phép khi sấy hạt nông sản

Thời gian sấy τ , phút	Độ ẩm w , %						
	5	10	15	20	25	30	35
5	<u>71,5</u>	<u>67,4</u>	<u>63,6</u>	<u>60,4</u>	<u>57,6</u>	<u>65,2</u>	<u>52,8</u>
	87,5	74,3	66,4	61,1	56,7	53,2	50,6
10	<u>68,5</u>	<u>64,4</u>	<u>60,6</u>	<u>57,4</u>	<u>54,6</u>	<u>52,2</u>	<u>49,8</u>
	85,8	72,6	64,7	59,4	55	51,5	48,9
15	<u>66,7</u>	<u>62,6</u>	<u>58,8</u>	<u>55,6</u>	<u>52,8</u>	<u>50,4</u>	<u>48</u>
	84,8	71,6	58,4	54	54	50,5	47,9
30	<u>63,6</u>	<u>59,6</u>	<u>55,8</u>	<u>52,6</u>	<u>49,8</u>	<u>47,4</u>	<u>45</u>
	83,3	70,1	62,2	56,9	52,5	49	46,4
45	<u>62</u>	<u>57,9</u>	<u>54,1</u>	<u>50,9</u>	<u>48,1</u>	<u>45,7</u>	<u>43,3</u>
	82,3	69,1	61,2	55,9	51,5	48	45,4
60	<u>60,7</u>	<u>56,6</u>	<u>52,8</u>	<u>49,6</u>	<u>46,8</u>	<u>44,4</u>	<u>42</u>
	81,6	68,4	60,5	55,2	50,8	47,3	44,7
90	<u>59</u>	<u>54,9</u>	<u>51,1</u>	<u>47,9</u>	<u>45,1</u>	<u>42,7</u>	<u>40,3</u>
	80,7	67,5	59,6	54,3	49,9	46,4	43,8
180	<u>55,5</u>	<u>51,4</u>	<u>47,6</u>	<u>44,4</u>	<u>41,6</u>	<u>39,2</u>	<u>36,8</u>
	78,8	65,6	57,7	52,4	48	44,5	41,9

Chú ý: Lấy giá trị trên hay dưới gạch ngang đều được

Phụ lục 7. Thông số vật lý của một số vật liệu

TT	Vật liệu	λ		C	
		kcal/m.h [°] K	W/m. [°] K	kcal/kg. [°] K	kJ/kg. [°] K
1	Đất sét	0,15-0,8	0,17-0,93	0,20	0,84
2	Thuỷ tinh	0,80	0,930	0,20	0,84
3	Tấm cách nhiệt	0,37	0,41	0,26	1,09
4	Xì	0,10	0,12	0,20	0,84
5	Bê tông xi	0,19	0,22	-	-
6	Gỗ sồi	0,18-0,31	0,21-0,36	0,33	1,38
7	Gỗ thông	0,30	0,35	0,33	1,38
8	Gạch đỏ	1,14-1,33	1,33-1,45	0,22	0,92
9	Dạ	0,33	0,38	0,25-0,34	1,046-1,42
10	Gạch chịu lửa	-	-	0,21-0,24	0,87-1,00
11	Bê tông xốp	0,63-0,81	0,73-0,94	0,18	0,75
12	Sắt	60	71,58	0,12	0,50
13	Đồng	320	372,16	0,09	0,38
14	Giấy	0,11	0,13	0,32	1,34
15	Carton	0,16	0,19	-	-
16	Mùn cưa	0,045-0,055	0,052-0,069	-	-
17	Xi măng	0,78	0,91	0,20	0,84
18	Nước	0,5	0,60	1	4,816
19	Cát	0,97	1,13	0,17-0,22	0,71-0,92
20	Than bùn	0,07	0,081	-	-

Phụ lục 8. Các tiêu chuẩn đồng dạng chính trong kỹ thuật sấy

Tên gọi	Kí hiệu	Công thức	Ý nghĩa vật lý
Fourier	F_o	$\frac{a \cdot \tau}{l^2}$	thời gian không thứ nguyên
Raynold	Re	$\frac{\omega l}{\nu}$	tính chất chuyển động
Gratgôp	Gr	$\beta \frac{g l^3}{\nu^2} \Delta t$	đặc trưng cho lực tự năng
Prant truyền nhiệt	Pr	$\frac{\nu}{a}$	quán tính của trường lực ma sát và nhiệt độ
Prant truyền chất	Pr_m	$\frac{\nu}{a_m}$	quán tính của trường lực ma sát và nồng độ
Nussen truyền nhiệt	Nu	$\frac{\alpha l}{\lambda}$	cường độ giữa truyền nhiệt và dẫn nhiệt trong lớp biên
Nussen truyền chất	Nu_m	$\frac{\alpha_m l}{\lambda}$	cường độ giữa truyền chất và dẫn chất trong lớp biên
Biô truyền nhiệt	Bi	$\frac{\alpha l}{\lambda}$	cường độ giữa truyền nhiệt và dẫn nhiệt trên bề mặt
Biô truyền chất	Bi_m	$\frac{\alpha_m l}{\lambda}$	cường độ giữa truyền chất và dẫn chất trên bề mặt
		$\frac{q l}{\lambda \Delta t_o}$	cường độ giữa dòng nhiệt trên biên và dẫn nhiệt bên trong
Kirpichev truyền chất	Ki_m	$\frac{q_m l}{a_m u_o \rho_o}$	cường độ giữa dòng vật chất trên biên và dẫn chất bên trong
Luikov	Lu	$\frac{a_m}{a}$	quán tính giữa trường nhiệt độ và trường nồng độ
Rebinder	Rb	$\frac{c}{m} \frac{dt}{du}$	quan hệ giữa nhiệt lượng đốt nóng và nhiệt lượng cần bốc hơi
Pamerans	Po	$\frac{q_v l^2}{\lambda \Delta t}$	quan hệ giữa nguồn nhiệt và dẫn nhiệt trong vật
Phêđôrôv	Fe	$\sqrt[3]{\frac{4d^3(\gamma_v - \gamma_k)g}{\nu_k^2 \gamma_k}}$	thể hiện lực nâng giữa không khí và vật liệu sấy
Archimédés	Ar	$\frac{d^3(\gamma_v - \gamma_k)g}{\nu_k^2 \gamma_k}$	thể hiện lực nâng giữa không khí và vật liệu sấy
Ly	Ly	$\frac{3(\omega_1^3 \gamma_k)g}{\gamma_k \gamma_v s}$	thể hiện lực nâng giữa không khí và vật liệu sấy

Phụ lục 9. Thông số vật lý của không khí khô

$t, ^\circ\text{C}$	c_p kJ/kg. $^\circ\text{K}$	$\lambda \cdot 10^{-2}$ W/m. $^\circ\text{K}$	$q \cdot 10^{-6}$ m ² /s	$\mu \cdot 10^6$ N.s/m ²	$\nu \cdot 10^{-6}$ m ² /s	Pt	ρ kg/m ³
10	1,005	2,51	20,00	17,60	14,16	0,705	1,207
20	1,005	2,59	21,40	18,10	15,06	0,703	1,166
30	1,005	2,67	22,90	18,60	16,00	0,701	1,134
40	1,005	2,67	24,30	19,10	16,69	0,699	1,092
50	1,005	2,83	25,70	10,60	17,95	0,698	1,058
60	1,005	2,90	27,20	20,10	18,97	0,696	1,026
70	1,005	2,96	28,60	20,60	20,02	0,694	0,996
80	1,005	3,05	30,20	21,10	21,09	0,694	0,968
90	1,005	3,13	31,90	21,50	22,10	0,690	0,941
100	1,005	3,21	33,60	21,90	23,13	0,688	0,916
120	1,009	3,34	36,80	22,80	25,45	0,686	0,896
140	1,013	3,49	40,30	23,70	27,80	0,684	0,827
160	1,017	3,64	43,90	24,50	30,09	0,682	0,789
180	1,022	3,78	47,50	25,30	32,49	0,681	0,754
200	1,026	3,99	51,40	26,00	34,85	0,680	0,722

GIÁO TRÌNH
KỸ THUẬT SẤY NÔNG SẢN THỰC PHẨM

Tác giả: NGUYỄN VĂN MAY

Chịu trách nhiệm xuất bản : PGS. TS. TÔ ĐĂNG HẢI

Biên tập : NGUYỄN NGỌC-PHẠM VĂN

QUANG HUY

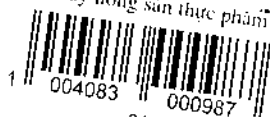
Vẽ bìa : HUƠNG LAN

NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT
70 Trần Hưng Đạo - Hà Nội

In 500 cuốn, khổ 14,5 x 20,5 cm, tại Xi nghiệp in Thương mại.
Giấy phép xuất bản số: 469-133. Cục Xuất bản cấp ngày 19/4/2004.
In xong và nộp lưu chiểu tháng 7/2004.

204132

giới thiệu nông sản thực phẩm



24.000 VND

Giá: 24.000đ