

# XÂY DỰNG CÔNG THỨC TÍNH LƯỢNG VẬN CHUYỂN BÙN CÁT SÔNG HỒNG VÀ QUAN HỆ HÌNH THÁI LÒNG SÔNG GIAI ĐOẠN 2009-2012

PGS.TS. Phạm Đình, ThS. Hồ Việt Cường

Phòng Thí nghiệm trọng điểm quốc gia về Động lực học Sông biển

**Tóm tắt:** Bài báo trình bày kết quả xây dựng công thức tính tổng lượng vận chuyển bùn cát sông Hồng theo dạng công thức của Engelund và Hansen, theo số liệu từ năm 2009 đến 2012. Từ công thức đã lập xác định lại quan hệ hình thái lòng dẫn trong thời kỳ này.

**Summary:** This paper presents results of setting of calculation formula of the total volume of sediment transport in the form of the Engelund and Hansen's formula in Red River, based on data from 2009 to 2012. From this formula has redefined bed river morphology relationships in this period.

## I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Bùn cát trong dòng chảy đóng vai trò quan trọng trong việc hình thành hình thái lòng sông. Vì vậy biết được quy luật vận chuyển bùn cát trong dòng chảy sẽ giúp dự báo được diễn biến lòng dẫn trong tương lai.

Đo đạc bùn cát trong thực tế rất khó khăn và tốn kém đặc biệt là bùn cát đáy, số liệu bùn cát đo đạc ở một số đoạn sông còn thiếu, nên phải tính toán bổ sung hoặc kéo dài số liệu. Tuy nhiên, việc tính toán bùn cát theo bất kỳ công thức có sẵn nào, cụ thể là công thức của Engelund-Hansen là công thức thông dụng, đã được sử dụng nhiều trên thế giới và ở Việt Nam cũng có sai số khá lớn. Để nâng cao độ chính xác trong tính toán, trước khi sử dụng cần xác định các hệ số và số mũ trong công thức này cho phù hợp với các số liệu thực đo trên sông Hồng giai đoạn (2009-2012) tại các trạm thủy văn Sơn Tây, Hà Nội và Thượng Cát.

Công thức tính toán vận chuyển bùn cát xác định được sẽ làm cơ sở để xây dựng các quan hệ hình thái ổn định của đoạn sông trong giai

đoạn gần đây.

## II. CƠ SỞ LÝ LUẬN

### 2.1. Khái niệm vận chuyển bùn cát

Vận chuyển của bùn cát là vấn đề quan trọng trong diễn biến lòng dẫn. Mô hình toán, mô hình vật lý mô phỏng hiện tượng diễn biến lòng sông và ảnh hưởng của các giải pháp mở rộng hay thu hẹp lòng dẫn về tuyến chính trị phải dựa trên cơ sở tính toán hoặc cân bằng bùn cát. Vận chuyển của bùn cát bao gồm bùn cát đáy ( $s_b$ ) và bùn cát lơ lửng ( $s_l$ ). Tổng lượng vận chuyển bùn cát qua đoạn sông bằng  $s = s_l + s_b$ , trong đó từng thành phần phải dựa vào số liệu đo đạc hoặc tính toán.

#### a) Vận chuyển bùn cát đáy:

Lượng vận chuyển bùn cát đáy có thể đưa về một trong các dạng sau:

- Dạng có liên quan đến ứng suất tiếp đáy sông:  $s_b = Af(\tau_o - \tau_{oc})$  (2-1)

- Dạng có liên quan đến vận tốc dòng chảy:  $s_b = Af(u_o - u_{cr})$  (2-2)

Trong đó các đại lượng có chỉ số c và cr tương ứng với điều kiện bắt đầu khởi động của bùn cát và A là hệ số.

Điển hình theo dạng (2-1) là các công thức của

Người phản biện: PGS.TS Lê Mạnh Hùng

Ngày nhận bài: 13/8/2014

Ngày thông qua phản biện: 22/9/2014

Ngày duyệt đăng: 13/10/2014

Shields (1936), Meyer-Peter và Muller (1948)

Dạng tính theo vận tốc dòng chảy (2-2) có các công thức của Vêlikanôp M.A., Lêvi I.I...

Trong những công thức tính vận chuyển bùn cát đáy, công thức của Meyer - Peter và Muller là công thức nổi tiếng nhất [2], đã được sử dụng rộng rãi trên thế giới.

### b) Vận chuyển bùn cát tổng

Các công thức tính tổng vận chuyển bùn cát của Rottner, Meyer - Peter và Muller, Engelund và Hansen, Van Rijn, Ackers và White [3]... chủ yếu có dạng quan hệ giữa hai thông số  $\Psi$  và  $\theta$  có thể viết một cách tổng quát:

$$\Psi = f(\theta) \quad (2-3)$$

Trong đó:  $\Psi = \frac{s_t}{\sqrt{g\Delta D_{50}^3}}$  Thông số vận chuyển bùn cát (không thứ nguyên); (2-4)

$\theta = \frac{h \times I}{\Delta D_{50}}$  Thông số dòng tiếp (không thứ nguyên). (2-5)

$s_t$  ( $m^3/s/m$ ) là tổng lượng vận chuyển bùn cát;

$\Delta$  là tỷ trọng tương đối  $(\rho_s \cdot \rho) / \rho$ , bằng 1,65;

$\rho_s$  khối lượng đơn vị của vật liệu lòng ( $kg/m^3$ );

$\rho$  khối lượng đơn vị của nước ( $kg/m^3$ );

C là hệ số Chezy ( $m^{1/2}/s$ );

$D_{50}$  là đường kính trung bình vật liệu lòng sông

I là độ dốc dòng chảy.

h: độ sâu trung bình mặt cắt.

Một trong những công thức đơn giản và thường được áp dụng nhiều nhất là công thức Engelund và Hansen (1967). Công thức này được xây dựng dựa trên cơ sở lý thuyết và thực nghiệm tính toán tổng lượng vận chuyển bùn cát (bùn cát đáy và bùn cát lơ lửng) của lòng sông.

## 2.2. Hình thái lòng sông và mối liên hệ với

## vận chuyển bùn cát

Hình thái lòng sông là sản phẩm của quá trình tương tác giữa dòng nước và lòng dẫn, biểu hiện của sự tương tác đó là sự chuyển động của bùn cát. Vì vậy, có thể biểu diễn các yếu tố chính ảnh hưởng đến diễn biến lòng dẫn bằng một quan hệ hàm số sau đây:

$$X = f(Q, G, D), \quad (2-6)$$

trong đó:

X - yếu tố hình thái của lòng dẫn;

Q - yếu tố dòng nước đến và quá trình biến thiên của nó;

G - yếu tố chuyển động bùn cát và quá trình biến thiên của nó;

D - điều kiện về lòng dẫn.

Trong mối quan hệ tương tác giữa dòng nước và lòng dẫn, nói chung dòng nước thường chiếm vị trí chủ động, tích cực. Bùn cát là yếu tố liên hệ giữa dòng nước và lòng dẫn, khi chuyển động nó là một thành phần của dòng chảy, khi bồi lắng thì nó là một thành phần của lòng dẫn. Nhưng ở trạng thái động, vẫn coi yếu tố bùn cát là một yếu tố động lực học.

Chúng ta sẽ xem xét các yếu tố dòng nước và bùn cát của sông Hồng và mối liên quan đến hình thái sông, thể hiện bằng kích thước ổn định tương đối của lòng dẫn. Vấn đề này phụ thuộc vào quy luật vận động tự nhiên của một con sông. Sau thời kỳ lòng sông biến đổi mạnh các quan hệ bùn cát và hình thái sông cũng thay đổi, nên cần phải tính toán điều chỉnh lại cho phù hợp.

## 3. XÂY DỰNG CÔNG THỨC TÍNH TỔNG LƯỢNG VẬN CHUYỂN BÙN CÁT SÔNG HỒNG GIAI ĐOẠN 2009 - 2012

Để biết vận chuyển bùn cát tổng trong sông thì người ta phải đo bùn cát đáy và bùn cát lơ lửng. Bùn cát lơ lửng có thể xác định chính xác hơn nhiều bùn cát đáy, vì có các số liệu thực đo. Nồng độ trung bình độ sâu (c), của vật liệu, trên

độ sâu (h) được coi như vận chuyển về hạ lưu với tốc độ dòng chảy trung bình (u):

$$s_s = \frac{c}{\rho_s} u h \quad (3-1)$$

Trong đó:

$s_s$  = vận chuyển bùn cát lơ lửng trên một đơn vị bề rộng ( $m^3/m/s$ );

$c$  = nồng độ bùn cát lơ lửng ( $kg/m^3$ ) là số liệu thực đo;

$\rho_s$  = khối lượng riêng của bùn cát ( $kg/m^3$ ).

Giá trị  $s_s$  được ghi ở cột (5) bảng 2.1.

Nếu vận chuyển bùn cát đáy ( $s_b$ ) được tính theo công thức của Meyer - Peter và Muller (3-5) sau đó cộng với bùn cát lơ lửng ( $s_s$ ) ta có thể xác định được tổng lượng bùn cát ( $s_t = s_s + s_b$ ). Do đó có thể tính được thông số  $\Psi$  theo (3-2).

Bảng 1 Công thức tính tổng bùn cát của Engelund & Hansen áp dụng cho sông Hồng có dạng:

$$\psi = \frac{S_t}{\sqrt{g\Delta D_{50}^3}} = \alpha \frac{C^2}{g} \theta^\beta \quad (3-2)$$

$$\text{Với: } s_t = \alpha \sqrt{g\Delta D_{50}^3} \frac{C^2}{g} \left( \frac{hi}{\Delta D_{50}} \right)^\beta \quad (3-3)$$

Trong đó:  $\alpha$  và  $\beta$  là hệ số và số mũ xác định theo số liệu thực đo thời kỳ 2009-2012.

Giá trị  $\alpha \frac{C^2}{g}$  (3-2) được đặt là A nên công thức

(3-2) viết thành:

$$\psi = A\theta^\beta \quad (3-4)$$

Từ tài liệu đường kính hạt  $D_{50}$ , độ sâu trung bình mặt cắt h, độ dốc i... xác định được thông số dòng tiếp  $\theta$  theo (2-5), kết quả tính toán cột (8) Bảng 2.1.

Thông số vận chuyển bùn cát thực đo  $\Psi$  được xác định theo (3-2). Trong đó  $S_t$  là tổng lượng vận chuyển bùn cát trong sông bằng tổng của

bùn cát lơ lửng  $S_s$  cộng bùn cát đáy  $S_b$ . Trong đoạn sông nghiên cứu có số liệu bùn cát lơ lửng  $S_s$ . Bùn cát đáy không có số liệu nên phải tính toán theo công thức (3-5) của Mayer-Peter và Muller [2]:

$$\frac{s_b}{\sqrt{g\Delta D_{50}^3}} = 8 \left[ \mu \left\{ \frac{hi}{\Delta D_{50}} \right\} - 0.047 \right]^{1.5} \quad (3-5)$$

$$\text{Trong đó: } \mu = \left\{ \frac{C}{C_{90}} \right\}^{1.5} \quad (3-6)$$

$$\text{Và } C_{90} = 18 \log \left\{ \frac{12h}{D_{90}} \right\} \quad (m^{1/2}/s) \quad (3-7)$$

$s_b$ : Lượng vận chuyển bùn cát đáy trên một đơn vị bề rộng ( $m^3/s/m$ );

C: Hệ số Chezy ( $m^{1/2}/s$ );

$C_{90}$ : Hệ số Chezy tính theo Công thức (3-7);

$D_{50}$ ,  $D_{90}$  tra trên đường cấp phối hạt cát.

Sau khi xác định được lượng bùn cát đáy  $S_b$  (3-5), cộng với bùn cát lơ lửng  $S_s$  (3-1), xác định lượng bùn cát tổng cộng  $S_t$  thay vào (3-2) xác định được  $\Psi$ . Kết quả tính toán ghi trong cột (9) Bảng 2.1.

Xây dựng quan hệ tương quan giữa thông số vận chuyển bùn cát  $\Psi$  và thông số dòng tiếp  $\theta$  từ kết quả tính toán ở cột (8) và (9) được quan hệ tương quan như hình 2.1. Trên Hình 2.1, nhận thấy  $\psi$  và  $\theta$  có quan hệ chặt chẽ, tập trung, hệ số tương quan  $R^2 = 0,929$  đảm bảo độ tin cậy. Từ đó xác định được:

$$\Psi = 296,4 \cdot \theta^{1,22} \quad (3-8)$$

So sánh với (3-4) xác định được hệ số  $\beta = 1,22$  và  $A = 296,4$

$$\text{Thay vào (3-3) có: } A = \alpha \frac{C^2}{g} = 296,4;$$

$$\text{Hệ số } \alpha \text{ được xác định: } \alpha = \frac{\sum \frac{Ag}{C_i^2}}{n} = 0,906;$$

Thay hệ số  $\alpha$  và số mũ  $\beta$  vào (3-3) ta có công thức tính tổng lượng bùn cát sông Hồng giai

đoạn từ 2009 đến 2012 như (3-9):

$$s_i = 0,906 \sqrt{g \Delta D_{50}^3} \frac{C^2}{g} \left( \frac{h_i}{\Delta D_{50}} \right)^{1,22} \quad (3-9)$$

**Bảng 2.1. Kết quả tính thông số dòng tiếp  $\theta$ , thông số bùn cát thực đo  $\Psi$  (Bảng trích)**

TT	Năm - Trạm TV	Ngày	Tháng	Ss (m <sup>3</sup> /s/m)	Sb (m <sup>3</sup> /s/m) (MPM)	St (m <sup>3</sup> /s/m) (thực đo)	Thông số dòng tiếp $\theta$	Thông số bùn cát $\Psi$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
1	2009-TC	21	5	0.00232	0.00018	0.00250	279.81	1.16
2	2009-TC	17	6	0.00263	0.00022	0.00286	320.18	1.34
3	2009-TC	11	8	0.00276	0.00024	0.00301	337.15	1.41
4	2010-TC	24	8	0.00259	0.00016	0.00275	308.11	1.10
5	2010-TC	27	8	0.00505	0.00025	0.00530	593.94	1.44
6	2010-TC	28	8	0.00370	0.00024	0.00394	441.98	1.41
7	2011-TC	18	5	0.00474	0.00020	0.00493	553.04	1.24
8	2011-TC	19	5	0.00265	0.00024	0.00289	323.64	1.39
9	2011-TC	1	8	0.00202	0.00014	0.00216	242.35	1.01
10	2011-TC	2	8	0.00208	0.00015	0.00223	249.52	1.05
11	2012-TC	11	7	0.00287	0.00016	0.00303	340.06	1.10
12	2012-TC	17	7	0.00172	0.00010	0.00181	203.37	0.81
13	2012-TC	4	8	0.00657	0.00031	0.00688	604.23	1.67
14	2012-TC	15	8	0.00433	0.00026	0.00459	403.64	1.50
15	2012-TC	18	8	0.00399	0.00026	0.00425	373.67	1.51
16	2009-HN	8	6	0.00303	0.00015	0.00318	279.51	1.06
17	2009-HN	31	7	0.00432	0.00022	0.00454	398.83	1.35
18	2009-HN	10	8	0.00277	0.00012	0.00288	253.30	0.91
19	2010-HN	28	1	0.00173	0.00006	0.00178	156.86	0.61
20	2010-HN	20	5	0.00184	0.00006	0.00190	167.37	0.62
21	2010-HN	7	6	0.00149	0.00005	0.00154	135.16	0.56
22	2010-HN	20	7	0.00215	0.00008	0.00222	195.36	0.72
23	2010-HN	21	7	0.00286	0.00012	0.00298	261.44	0.92
24	2010-HN	23	7	0.00344	0.00018	0.00362	318.26	1.19
...	...			...			...	
128	2012-ST	31	7	0.01569	0.00117	0.01686	1481.62	3.90
129	2012-ST	1	8	0.01634	0.00104	0.01738	1527.34	3.61
130	2012-ST	2	8	0.01527	0.00089	0.01616	1420.10	3.27
131	2012-ST	3	8	0.01387	0.00083	0.01469	1291.22	3.11
132	2012-ST	4	8	0.01188	0.00064	0.01251	1099.60	2.63
133	2012-ST	5	8	0.01043	0.00071	0.01114	979.38	2.83
134	2012-ST	19	8	0.01399	0.00106	0.01505	1322.76	3.67
135	2012-ST	24	8	0.00966	0.00072	0.01038	912.39	2.85
136	2012-ST	26	8	0.00776	0.00052	0.00827	727.01	2.30
137	2012-ST	27	8	0.00680	0.00046	0.00726	638.04	2.13
138	2012-ST	30	8	0.00563	0.00037	0.00600	527.51	1.87
139	2012-ST	26	9	0.00607	0.00045	0.00651	572.47	2.10
140	2012-ST	28	9	0.00706	0.00042	0.00748	657.52	2.02
141	2012-ST	29	9	0.00686	0.00050	0.00737	647.47	2.27



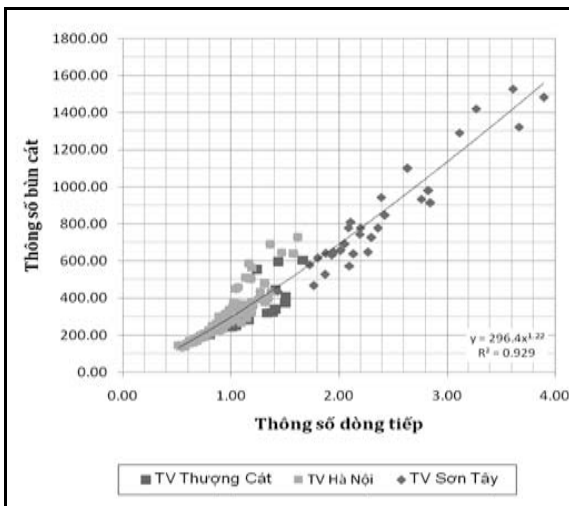
Ghi chú

Cột 5:  $s_s$  ( $m^3/s/m$ ) là lượng vận chuyển bùn cát lơ lửng chuyển đổi từ nồng độ bùn cát lơ lửng thực đo ( $kg/m^3$ );

Cột 6:  $s_b$  ( $m^3/s/m$ ) lượng bùn cát đáy tính toán theo công thức (3-5);

Cột 7:  $s_t$  ( $m^3/s/m$ ) tổng lượng bùn cát bằng tổng cột 5+cột 6;

Cột 8 & 9: là thông số dòng tiếp  $\theta$  tính theo công thức (2-5) và thông số bùn cát  $\Psi$  theo công thức (2-4). Các số liệu để tính  $\theta$  và  $\Psi$  là các số liệu thực đo tại các trạm thủy văn Sơn Tây, Hà Nội và Thượng Cát, do khuôn khổ của bảng nên không trình bày.



Hình 2.1. Quan hệ giữa  $\Psi_{TD}$  và  $\theta$  sông Hồng

#### IV. XÂY DỰNG QUAN HỆ HÌNH THÁI LÒNG SÔNG DỰA TRÊN QUY LUẬT VẬN CHUYỂN BÙN CÁT

Trong sông tự nhiên có chứa nhiều bùn cát, lòng dẫn trong đoạn sông sẽ ổn định dựa trên quy luật vận chuyển bùn cát và hình thái lòng sông đạt tới một trạng thái cân bằng tương đối được thể hiện theo những phương trình cơ bản sau [1], [2]:

$$\text{Đối với dòng nước: } Q_0 = Q_1 \quad (4-1)$$

$$\text{với } Q = BCh^{3/2} i^{1/2} \quad (4-2)$$

$$\text{Đối với bùn cát: } S_1 = S_0 \quad (4-3)$$

$$S = Bau^b \quad (4-4)$$

$$u \text{ là vận tốc dòng chảy với } u = C\sqrt{Ri} \quad (4-5)$$

Trong đó:

Các giá trị của các thông số ban đầu có chỉ số ‘0’, và các thông số mới có chỉ số ‘1’.

a là hệ số và b là số mũ phụ thuộc vào điều kiện tự nhiên của bùn cát.

Qua đo đạc và tính toán một số trường hợp cho thấy các giá trị  $C_1$ ,  $C_0$ , a, b không có sự sai khác nhiều. Vì vậy giả thiết như sau:

- Giả thiết  $C_1 \approx C_0$  và  $D_{50}^1 \approx D_{50}^0$ ;

- Giả thiết rằng a và b không thay đổi trong hai trạng thái cân bằng.

Kết hợp các phương trình từ (4-1) đến (4-5) đi đến các kết quả sau:

$$\frac{h_1}{h_0} = \left( \frac{B_0}{B_1} \right)^{\frac{b-1}{b}} \quad (4-6)$$

$$\text{và } \frac{i_1}{i_0} = \left( \frac{B_0}{B_1} \right)^{1-\frac{3}{b}} \quad (4-7)$$

Trong công thức (4-4), số mũ  $b=2\beta$  (là số mũ trong công thức Engelund-Hansen). Đối với sông Hồng, đã xác định được  $\beta=1.22$  nên  $b = 2\beta = 2.44$ . Thay b vào công thức (4-6) và (4-7) ta có các công thức về hình thái lòng dẫn sông Hồng:

$$\frac{h_1}{h_0} = \left( \frac{B_0}{B_1} \right)^{0.590} \quad (4-8)$$

$$\text{và } \frac{i_1}{i_0} = \left( \frac{B_1}{B_0} \right)^{0.230} \quad (4-9)$$

Dựa vào các công thức (4-8) và (4-9) ta có thể dự báo được độ sâu trung bình dòng chảy h và độ dốc i thay đổi trong phạm vi cục bộ khi thu hẹp hoặc mở rộng lòng sông trong lòng dẫn một lạch.

## V. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày kết quả xây dựng công thức tính tổng lượng vận chuyển bùn cát sông Hồng theo dạng công thức của Engelund và Hansen theo số liệu thủy văn thực đo của các trạm trên

sông Hồng - sông Đuống những năm gần đây. Công thức tính toán bùn cát đã được xác định, làm cơ sở xây dựng quan hệ hình thái ổn định lòng dẫn giai đoạn (2009-2012), sau giai đoạn lòng sông bị thay đổi nhiều do khai thác cát mạnh.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Struiskma (1981), Hydro compendium, Delft Hydraulics Laboratory, Netherlands.
- [2] Termes A. P. P. (1989), The Hanoi Lecture Notes on River Morphology, Delft Hydraulics.
- [3] Yang, Chih Ted (1996), Sediment Transport Theory and Practice, The McGraw-Hill Companies, Inc, New York - Lisbon - London - Madrid - Mexico City - Milan - New Delhi - Tokyo.
- [4] GS. TS Vũ Tất Uyên, PGS.TS. Lê Mạnh Hùng (2013), Cảnh báo về hậu quả khai thác cát sông Hồng vượt lượng cát về hàng năm, Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi số 3-2013, Viện KH Thủy lợi Việt Nam.