

DÒNG CHẢY HAI PHA CỦA CHẤT LỎNG

§XV-1. CÁC KHÁI NIỆM CƠ BẢN

Dòng hai pha của chất lỏng là loại dòng chảy bao gồm : a- hoặc là các hạt cứng ở trạng thái lơ lửng ; trọng lượng riêng của hạt cứng trong trường hợp này có thể lớn hơn, cũng có thể nhỏ hơn trọng lượng riêng của chất lỏng ; b- hoặc là các hạt của một loại chất lỏng khác nặng hơn hoặc nhẹ hơn ; c- hoặc cuối cùng là các bọt khí, ví dụ các bọt được chứa đầy không khí hoặc hơi của chính chất lỏng.

Trong thực tế xây dựng công trình thủy dòng chất lỏng hai pha rất hay gặp, ví dụ khi nghiên cứu dòng nước có chứa các hạt chất lơ lửng (được gọi là bùn cát lơ lửng) ; hoặc là khi nghiên cứu dòng nước có chứa các bọt không khí (dòng hàm khí) v.v... Dòng hai pha cũng được hình thành trong vận tải bằng sức nước, khi sự vận chuyển các hạt cứng (ví dụ các hạt đất) được thực hiện bằng phương pháp cơ giới hóa thủy lực.

Đôi khi dòng hai pha cũng như một số dòng một pha và dòng nhiều pha có thể hiểu là các dòng sau đây :

1. Hoặc là dòng được gọi là dòng chất lỏng phi Niuton, khi mà ứng suất tiếp ma sát dọc τ của nó (đối với dòng chảy thẳng) được biểu thị không phải bằng biểu thức Niuton mà bằng biểu thức sau :

$$\tau = \eta \left(\frac{du}{dn} \right)^k \quad (1)$$

Trong đó : k - số mũ khác 1, còn các kí hiệu khác xem ở chương trước.

2. Hoặc là dòng được gọi là dòng chất lỏng dị thường (ví dụ dòng bùn đá) mà τ được biểu thị bằng :

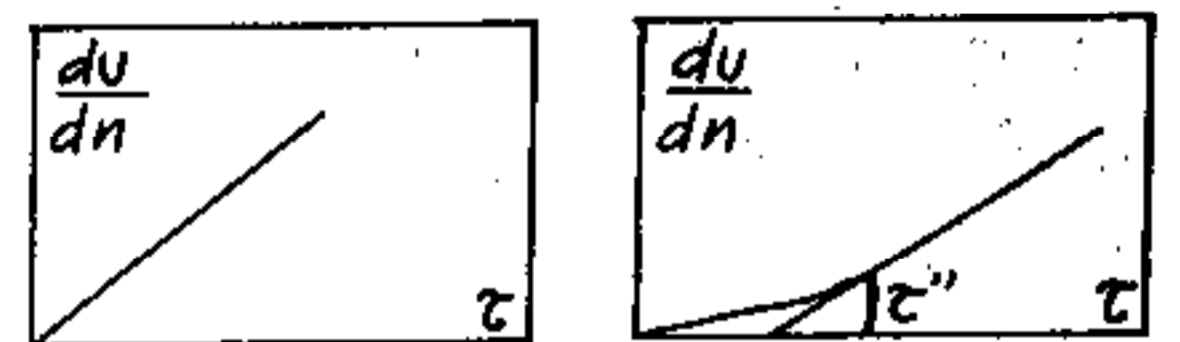
a) Hoặc là bằng công thức Bingam :

$$\tau = \tau' + \eta \frac{du}{dn} \quad (2)$$

b) Hoặc là bằng công thức Svedôp :

$$\tau = \tau' + \eta \left(\frac{du}{dn} \right)^k \quad (3)$$

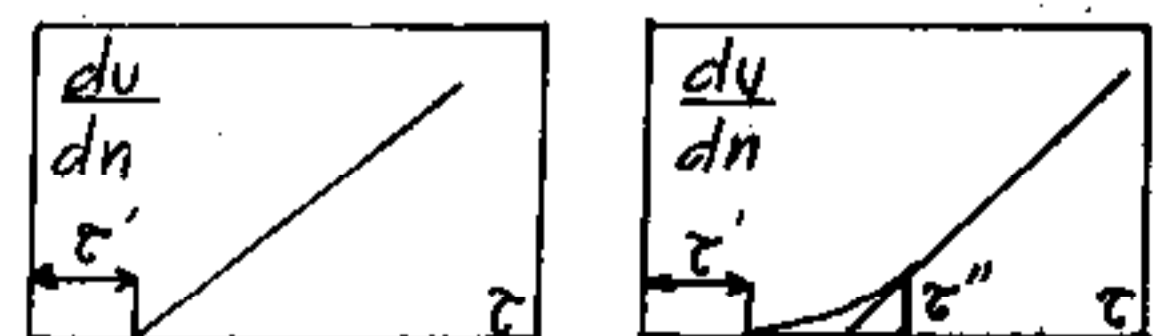
Từ các công thức (2) và (3) đối với chất lỏng chuyển động, khác với chất lỏng thông thường, chất lỏng dị thường khi ở trạng thái tĩnh có thể có ứng suất tiếp τ bằng hoặc nhỏ hơn một đại lượng τ' nào đấy.



Chất lỏng

a) Niuton

b) Phi Niuton



Chất lỏng dị thường

c) Bingam

d) Svedôp

Sau đây ta không xem xét riêng chất lỏng dị thường, mà để nhằm mục đích tính toán loại chuyển động này đã có một số lý thuyết đặc biệt được hình thành. Các lý thuyết đó được dựa trên việc sử dụng các công thức (2) và (3). Ta chỉ nghiên cứu dòng nước, tuân theo quy luật Niuton, trong đó chủ yếu là dòng chảy có chứa các hạt cứng ở trạng thái lơ lửng, ví dụ các hạt đất.

Hỗn hợp cơ học giữa các hạt đất với nước được gọi là hỗn hợp nước đất; dòng chảy mang hỗn hợp đó được gọi là dòng lơ lửng; khi dòng chứa một hàm lượng lớn các hạt đất thì được gọi là dòng bùn.

Khi nghiên cứu dòng lơ lửng cần phân biệt:

a) Lòng dẫn, chịu tác động xói mòn, tức là lòng dẫn mà dưới một trị số vận tốc nhất định của nước có thể bị xói và dòng chảy lúc đó chứa bão hòa các hạt đất.

b) Lòng dẫn, hoàn toàn không chịu tác động xói mòn, ví dụ lòng dẫn được phủ một lớp áo bê tông, trong lòng dẫn đó ban đầu chỉ có thể xuất hiện sự lắng đọng (rơi) của các hạt bùn cát từ trong nước, vì vậy loại lòng dẫn này chỉ có thể là lòng dẫn bị lắng đọng.

Nói chung có thể phân đất tạo nên lòng dẫn thành:

a) Hoặc là đất dính, khi mà giữa các hạt riêng lẻ tồn tại một lực dính kết (các hạt như là được dán chặt vào với nhau); ví dụ như đất sét.

b) Hoặc là đất không dính (rời), tức là không tồn tại lực dính; ví dụ như cát, cuội, sỏi v.v...

Sau đây ta chỉ nghiên cứu loại đất không dính (đất có cát).

Kích thước hạt của đất có cát thường là không giống nhau. Thành phần hạt của đất có cát được xác định bằng đường cong thành phần hạt, được xây dựng trên cơ sở thí nghiệm đối với từng loại đất.

Tốc độ rơi đều của một hạt cứng có trọng lượng nhất định trong một thể tích lớn nước tĩnh được gọi là độ thô thủy lực của hạt đó. Tốc độ đó được kí hiệu bằng w_0 và phụ thuộc vào hình dạng hình học và kích thước của hạt, vào trọng lượng riêng của vật chất cấu tạo nên hạt cũng như vào độ nhớt của chất lỏng. Giá trị của w_0 được xác định bằng thực nghiệm. Trong thực tế người ta cho rằng tốc độ rơi tương đối của hạt cứng đối với chuyển động của nước, tức là hình chiếu đứng (so với nước) của tốc độ tương đối của chuyển động hạt cũng bằng w_0 .

Khi xem xét dòng lơ lửng cần thiết phải giải các bài toán có ý nghĩa thực tiễn sau đây:

1. Xác định đại lượng tổn thất cột nước trong chuyển động của hỗn hợp nước - đất, khi nó có mức độ bão hòa hạt cứng khác nhau;

2. Đánh giá khả năng xói của dòng chảy, tức là làm rõ khả năng lòng dẫn bị xói cũng như xác định vận tốc và trị số giới hạn của khu vực bị xói;

3. Giải quyết các vấn đề khác nhau có liên quan đến sự vận chuyển bùn cát, xác định lượng bùn cát mà dòng chảy có thể tải được, tìm vận tốc tới hạn (không lắng đọng) là vận tốc mà với giá trị bé hơn nó lòng dẫn sẽ bị lắng rất nhanh, bởi vì khi đó sức tải cát trong lòng dẫn không còn;

4. Đánh giá khả năng lắng đọng của dòng chảy, tức là làm rõ khả năng và vận tốc lắng đọng của lòng dẫn đang xét do các hạt cứng từ dòng lơ lửng bị rơi xuống đáy lòng dẫn.

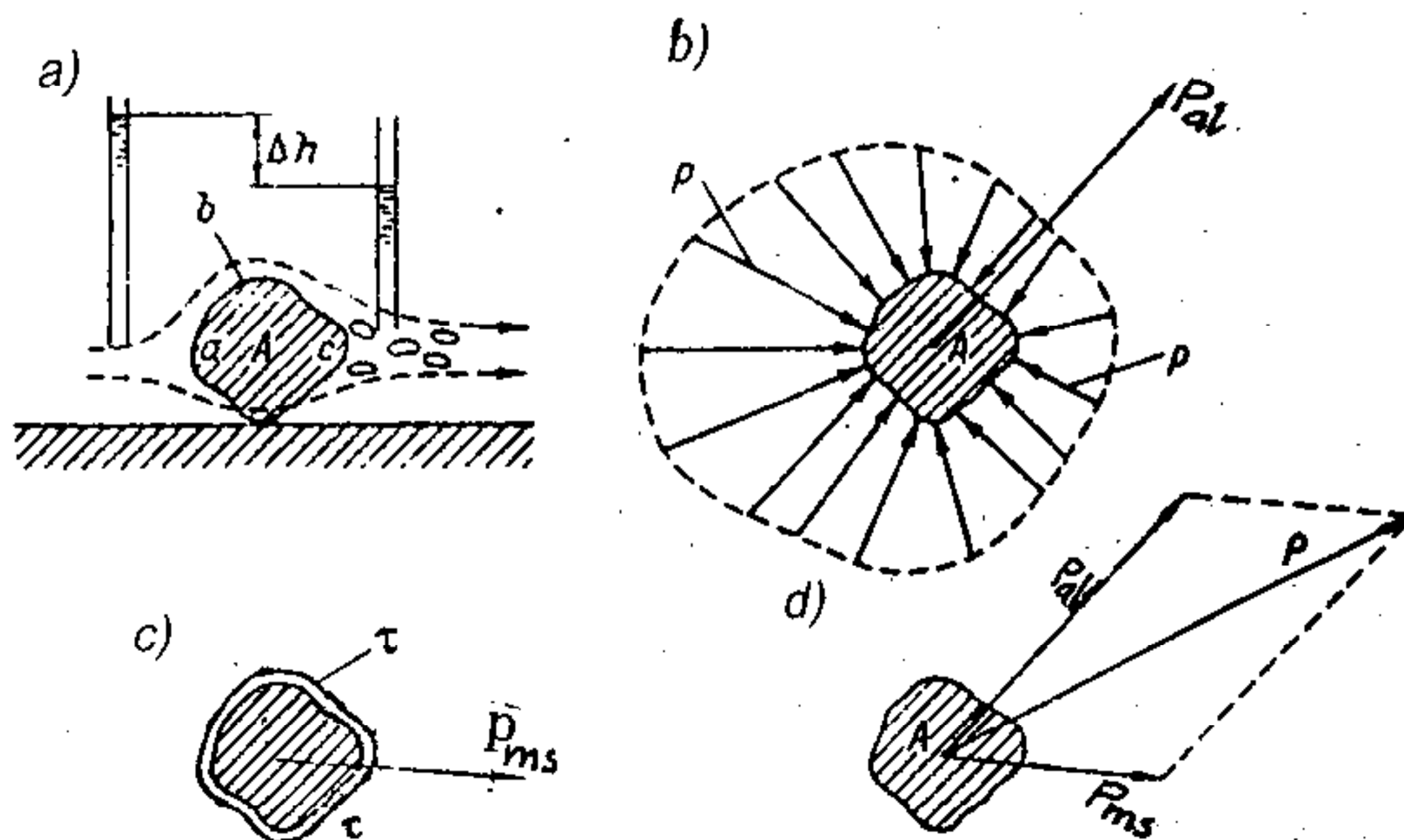
Từ các vấn đề 2. và 3. nói trên, trong trường hợp cụ thể ta có thể gặp ;

- a) Khi thiết kế bể lắng cát, tức là một bể chứa đặc biệt có chức năng giữ bùn cát trong dòng lơ lửng để làm sạch nước ;
- b) Khi thiết kế đập hoặc trụ cầu v.v... mà thường sau chúng hay xuất hiện xói cục bộ lòng sông (đôi khi cũng xuất hiện cả lắng cục bộ nữa) ;
- c) Trong việc nghiên cứu biến dạng lòng sông, khi phải đề cập đến xói chung hoặc lắng chung (diễn ra trên một chiều dài đáng kể của lòng sông) ;
- d) Trong việc nghiên cứu hiện tượng bồi lắng nhân tạo lòng hồ v.v...

§XV-2. TÁC ĐỘNG CƠ HỌC (LỰC) CỦA DÒNG CHẢY ĐẾN HẠT ĐẤT NẪM YÊN VÀ ĐƯỢC CHẢY BAO TRÊN ĐÁY LÒNG DẪN

Trên hình vẽ, một hạt cứng A nằm yên trên đáy lòng dẫn, hạt này sẽ được "bao" bởi các đường dòng tương ứng của dòng chảy, trong đó do tổn thất cột nước nên áp suất thủy động p trên đường abc thuộc phía trên hạt sẽ lớn hơn là phía dưới (xem trên hình vẽ các ống đo áp Π , chỉ hiệu số chiều cao áp suất Δh). Trong trường hợp tổng quát bề mặt của hạt A sẽ chịu tác động của sự phân bố không đều của áp suất thủy động p (hình b), do đó ta có thể thay thế tổng số hình học các ứng suất pháp nguyên tố bằng một vectơ P_{al} .

Ngoài các ứng suất pháp p , trên bề mặt hạt còn có tác động ứng suất ma sát tiếp τ (hình c). Các ứng suất này, bằng cách làm như trên, được thay thế bằng một vectơ P_{ms} . Khi cộng hai vectơ P_{al} và P_{ms} như trên đã rõ, về bản chất vật lí, ta sẽ có một lực P (hình d). Lực đó là lực tác động cơ học của dòng chảy đến hạt cứng nằm yên. Do đó trị số và phương của lực P phụ thuộc vào hình dạng và kích thước của hạt, cũng như vào các điều kiện chuyển động của nước tại thời điểm và tọa độ xác định.



Sơ đồ tác động cơ học của dòng chảy đối với vật rắn nằm yên được chảy bao

Quan sát nhiều hạt cát nằm trên đáy lòng dẫn và có các kích thước, hình dạng khác nhau cũng như trong các điều kiện chảy bao khác nhau, có thể thấy rằng mỗi hạt đều phải chịu tác động một lực P_d của mình. Đối với một số hạt tại một thời điểm nhất định lực P_d sẽ có thành phần đứng P_d hướng xuống dưới và do đó tại thời điểm đang xét các hạt như vậy sẽ bị kéo xuống đáy. Còn đối với các hạt khác lực thành phần đứng P_d tại thời điểm đó sẽ hướng lên trên và sẽ là lực nâng. Do đó đối với một hạt cát bất kì nào đó thì lực P_d lớn hơn trọng lượng bản thân G

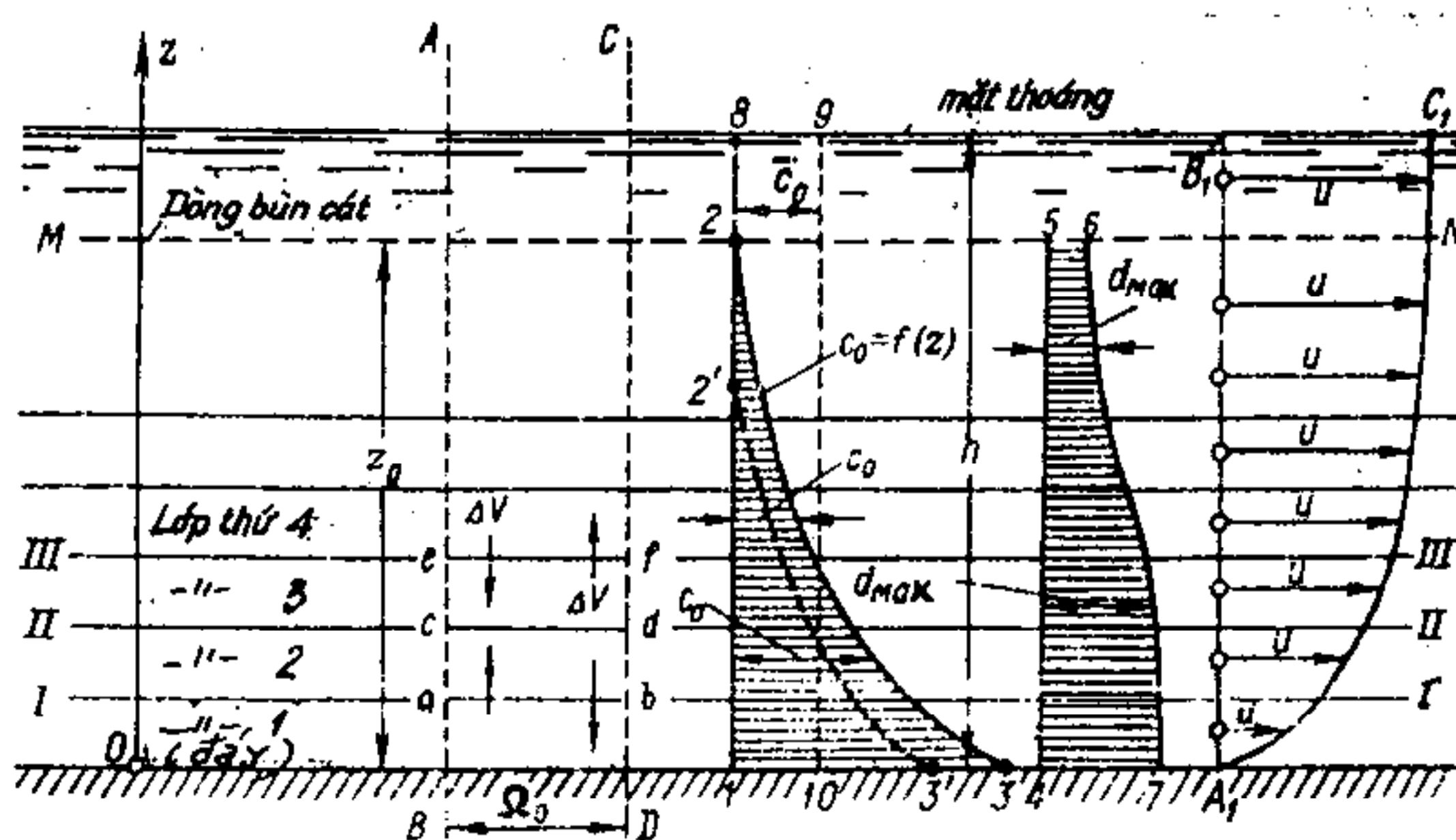
$$P_d > G \quad (4)$$

và nếu thời gian tác động của lực thành phần đứng nói trên tương đối dài, thì hạt cát này có thể bứt ra khỏi đáy và rơi vào dòng chảy đáy.

§XV-3. CƠ CHẾ CỦA DÒNG RỐI BẢO HÒA CÁC HẠT CỨNG CÓ TRỌNG LƯỢNG (CÁC HẠT ĐẤT, CÁT)

Ở trên ta đã có nhận xét là các hạt nằm ở đáy lòng dẫn do chịu tác động của chuyển động nước, có thể rơi xuống lớp đáy của dòng chảy (dòng chảy đáy).

Trong chuyển động tầng với độ thô thủy lực w_0 , một hạt cứng nằm trong dòng chảy sẽ rơi xuống đáy ở vị trí xuôi theo chiều chảy một ít; hạt đó sẽ bị dòng chảy di chuyển với vận tốc bằng vận tốc dọc và sẽ rơi xuống đáy dưới tác động của trọng lực với tốc độ bằng w_0 . Do đó trong chuyển động tầng sự bảo hòa dòng chảy bằng các hạt cứng có trọng lượng khi các hạt này được cung cấp từ đáy lòng dẫn là không thể xảy ra; tuy nhiên có thể quan sát được sự dịch chuyển theo chiều chảy của một số hạt.



Cơ chế dòng bảo hòa các hạt cứng có trọng lượng

$A_1 - B_1 - C_1$ - biểu đồ vận tốc dọc trung bình; 1-2-3-1 và 1-2'-3'-1 - biểu đồ cục bộ tới hạn (giới hạn tối đa) của nồng độ c_0 của pha cứng; 4-5-6-7 - biểu đồ quan hệ giữa đường kính lớn nhất của hạt lơ lửng d_{max} và tọa độ z .

Một bức tranh hoàn toàn khác khi xét đến chuyển động rối. Như ta đã biết dòng rối khác với dòng tầng ở chỗ trong dòng rối tồn tại vận tốc mạch động đứng u'_z . Các vận tốc mạch động đó đã vẽ nên bức tranh chuyển động của lớp đáy gồm những hạt cứng được tách rời khỏi đáy như sau :

Trên hình vẽ là mặt cắt dọc, đứng của một dòng rối nước sạch. Ta dùng các mặt cắt I-I, II-II, III-III chia dòng đó thành những lớp nguyên tố, song song với đáy (xem trên hình vẽ các lớp 1, 2, 3...) Lòng dẫn được xem là cấu thành bởi cát, có nghĩa là lòng dẫn thuộc loại bị xói.

Giả thiết là từ một diện tích đáy có giá trị là Ω_0 (giới hạn bởi các mặt A-B và C-D) trong một thời đoạn nhất định Δt một lượng cát nào đó rơi vào phạm vi của lớp thứ nhất (lớp đáy) do nguyên nhân đã nói mục XV-2 (ví dụ 1000 hạt).

Để dễ hình dung ta giả thiết rằng trong dòng chảy không có vận tốc dọc (trong đó chuyển động của bùn cát đáy cũng không tồn tại) ; vì thế chỉ còn lại vận tốc mạch động đứng u'_z . Khi xem xét một sơ đồ giả định, trên mặt I-I là mặt phân cách giữa lớp thứ nhất và lớp thứ hai của dòng chảy, ta lấy một diện tích ab đúng bằng diện tích đáy Ω_0 . Hiển nhiên là qua một thời đoạn không dài lắm, một phần trong số 1000 hạt cát nói trên với vận tốc.

$$u \downarrow = u'_z \downarrow + w_0 \quad (5)$$

rơi trở lại đáy ; một phần khác (nhỏ hơn) với vận tốc

$$u \uparrow = u'_z \uparrow - w_0 \quad (6)$$

đi qua mặt cắt a-b và xâm nhập vào lớp thứ 2 của dòng chảy ; dĩ nhiên ta chỉ có những hạt có kích thước nhỏ mới thực hiện được một chuyển động lên như vậy vì các hạt đó có vận tốc mạch động lên $u'_z \uparrow$ (tại thời điểm xác định) lớn hơn là độ thô thủy lực w_0 .

Tiếp theo tương tự ta có thể xét diện tích c-d, là mặt phân chia giữa lớp thứ 2 và thứ 3 của dòng chảy, và có thể khẳng định được rằng một lượng (nói chung là nhỏ) các hạt cát (trong số 1000 hạt nói trên tại thời điểm tiếp theo do có vận tốc $u'_z \uparrow$ sẽ chuyển từ lớp thứ 2 lên lớp thứ 3 v.v...

Do đó ta thấy rằng, nhờ có vận tốc mạch động đứng u'_z mà dòng rối (đối với lòng dẫn bị xói) sẽ dần dần được cát làm bão hòa với chiều dày lớp bão hòa theo phương z ngày càng tăng. Quá trình bão hòa cát đó của dòng rối sẽ tiếp tục đến một giới hạn nhất định, sau đó mức độ bão hòa cát (gồm những hạt cứng được lấy từ đáy lên) sẽ được ổn định.

Quá trình bão hòa cát của dòng chảy trong suốt cả chu kì bão hòa cho đến giới hạn nói trên được diễn ra như sau :

a) Đối với một mặt cắt chọn tùy ý, ví dụ mặt a-b, thể tích hỗn hợp đi lên qua mặt cắt đó (trong một thời đoạn Δt đó) sẽ lớn hơn pha cứng đi

xuống cũng qua mặt cắt đó trong thời đoạn Δt đó ; còn các thể tích hỗn hợp ΔV , đi lên và đi xuống mặt cắt a-b cùng trong thời đoạn Δt , tất nhiên do điều kiện liên tục phải bằng nhau : $\Delta V \uparrow = \Delta V \downarrow$; do đó trong cả chu kỳ bão hòa cát trong thể tích $\Delta V \uparrow$ phải chứa nhiều pha cứng hơn là các thể tích $\Delta V \downarrow$;

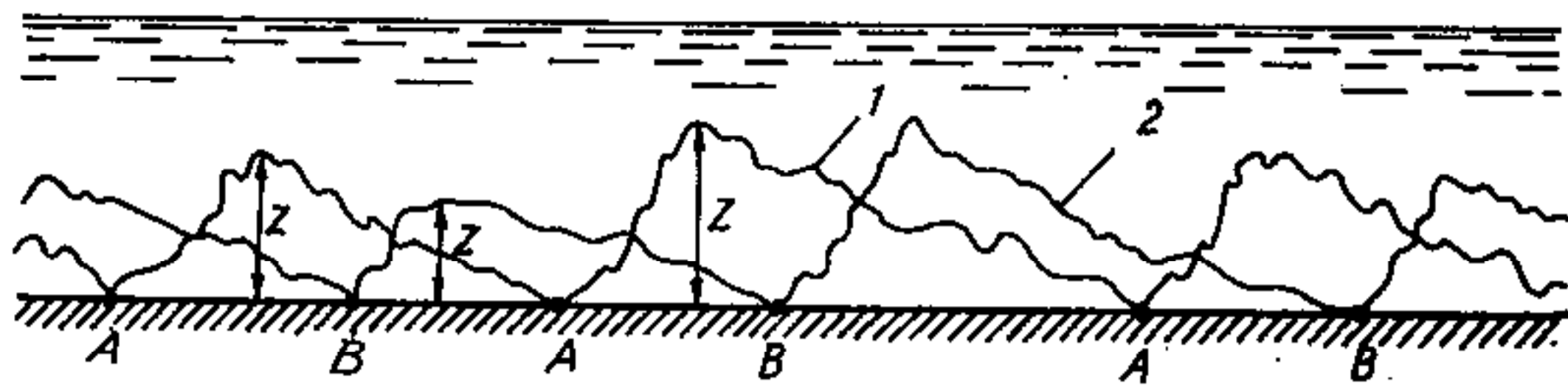
b) Các thể tích của pha cứng $C_d \uparrow$, được bứt khỏi đáy lòng dẫn để đi vào dòng chảy sẽ lớn hơn các thể tích của pha cứng $C_d \downarrow$, là những thể tích mà dưới tác động của vận tốc $u'_z \downarrow$ sẽ rơi trở lại đáy lòng dẫn ($C_d \uparrow > C_d \downarrow$) ; vì vậy trong chu kỳ dòng chảy bị bão hòa cát, đáy lòng dẫn phải hạ thấp xuống, tức là lòng dẫn bị xói.

Sau khi độ bão hòa của dòng chảy đã *ổn định*, ta có hiện tượng khác trước : trong thời đoạn Δt các thể tích ΔV , cũng như các thể tích của pha cứng C_d đi lên và đi xuống qua mặt cắt ngang bất kỳ a-b (hoặc c-d v.v...) đều giống nhau ($C_d \uparrow = C_d \downarrow$) ; tức là thể tích của pha cứng được bứt ra khỏi đáy lòng dẫn bằng dòng chảy sẽ bằng thể tích pha cứng rơi từ dòng chảy xuống đáy lòng dẫn ; lúc đó sự xói lòng cát sẽ chấm dứt (mặc dù vận tốc trung bình của dòng chảy có thể là rất lớn) : hình dạng và cao độ bề mặt đáy lòng dẫn sẽ ổn định.

Khi độ bão hòa cát của dòng chảy đã ổn định, nồng độ c_0 của cát được chứa trong dòng chảy *luôn luôn giảm dần tính từ đáy lên mặt nước* (xem trên hình vẽ biểu đồ phân bố nồng độ hạt theo z).

Như thí nghiệm đã chứng tỏ trong dòng chảy không áp cường độ của mạch động vận tốc giảm dần từ đáy lên mặt nước. Do vậy phải chấp nhận là trên mặt thoáng của dòng chảy mạch động đứng của vận tốc u'_z hầu như bằng không. Hiện tượng giảm u'_z đôi khi xảy ra như sau : tại vị trí cách đáy khoảng z_0 nhỏ hơn chiều sâu h (xem hình vẽ), vận tốc mạch động u'_z có giá trị bằng độ thô thủy lực w_0 (ứng với hạt có kích thước nhỏ nhất, được tách rời khỏi đáy) ; do đó các hạt không thể tiếp tục dâng lên cao hơn nữa (vì $z > z_0$ ta sẽ có $u'_z < w_0$). Đường M-N là vị trí được xác định bằng tọa độ z_0 , đôi khi được gọi là *trần bùn cát*. Trong một số trường hợp đường M-N thường được thể hiện rất rõ nét, trên đường biên đó là nước trong có trọng lượng thể tích thông thường, nhỏ hơn hỗn hợp của chính nó với đất, là hỗn hợp có đặc trưng về trọng lượng thể tích tương đối lớn. Trong trường hợp này ta có chuyển động như là của hai lớp chất lỏng khác nhau, tức là ta được một kết cấu dòng chảy phân tầng.

Cũng cần phải nói rằng vì càng xa đáy vận tốc mạch động u'_z càng giảm, trị số kích thước lớn nhất d_{\max} của hạt nằm cách đáy một khoảng z phải giảm dần khi z tăng (xem biểu đồ 4-5-6-7). Ngoài ra, cũng có thể thấy rằng khi nồng độ của pha cứng tăng lên (trong quá trình dòng chảy bị bão hòa bởi các hạt cứng) biểu đồ $A_1 B_1 C_1$ phải biến dạng (trở nên không đều hơn).



Quỹ đạo (1 và 2) của các hạt cứng lơ lửng A và B khi chúng chịu tác động của dòng rối

Trên cơ sở sự phân tích nói trên ta có thể đi đến một hiện tượng tiếp theo như sau : sau khi độ bão hòa hạt cứng của dòng chảy đã ổn định, tại một thời điểm nào đó do nguyên nhân này hay nguyên nhân khác giá trị của vận tốc mạch động đứng trong dòng chảy sẽ giảm. Lúc này ta lại được một bức tranh hoàn toàn ngược với trường hợp khi dòng bão hòa hạt : thể tích của pha cứng rơi từ dòng chảy xuống đáy sẽ lớn hơn là thể tích của pha cứng được dòng chảy bứt ra khỏi đáy. Không phụ thuộc vào vận tốc trung bình v của dòng chảy kết quả là bề mặt của đáy lòng dẫn được nâng lên, lúc đó ta có trường hợp lòng dẫn bị bồi. Tình trạng đó sẽ tiếp tục cho đến khi dòng chảy tải được một khối lượng hạt ứng với cường độ mạch động mới (ổn định) của vận tốc ; trong đó sự phân bố nồng độ hạt theo chiều sâu có thể biểu thị bằng đường 1-2'-3'-1 (xem trên hình vẽ về cơ chế dòng bão hòa có hạt cứng).

Khi xem xét chuyển động ổn định đều trong lòng dẫn hở dưới các điều kiện của dòng bão hòa hạt ổn định nhận thấy rằng các quỹ đạo, ví dụ của các hạt A và B có dạng các đường cong 1 và 2 (xem trên hình vẽ) ; ban đầu hạt A đi lên, sau đó dần dần rơi xuống đáy rồi lại tiếp tục đi lên v.v... Có thể nói rằng khi các hạt được di chuyển bằng dòng rối thì một phần trong số chúng thường xuyên rơi từ dòng chảy xuống đáy, phần khác lại luôn luôn đi từ đáy lên.

Như vậy là ta được một sự trao đổi giữa dòng chảy và đáy lòng dẫn. Trong đó với dòng bão hòa hạt ổn định (không có sự di chuyển của bùn cát đáy) thì sự trao đổi hạt nói trên sẽ không gây nên sự biến dạng của bề mặt lòng dẫn (lòng dẫn không bị xói cũng như không bị bồi).

Dĩ nhiên là kích thước hạt càng lớn thì đại lượng z càng nhỏ (như trên hình vẽ). Đối với hạt đủ lớn z gần bằng không. Chính những hạt đó cũng như các hạt cực lớn là những hạt không bao giờ bứt ra khỏi đáy mà lại lăn (dịch chuyển) trên đáy lòng dẫn đôi khi trợn vện cả một lớp (dưới tác dụng của các lực đã được giải thích ở mục XV-2) và được gọi là *bùn cát đáy*, khác với bùn cát đang xem xét - *bùn cát lơ lửng*.

Trên đây chúng ta nói đến lòng được tạo bởi các hạt rời (lòng mềm). Nếu lòng dẫn có lớp phủ, ví dụ, áo bê tông (tức là lòng không xói) thì trong trường hợp khi bản thân nước dẫn vào đã có chứa bùn cát lơ lửng (đôi khi cả bùn cát đáy), ban đầu chỉ cần xem xét sự lắng đọng của các hạt trên đáy lòng dẫn, sau đó đến việc làm xói chúng (cũng như tình hình của bùn cát đáy nếu có).

XV-4. CÁC THUẬT NGỮ, MỘT SỐ KHÁI NIỆM VÀ ĐỊNH NGHĨA CÓ LIÊN QUAN ĐẾN DÒNG Bùn CÁT LƠ LỬNG

Trong phần này chỉ nghiên cứu dòng bùn cát lơ lửng

Lưu lượng của hỗn hợp Q_{hh} được gọi là thể tích của dòng lơ lửng chảy qua một mặt cắt ướt nhất định trong một đơn vị thời gian. Nếu nồng độ của hạt lơ lửng trong nước quá nhỏ thì có thể coi lưu lượng của hỗn hợp bằng lưu lượng nước.

Lưu lượng của pha cứng hoặc nói cách khác lưu lượng cứng Q'_c - thể tích của pha cứng (hình dung là hoàn toàn đông đặc, không có lỗ rỗng), được dòng chảy tải đi qua một mặt cắt ướt nhất định trong một đơn vị thời gian.

"*Lưu lượng trọng lượng cứng*" Q_c - trọng lượng của pha cứng được tải đi qua một mặt cắt ướt nhất định trong một đơn vị thời gian ; thứ nguyên của lưu lượng đó là kN/s (hoặc kG/s) ; do đó :

$$Q_c = (Q_{hh} - Q)\gamma_c = Q'_c \gamma_c$$

Trong đó :

Q - lưu lượng của pha lỏng (nước) ;

γ_c - trọng lượng của hạt tạo thành pha cứng được tính cho một đơn vị thể tích của các hạt.

Độ đục của nước (đôi khi gọi là độ đục trọng lượng của nước) a - trọng lượng của các hạt lơ lửng trong một đơn vị thể tích của hỗn hợp ; thứ nguyên của a là kN/m³ (hoặc kG/m³).

Nồng độ của pha cứng (hoặc còn gọi là thể tích tương đối của độ đục) c - đại lượng không thứ nguyên ; do đó

$$c = \frac{Q_{hh} - Q}{Q_{hh}} = \frac{Q'_c}{Q_{hh}} ; a = c\gamma_c = \frac{Q_{hh} - Q}{Q_{hh}} \gamma_c = \frac{Q'_c}{Q_{hh}} \gamma_c \quad (7)$$

Giả thiết ta có một lòng dẫn hình trụ (các đại lượng về mặt cắt, độ dốc, độ nhám và lưu lượng có các giá trị nhất định). Chuyển động trong lòng dẫn đó là không áp, đều và ổn định. Khả năng tải cát của lòng không áp đó được gọi là lưu lượng trọng lượng hạt cứng, là đại lượng có thể hình dung ra sự hình thành của nó như sau ; do dòng dẫn bị xói hoặc có các

hạt cứng từ bên ngoài xâm nhập vào mà dòng chảy bị bão hòa đến giới hạn các hạt cứng, khi đó độ bão hòa dòng chảy bằng các hạt cứng đã được ổn định. Thứ nguyên của khả năng tải cát của dòng chảy là kN/s (hoặc kG/s).

Trong trường hợp hạt *đồng nhất*, khả năng tải cát của dòng chảy phụ thuộc vào các thông số dòng chảy, cũng như vào độ lớn của hạt, vì thế khả năng đó có liên quan đến độ lớn của các hạt đồng nhất. Trong trường hợp hạt không đồng nhất thì khả năng tải cát nói trên không hoàn toàn xác định : với lòng mềm dễ bị xói, nói chung dòng chảy có thể "tự chọn" cho mình *các tổ hợp hạt khác nhau* trong số các hạt cấu tạo nên lòng dẫn và do đó ta có thể có các khả năng tải cát khác nhau. Tuy nhiên cũng tồn tại một quan điểm cho rằng dòng chảy phải chọn một tổ hợp hạt nhất định và vì thế nó có một khả năng tải cát cũng phải xác định (duy nhất) trong các điều kiện phù hợp với thành phần hạt không đồng nhất cấu tạo nên lòng dẫn.

Ta đi đến một định nghĩa sau : dòng chảy tải một số lượng hạt ứng với khả năng tải của nó thì được gọi là dòng chảy được *bão hòa hạt hoàn toàn* (khác với dòng *chưa bão hòa* hoặc *bão hòa quá mức*).

Độ đục cục bộ giới hạn (tối đa có thể được) a_0 của nước là độ đục khi "sự bão hòa hạt hoàn toàn của dòng chảy" xảy ra tại vị trí này hay vị trí khác.

Nồng độ cục bộ giới hạn (tối đa có thể được) của pha cứng c_0 được gọi là nồng độ của pha cứng tại những vị trí mà "dòng chảy được bão hòa hạt hoàn toàn".

Khi thực hiện các phép tính khác nhau ta thường dùng đại lượng vận tốc trung bình v ; vì thế ta phải thay đại lượng nồng độ giới hạn c_0 là đại lượng thay đổi theo chiều sâu bằng nồng độ giới hạn trung bình (trung bình theo chiều sâu) \bar{c}_0 . Đại lượng \bar{c}_0 phải được xác định từ điều kiện sao cho lưu lượng trọng lượng riêng của hạt cứng q_c đối với bài toán phẳng khi biết v và \bar{c}_0 là :

$$q_c = \frac{Q_c}{b} = \bar{c}_0 \gamma_c v h = \bar{a}_0 v h \quad (8)$$

được cân bằng với lưu lượng riêng thực của hạt cứng là :

$$q_c = \frac{Q_c}{b} = \int c_0 \gamma_c u dz \quad (9)$$

Trong đó :

b - chiều rộng của lòng dẫn chữ nhật đang xét ;

u - vận tốc dọc cục bộ (xem biểu đồ vận tốc u của hỗn hợp) ;

\bar{a}_0 - độ đục trung bình theo chiều sâu.

Như vậy đại lượng nồng độ trung bình giới hạn của pha cứng trong điều kiện bài toán phẳng bằng :

$$\bar{c}_o = \frac{\int c_o \bar{u} dz}{vh} \quad (10)$$

đại lượng \bar{c}_o trên hình vẽ "Cơ chế dòng bão hòa..." có thể là hình chữ nhật 1-8-9-10.

Nếu lưu lượng trọng lượng hạt cứng của dòng lơ lửng trong một lòng dẫn nào đó nhỏ hơn lưu lượng Q_c được tính theo công thức (8) thì phải được hiểu là dòng chảy lúc này chưa bão hòa hạt. Nếu quan hệ về lưu lượng nói trên là ngược lại thì dòng chảy lúc này là *dòng bão hòa quá mức*, điều đó có nghĩa là lòng dẫn sẽ bị bồi.

Khi giải quyết các loại bài toán tương tự cần phải biết trước các giá trị \bar{a}_o (hoặc \bar{c}_o) đối với một dòng chảy đã định. Trong các tài liệu thủy lực có khá nhiều công thức thực nghiệm để xác định đại lượng này. Phần lớn các công thức đó được viết cho dòng chảy đều, ổn định, không áp trong các điều kiện khi đại lượng \bar{a}_o (hoặc \bar{c}_o) có giá trị lớn, vì thế đương nhiên là các công thức đó được sử dụng trong phạm vi nhất định. Tất cả các công thức thực nghiệm viết cho lòng cát (mềm) của các tác giả khác nhau có thể đưa về dạng sau :

$$\bar{a}_o \left(\text{tính bằng } \frac{\text{kG}}{\text{m}^3} \right) = k \frac{v^3}{\bar{w}_o R^{n_o}} \text{ hoặc } \bar{a}_o \left(\text{tính bằng } \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \right) = \frac{v^3}{\bar{w}_o R^{n_o}} \quad (11)$$

Trong đó :

v - vận tốc trung bình, m/s ;

R - bán kính thủy lực, m ;

\bar{w}_o - độ thô thủy lực trung bình của hạt lơ lửng, m/s ; trên thực tế \bar{w}_o được xem là giá trị trung bình trọng số của độ thô thủy lực của chính các hạt đã cấu tạo nên lòng dẫn ;

k - hệ số có thứ nguyên có giá trị trong phạm vi :

$$k = 0,017 \div 0,034 ; \quad (12)$$

n_o - chỉ số mũ, thay đổi trong phạm vi :

$$n_o = 3/4 \div 4/3. \quad (13)$$

Sử dụng công thức (11) có thể giải các bài toán về vận tải hạt không áp bằng sức nước nói riêng, tức là hạt trong lòng dẫn hở (máng, kênh...).

Trong các tài liệu đã công bố có một số kết quả về việc vẽ đường cong quan hệ $c_o = f(z)$ (xem đường cong 2-3 trên hình vẽ "Cơ chế dòng bão hòa...") bằng lí thuyết với mục đích để từ đường cong đó và trên cơ sở công

thức (11) xác định đại lượng \bar{c}_0 . Các công trình nói trên chủ yếu nghiên cứu đối với hạt đồng nhất (cát có hạt đồng nhất). Trong lĩnh vực nghiên cứu này có thể tổng kết thành hai lý thuyết khác nhau sau đây : a- lý thuyết khuếch tán các hạt lơ lửng dùng cho dòng nước của Macavêep V. M. và b- lý thuyết trọng lực của Vêlicanôp M. A.

Giả thiết về khả năng sử dụng "định luật khuếch tán" đặc biệt (tương tự định luật Phich) được đưa vào nội dung cơ bản của lý thuyết khuếch tán. Trong đó giả thiết là sự phân bố theo thủy trực nồng độ giới hạn c_0 của pha cứng trên cơ sở định luật lý thuyết khuếch tán (đối với chuyển động ổn định đều) được biểu thị dưới dạng sau :

$$-w_0 \frac{\partial c_0}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} D_0 \frac{\partial c_0}{\partial z} \quad (14)$$

Trong đó D_0 - hệ số khuếch tán rối, phụ thuộc vào hệ số nhớt rối động lực η_r :

$$D_0 = \frac{g}{\eta_r} \quad (15)$$

w_0 - độ thô thủy lực của bùn cát có hạt đồng nhất.

Theo V. M. Macavêep nếu giả thiết rằng đại lượng η_r không đổi (không phụ thuộc vào tọa độ z - điều đó xảy ra khi trên thủy trực vận tốc u được phân bố theo quy luật "parabôn"), thì trên cơ sở các kết quả nghiên cứu của A. D. Graseva có thể chứng minh rằng :

$$a_0 = \frac{v^3}{w_0} \quad (16)$$

điều đó cho ta thấy công thức trên chứng minh tính đúng đắn về cấu trúc của công thức (11).

Cũng cần nói rằng các kết quả nghiên cứu lý thuyết của M. V. Vêlicanôp trong lĩnh vực này cũng đưa đến dạng công thức (11). Trên cơ sở chính lý các số liệu thí nghiệm của V. C. Knorôd (đối với bùn cát có hạt đồng nhất) M. V. Vêlicanôp đã được công thức sau đây :

$$\bar{a}_0 \left(\text{tính bằng } \frac{\text{kG}}{\text{m}_3} \right) = 0,017 \frac{v^3}{w_0 R} \text{ hoặc } \bar{a}_0 \left(\text{tính bằng } \frac{\text{kN}}{\text{m}_3} \right) = 0,17 \frac{v^3}{w_0 R} \quad (17)$$

Điều hiển nhiên là biểu thức trên cũng như biểu thức tổng quát (11) chỉ đúng đối với trường hợp khi $w_0 < (u'_z)_{\max}$. Sau đây là công thức của M. Ia. Krupnhik viết cho đất cát, trong đó khác với các công thức (11) và (17) là công thức này có xét đến tỉ số giữa các đại lượng w_0 và u'_z :

$$\bar{a}_0 \left(\text{tính bằng } \frac{\text{kG}}{\text{m}_3} \right) = \frac{0,076 v^3}{w_0 R} \left[0,274 - \frac{\bar{w}_0^2}{(u'_z)^2} \right]$$

$$\text{hoặc } \bar{a}_0 \left(\text{tính bằng } \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \right) = \frac{0,76v^3}{\bar{w}_0} \left[0,274 - \frac{\bar{w}_0^2}{(\bar{u}'_z)^2} \right] \quad (18)$$

Trong đó đại lượng trung bình $(\bar{u}'_z)^2$ có thể xác định theo công thức của S. F. Savelev :

$$(\bar{u}'_z)^2 = \left(\frac{0,078v}{h^{0,22}} \right)^2 \quad (19)$$

Trong các công thức (18) và (19) các đại lượng R và h tính bằng m, còn v, w_0 và u'_z tính bằng m/s.

§XV-5. VẬN TẢI BẰNG ĐƯỜNG ỐNG CÓ ÁP

Máy bơm thường được dùng để thực hiện việc vận tải hỗn hợp (đất - nước) trong đường ống có áp (đường ống dẫn bùn).

Trong trường hợp tổng quát khi hỗn hợp được vận chuyển bằng đường ống dẫn bùn thì một phần của pha cứng (tức là các hạt đất) được chuyển động ở trạng thái lơ lửng, còn phần khác được cấu tạo bởi các hạt lớn hơn - được chuyển động trực tiếp trên đáy ống (tương tự như bùn cát đáy đã nói ở trên). Nếu tại một thời điểm làm việc bất kì của ống dẫn bùn vận tốc trung bình của chuyển động hỗn hợp trong đó lại nhỏ hơn một vận tốc tối thiểu nào đó, tức là

$$v < v_{\min} \quad (20)$$

thì lúc này ống dẫn bùn bắt đầu lắng đọng rất nhanh do các hạt đất lơ lửng chìm xuống đáy.

Vận tốc v_{\min} có thể gọi là vận tốc không lắng nhỏ nhất.

Các tác giả khác nhau (G.N. Rôier, A.M Xarepxki, P.D.Epđôkimôp, V.C.Knorôd, A.P.Iuphin và những người khác) đã đề xuất nhiều công thức thực nghiệm để xác định vận tốc v_{\min} . Dưới đây chỉ giới thiệu một công thức tính v_{\min} bằng m/s.

$$v_{\min} = 8 \sqrt[3]{D} \sqrt[6]{\bar{c}_0 \psi} \quad (21)$$

Trong đó :

D - đường kính ống dẫn bùn tính bằng m ;

\bar{c}_0 - nồng độ giới hạn trung bình của pha cứng ;

ψ - hệ số thực nghiệm, lấy phụ thuộc vào các cỡ hạt theo bảng, (ví dụ với hạt có $d = 0,05 \div 0,10\text{mm}$ trị số $\psi = 0,02$; với $d = 0,5 \div 1,0\text{mm}$

$\psi = 0,80$; với $d = 10 \div 20\text{mm}$ $\psi = 2,0$).

Nếu thiết kế đường ống dẫn bùn với vận tốc $v < v_{\min}$ thì như đã nói trên, trong quá trình khai thác đường ống sẽ bị bồi lắng rất nhanh, nếu đường ống (dưới cùng một độ dốc đo áp) được thiết kế với $v > v_{\min}$ thì bài toán có lời giải không kinh tế : nồng độ của pha cứng sẽ không lớn ; vì thế để vận chuyển được một thể tích nhất định bùn cát phải tốn một lượng nước lớn. Do vậy đường ống dẫn bùn có áp cần được thiết kế sao cho vận tốc v trong đó vừa bằng (cho trường hợp tính toán) vận tốc không lắng tối thiểu v_{\min} , tức là

$$v = v_{\min} \quad (22)$$

Từ các điều kiện đó, theo (21) ta được các biểu thức tính toán sau :

Vận tốc trong đường ống dẫn bùn được thiết kế

$$v = \frac{Q_{hh}}{\omega} = \frac{Q'_c}{\bar{c}_o \omega} \quad (23)$$

trong đó ω - mặt cắt ướt ; từ đó với (22), công thức (21) có thể viết dưới dạng

$$\frac{Q'_c}{\bar{c}_o \omega} = 8 \sqrt[3]{D} \sqrt[6]{\bar{c}_o \psi} \quad (24)$$

trong đó cả vế trái và vế phải đều phải tính bằng m/s.

Giải (24) ta được :

$$\bar{c}_o = \sqrt[7]{\frac{Q'_c}{8 \omega \sqrt[3]{D} \sqrt[6]{\psi}}} \quad (25)$$

Theo công thức trên, biết Q'_c , D và ψ , có thể tìm đại lượng \bar{c}_o và từ đó ta xác định được :

$$v_{\min} = \frac{Q'_c}{\bar{c}_o \omega} ; Q_{hh} = v_{\min} \omega ; Q = Q_{hh} - Q'_c \quad (26)$$

trong đó Q - lưu lượng nước.

Thông thường bài toán được đặt ra và cách giải được thực hiện như sau :

1. Cho trước đại lượng Q'_c (tức là lưu lượng thể tích của pha cứng), cũng như cho trước đường cong phân tích hạt, xác định ψ .

2. Biết Q'_c , ψ , cho một số đường kính ống dẫn bùn D_1, D_2, D_3, \dots và đối với mỗi đường kính theo công thức (25), (26) xác định các đại lượng $v = v_{\min}$ và Q .

3. Với mỗi phương án đường kính ống dẫn bùn phải xác định tổn thất cột nước theo chiều dài h_g . Cần nhớ là h_g phụ thuộc vào công suất máy bơm và vào chi phí điện năng.

4. Trên cơ sở so sánh kinh tế các phương án về đường kính ống, xác định đường kính ống D cần thiết cũng như công suất trạm bơm.

Cần thiết phải chú ý : để xác định tổn thất cột nước h_d khi hỗn hợp chuyển động trong ống tròn đã có khá nhiều công thức thực nghiệm. Từ các công thức đó ta thấy rằng trong trường hợp tổng quát tổn thất của hỗn hợp lớn hơn là của nước. Tuy nhiên khi nồng độ của pha cứng không lớn lắm và khi trong hỗn hợp có nhiều hạt nhỏ thì tổn thất cột nước của hỗn hợp trên thực tế cũng như của nước. Tất nhiên là khi tính tổn thất cột nước h_d theo các công thức dùng cho nước, ta phải chú ý là tổn thất cột nước h_d được biểu thị bằng chiều cao cột nước có trọng lượng thể tích bằng trọng lượng thể tích của hỗn hợp.

Cuối cùng cần phải lưu ý thêm là trong trường hợp $v < v_{\min}$ thì ống bị lắng đọng dần, diện tích mặt cắt ướt sẽ giảm, vận tốc trong ống sẽ tăng lên và hiện tượng lắng đọng sẽ ngừng. Như vậy là trong ống có áp chuyển động của hỗn hợp sẽ được điều chỉnh tự động.