

XÁC ĐỊNH HỆ SỐ NHÁM TRONG SÔNG TỪ TÀI LIỆU ĐO LƯU TỐC

TS. Nguyễn Thu Hiền

Bộ môn Thủy lực - ĐHTL

Tóm tắt: Việc xác định hệ số nhám Manning n có một ý nghĩa quan trọng trong tính toán thủy lực trong lòng dẫn hở. Hiện nay, có rất nhiều công thức kinh nghiệm để xác định hệ số nhám trong sông ngòi. Tuy nhiên, mỗi công thức cũng chỉ có thể áp dụng trong những điều kiện nhất định. Hiện nay, nhiều con sông có các tài liệu đo lưu tốc (đo vận tốc tại hai điểm hoặc nhiều điểm trên thủy trực) tại các mặt cắt ngang. Đối với các sông khá rộng (tỉ số chiều rộng/chiều sâu xấp xỉ hoặc lớn hơn 10), các tài liệu này có thể sử dụng để xác định hệ số nhám dựa trên qui luật phân bố lưu tốc lôgarit. Bài báo này nghiên cứu và mở rộng phương pháp sử dụng tài liệu đo lưu tốc hai điểm để xác định hệ số nhám cho lòng dẫn. Công thức xây dựng đã đánh giá bằng việc áp dụng để tính toán hệ số nhám cho 14 sông ở Newzealand và Australia mà tại đó hệ số nhám đã được xác định. Các kết quả tính toán hệ số nhám từ tài liệu đo lưu tốc được so sánh với hệ số nhám thực đo. Ngoài ra, các kết quả này cũng được so sánh với hệ số nhám tính từ các công thức kinh nghiệm. Kết quả so sánh cho thấy, đây là một phương pháp khá tốt để xác định hệ số nhám với những con sông rộng mà ở đó có các tài liệu đo vận tốc.

1. Đặt vấn đề

Việc xác định hệ số nhám Manning n có một ý nghĩa quan trọng trong tính toán thủy lực. Là một hệ số thực nghiệm, hệ số nhám Manning phụ thuộc vào nhiều yếu tố như độ nhám bề mặt, cây cỏ xung quanh mặt cắt lòng dẫn, hình dạng lòng dẫn v.v. Vì vậy, rất khó để xác định chính xác giá trị của hệ số này.

Hiện nay, có nhiều phương pháp để xác định hệ số nhám Manning n . Phương pháp trực tiếp xác định hệ số này rất tốn kém và tốn nhiều thời gian vì đòi hỏi chúng ta phải đo được độ dốc thủy lực, lưu lượng và một số mặt cắt ngang dọc theo đoạn sông (Barnes, 1967, Hicks and Mason, 1991). Vì vậy, trong thực tế người ta thường sử dụng các bảng tra hệ số nhám hoặc đối chiếu với các ảnh chụp của các đoạn sông mà tại đó hệ số nhám đã được xác định bằng phương pháp trực tiếp (Chow, 1959; French, 1985; Barnes, 1967; Hicks and Mason, 1991) hoặc sử dụng một số các công thức kinh nghiệm để xác định hệ số nhám. Các công thức kinh nghiệm để xác định hệ số nhám thường được xây dựng dựa vào kích thước cấp phối của các cuội sỏi trên bề mặt lòng dẫn (French, 1985, Henderson, 1966). Bên cạnh đó, còn có một số công thức kinh nghiệm được rút ra từ quan hệ diện tích và độ dốc kết hợp với phương trình Manning để xác định hệ số nhám (Sauer 1990; Dingman and Sharma, 1997). Tuy nhiên, mỗi

công thức cũng chỉ áp dụng cho những điều kiện nhất định và độ chính xác vẫn còn hạn chế.

Tại các trạm thủy văn, việc đo lưu lượng thường được tiến hành tại một mặt cắt ngang, nếu độ dốc không được xác định ta không thể tính trực tiếp được hệ số nhám. Tuy nhiên, đối với các lòng sông rộng (tỉ số chiều rộng/độ sâu xấp xỉ 10) thì qui luật phân bố lưu tốc trên mặt cắt tuân theo qui luật lôgarit, ở đó phân bố vận tốc phụ thuộc vào độ nhám liên quan đến hệ số Manning's n (Keulegan, 1938). Vì vậy, nếu tại mặt cắt đó lưu lượng được đo bằng phương pháp đo lưu tốc tại 2 điểm (tại 0.2 và 0.8 lần độ sâu) trên các thủy trực thì ta có thể sử dụng tài liệu này để xác định hệ số nhám. Chow (1959) và French (1985) đã áp dụng phương pháp này cho các lòng dẫn rộng. Tuy nhiên, phân bố lưu tốc tại mỗi thủy trực chỉ phản ánh độ nhám cục bộ tại vị trí đó và các giá trị của chúng tại các điểm trên chu vi ướt của mặt cắt ngang là thay đổi. Vì vậy, cần phải rút ra một công thức tổng quát hơn để tính toán hệ số nhám trên toàn chu vi ướt của một mặt cắt ngang. Trong bài báo này, công thức xác định hệ số nhám sử dụng tài liệu đo lưu tốc 2 điểm được xây dựng lại và áp dụng cho các lòng dẫn trong sông thực tế. Phần tiếp theo sẽ giới thiệu một số phương pháp hiện đang được áp dụng và xây dựng công thức tính hệ số nhám sử dụng tài liệu đo lưu tốc 2 điểm để xác định hệ số nhám trong sông.

2. Các phương pháp xác định hệ số nhám trong sông

2.1. Phương pháp trực tiếp xác định hệ số nhám Manning

Phương pháp trực tiếp để tính hệ số nhám Manning n là phương pháp được mô tả trong Barnes (1967) và Hicks and Mason (1991). Giá trị của hệ số nhám tính từ phương pháp này được coi là hệ số nhám thực đo:

$$n = \frac{1}{Q} \left(\frac{(h_m - h_1) + (h_{vm} - h_{v1}) - \sum_{i=2}^m (k_{(i-1)i} \Delta h_{v_{i-1}i})}{\sum_{i=2}^m \frac{L_{i-1,i}}{Z_{i-1} Z_i}} \right)^{1/2} \quad .1$$

trong đó Q là lưu lượng (m^3/s), m số mặt cắt ngang (với mặt cắt thứ m là mặt cắt nằm ở đầu thượng lưu của đoạn sông), $Z = AR^{2/3}$, A là diện tích mặt cắt ướt (m^2), R là bán kính thủy lực

(m), L là chiều dài đoạn sông, h_i là cao trình mực nước tại mặt cắt thứ i và, h_{vi} là cột nước lưu tốc tại mặt cắt i , Δh_v là chênh lệch cột nước lưu tốc giữa hai mặt cắt và $k(\Delta h_v)$ xấp xỉ bằng tổn thất năng lượng do lòng dẫn thu hẹp hoặc mở rộng, k được giả thiết bằng 0 đối với các đoạn thu hẹp và bằng 0.5 đối với đoạn mở rộng.

2.2. Phương pháp áp dụng các công thức kinh nghiệm

Nhiều công thức đã được xây dựng để xác định hệ số nhám dựa vào đường cong cấp phối hạt của cuội sỏi trên bề mặt lòng dẫn (French, 1985; Henderson, 1966; Lang et al. (2004)) hoặc công thức kinh nghiệm quan hệ độ dốc- diện tích kết hợp với phương trình Manning để rút ra hệ số nhám (Sauer 1990; Dingman and Sharma, 1997) (xem Bảng 1).

Bảng 1: Một số công thức kinh nghiệm xác định hệ số nhám Manning n

Số TT	Tác giả	Công thức*
1	Strickler (1923) (trong Yen (1991))	$n = 0.0747 d_{50}^{1/6}$
2	Henderson (1966)	$n = 0.031 \left(\frac{d_{75}}{0.3048} \right)^{1/6}$
3	Limerinos (1970)	$n = \frac{0.113 R^{1/6}}{1.16 + 2.03 \log \left(\frac{R}{d_{84}} \right)}$
4	Riggs (1976)	$n = \frac{1}{1.55} A^{-0.33} R^{2/3} S_w^{0.45 + 0.056 \log S_w}$
5	Bray (1979)	$n = \frac{0.113 R^{1/6}}{0.248 + 2.36 \log \left(\frac{R}{d_{50}} \right)}$
6	Bray (1982)	$n = \frac{1}{8.0} R^{0.067} S_w^{0.21}$
7	Bray (1982)	$n = 0.104 S_w^{0.177}$
8	Griffiths (1981)	$n = \frac{0.113 R^{1/6}}{0.76 + 1.98 \log \left(\frac{R}{d_{50}} \right)}$
9	Sauer (1990) (cited in Coon (1998))	$n = 0.11 S_w^{0.18} \left(\frac{R}{0.3048} \right)^{0.08}$
10	Dingman and Sharma (1997)	$n = \frac{1}{1.564} A^{-0.173} R^{0.267} S_w^{0.5 + 0.0543 \log S_w}$

* trong đó n là hệ số nhám, d_x là đường kính cấp phối x % (m), A diện tích mặt cắt ướt (m^2), R bán kính thủy lực (m); S_w độ dốc mặt thoáng và B chiều rộng mặt thoáng của lòng sông.

2.3. Xây dựng công thức xác định hệ số nhám Manning n sử dụng tài liệu đo lưu tốc 2 điểm

Phân bố lưu tốc đối với lòng dẫn nhám (Keulegan, 1938) được biểu thị theo công thức sau:

$$u = \frac{u_*}{\kappa} \ln \frac{30z}{k_s} \quad (2)$$

trong đó u là lưu tốc điểm (m/s), u_* là lưu tốc động lực (m/s), κ là hệ số von Kármán = 0.4, z là khoảng cách tính từ đáy (m), k_s độ nhám tương đương (m).

Thế các lưu tốc $u_{0.2}$ và $u_{0.8}$ cách đáy một khoảng cách 0.2d và 0.8d tương ứng, trong đó d là độ sâu dòng chảy tại thủy trực, kết hợp lại rồi khử u_* ta được:

$$\ln \frac{d}{k_s} = \frac{3.178 - 1.792x}{x - 1} \quad (3)$$

trong đó $x = u_{0.2} / u_{0.8}$.

Biến đổi phương trình (3) ta có tại một thủy trực:

$$k_s = \frac{d}{\exp\left(\frac{3.178 - 1.792x}{x - 1}\right)} \quad (4)$$

Trên mặt cắt có nhiều thủy trực đo lưu tốc. Ta có độ nhám tương đương trung bình cho toàn mặt cắt:

$$\overline{k_s} = \frac{\sum k_{si} P_i}{\sum P_i} \quad (5)$$

trong đó k_{si} , P_i là hệ số nhám và chu vi ướt thuộc phạm vi thủy trực thứ i .

Công thức phân bố của Keulegan (Chow, 1959) cho lòng dẫn nhám như sau:

$$\frac{V}{V_*} = 6.25 + 2.5 \ln \frac{R}{k_s} \quad (6)$$

trong đó V là vận tốc trung bình, V_* vận tốc động lực, $R = A/P$ là bán kính thủy lực, P là chu vi ướt của toàn mặt cắt.

Kết hợp với công thức Manning $V = 1/n \times R^{2/3} \sqrt{S}$ và vận tốc động lực $V_* = \sqrt{gRS}$ ta có:

$$\frac{V}{V_*} = \frac{R^{1/6}}{\sqrt{gn}} \quad (7)$$

trong đó g gia tốc trọng lực.

Cân bằng về phải của các phương trình (6) và (7), giải ra ta tìm được công thức tính n ,

$$n = \frac{R^{1/6}}{\sqrt{g} \left(6.25 + 2.5 \ln \frac{R}{k_s} \right)} \quad (8)$$

3. Áp dụng tính toán cho các sông thực tế

Công thức (8) được áp dụng cho 14 sông (xem Bảng 2). Các con sông này được lựa chọn vì chúng vừa có tài liệu đo lưu tốc và vừa có các giá trị của hệ số nhám thực đo. Số liệu đo lưu tốc bao gồm 68 bảng đo lưu tốc được National Institute of Water and Atmosphere, New Zealand và Thiess Environmental Services Pty Ltd., VIC, Australia cung cấp. Các khoảng giá trị thực đo và tính toán theo công thức (8) của hệ số Manning n cho các sông này được chỉ ra trong Bảng 3. Trong bảng này cũng đưa ra các sai số trung bình tương đối (ARE) của hệ số nhám tính toán so với các giá trị thực đo của 14 con sông này. Từ Bảng 3 có thể thấy rằng mặc dù không thể tránh khỏi sai số trong đo đạc lưu tốc và qui luật phân bố lưu tốc dạng logarit có thể chưa hoàn toàn sát, nhìn chung giá trị tính toán và thực đo khá gần nhau.

Bảng 2. Tóm tắt các đặc trưng chính về thủy lực và hệ số nhám thực đo của 14 sông

TT	Tên sông	Số giá trị đo n	Số tài liệu lưu tốc	Q m ³ /s	V m/s	A m ²	R m	S _f	S _w	B m	B/D	Re 10 ³	Fr	T/liệu cấp phối	Giá trị n đo
1	Acheron ¹	11	8	3.17-72.9	0.11-0.91	28.2-81.9	2.14-5.88	0.00003-0.00090	0.000025-0.00085	19.6-24	>10.6	143-1331	0.03-0.24	✓	0.033-0.047
2	Merriman Creek ¹	4	4	8.56-36.5	0.28-0.53	30.4-68.8	1.60-2.31	0.00027-0.00060	0.000273-0.000585	16.5-26	>9.2	453-1231	0.07-0.11	No	0.076-0.080

3	Mitta Mitta ¹	15	9	28-144	0.72-1.51	40.1-96.1	1.26-2.55	0.00076-0.00194	0.000733-0.00202	29-105	>10.6	917-5155	0.20-0.37	✓	0.039-0.047
4	Tambo ¹	3	3	129-701	1.39-2.15	93.2-329	2.15-4.49	0.00121-0.00131	0.00125-0.00134	63-109	>13.2	2987-12790	0.28-0.32	✓	0.041-0.045
5	Grey ²	7	6	73-1110	0.78-2.22	101-501	0.67-2.33	0.00067-0.00122	0.00069-0.00107	129-198	>76.2	522-13340	0.30-0.54	✓	0.025-0.031
6	Oakden Canal ²	4	4	4.9-20.5	0.14-0.53	35.5-39.9	1.77-1.89	0.00001-0.00008	0.00001-0.0001	19.3-22.3	>13.0	348-1002	0.03-0.12	✓	0.037-0.027
7	Ongarue ²	8	6	10.5-241	0.50-0.97	25.8-144	0.87-3.03	0.00032-0.00081	0.00027-0.00116	35.4-47	>14.9	435-2030	0.17-0.26	✓	0.022-0.050
8	Poutu ²	3	2	2.31-6.36	1.48-1.32	2.25-5.0	0.28-0.36	0.00145-0.00306	0.00067-0.00103	7.15-10.3	>9.1	414-475	0.70-0.89	✓	0.015-0.017
9	Tahunatara ²	7	4	2.93-36	0.25-1.13	11.8-31.9	0.88-1.58	0.00018-0.00060	0.00018-0.00063	10.9-14.2	>10.9	220-1785	0.09-0.29	✓	0.027-0.049
10	Rangitaiki ²	7	6	47.5-144	0.70-0.96	68.6-150	1.71-2.73	0.00046-0.00057	0.00046-0.00062	48.5-61.5	>25.2	1197-2621	0.17-0.19	✓	0.042-0.050
11	Waipapa ²	6	3	3.5-57.4	0.60-2.50	6.31-23.9	0.33-0.96	0.00632-0.00906	0.00686-0.00911	18.3-18.5	>23.1	198-240	0.33-0.81	No	0.027-0.055
12	Wanganui ² (1) at Te Whaiiau Canal	6	4	6.75-13.5	0.40-0.60	16.2-22.7	0.81-1.04	0.00009-0.00013	0.00009-0.00011	20.2-21.5	>20.0	340-624	0.14-0.19	✓	0.019-0.022
13	Wanganui ² (2) at Wairehu Canal	9	5	6.15-31.9	0.61-1.32	10.1-24.2	0.83-1.5	0.00027-0.00059	0.00029-0.00069	11.8-14.3	>9.6	506-1980	0.21-0.35	✓	0.022-0.025
14	Whirinaki ²	6	4	6.59-64	0.57-1.97	11.7-32.8	0.55-1.18	0.00442-0.00471	0.00441-0.00474	18.8-27.5	>22.3	314-2325	0.24-0.58	✓	0.037-0.047
Total/Range		96	68	2.31-1110	0.11-2.22	2.25-501	0.28-5.88	0.00001-0.00906	0.00001-0.00911	7.15-198	>9	143-13340	0.03-0.81		0.015-0.080

Ghi chú: ¹ chỉ các sông ở Australia, ² chỉ các sông ở New Zealand (Nguồn: Hick and Mason (1991) và Thiess Environmental Services Pty Ltd, Victoria, Australia)

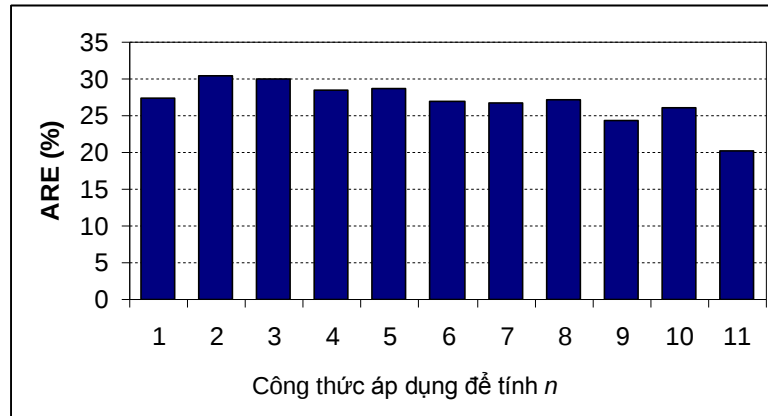
Bảng 3. Giá trị Manning n đo đạc và tính toán và sai số tương đối của 14 sông

TT	Tên sông	n đo	n tính toán (Eq. 8)	ARE * (%)
1	Mitta Mitta ¹	0.034-0.049	0.35-0.54	8.49
2	Tahunatara ²	0.029-0.036	0.29-0.49	16.23
3	Tambo ¹	0.033-0.048	0.41-0.45	10.18
4	Whirinaki ²	0.037-0.046	0.036-0.051	12.46
5	Ongarue ²	0.022-0.034	0.023-0.032	13.73
6	Acheron ¹	0.034-0.047	0.027-0.043	19.51
7	Grey ²	0.025-0.031	0.029-0.031	16.67
8	Rangitaiki ²	0.042-0.050	0.027-0.044	23.56
9	Waipapa ²	0.027-0.040	0.025-0.046	24.71
10	Merriman Creek ¹	0.056-80	0.054-0.064	24.48
11	Wanganui ² 1	0.022-0.025	0.023-0.036	28.75
12	Oakden Canal ²	0.027-0.037	0.034-0.042	29.40
13	Poutu ²	0.016-0.017	0.020-0.021	24.26
14	Wanganui ² 2	0.018-22	0.020-0.032	36.77

Note: * Sai số tương đối (ARE) được xác định theo công thức $\sum |(n_{comp} - n_{meas}) / n_{meas}| / N.100\%$, trong đó n_{comp} và n_{meas} là các giá trị Manning's n đo đạc và tính toán và N là số giá trị n tính toán; ¹ chỉ các sông ở Australia và ² chỉ các sông ở New Zealand.

Để đánh giá phương pháp đưa ra (theo công thức (8) tính hệ số nhám từ tài liệu đo lưu tốc) với các công thức kinh nghiệm để xác định hệ số nhám Manning n , các sai số trung bình tương đối (ARE) của n được tính toán cho các công thức khác nhau. Giá trị này được biểu diễn trong

Hình 1. Từ hình vẽ có thể thấy rằng công thức (8) có giá trị sai số trung bình tương đối là nhỏ nhất. Điều này cho thấy dùng công thức này để xác định hệ số nhám đối với các sông có tài liệu đo lưu tốc sẽ cho kết quả đáng tin cậy hơn các công thức kinh nghiệm trong Bảng 1.



Hình 1. Các sai số tương đối trung bình (ARE) của n được tính từ các công thức kinh nghiệm trong Bảng 1 (từ số 1 đến số 10) và từ công thức (8) (số 11)

4. Kết luận

Bài báo này đã xây dựng lại công thức tính hệ số nhám sử dụng tài liệu đo lưu tốc trên các sông dựa vào qui luật phân bố lưu tốc logarit. Ưu điểm của phương pháp này là nó có thể xác định được giá trị của hệ số nhám từ số liệu đo lưu tốc tại một mặt cắt trên sông mà không cần phải xác định độ dốc thủy lực hay độ dốc mực nước. Công thức xây dựng được áp dụng cho 14 con sông ở New Zealand và Australia ở đó các giá trị đo của hệ số nhám đã biết. Kết quả tính toán từ công thức này

đã được so sánh với hệ số nhám thực đo và một số công thức kinh nghiệm. Kết quả so sánh cho thấy mặc dù các sai số trong đo đạc không thể tránh khỏi và phân bố lưu tốc có thể không hoàn toàn theo qui luật lôgarit các giá trị tính toán n từ công thức đề nghị vẫn cho các kết quả tốt hơn so với các công thức kinh nghiệm. Điều này cho thấy rằng đây là một phương pháp khá tốt để xác định hệ số nhám của sông rộng khi có các tài liệu đo lưu tốc hai điểm trên các thủy trực của mặt cắt sông.

Tài liệu tham khảo

- Barnes, H.B. (1967). *Roughness characteristics of natural channels*. US Geological Survey Water-Supply Paper 1849.
- Bray, D.I. (1979). Estimating average velocity in gravel-bed rivers. *Journal of Hydraulic division*, 105, 1103-1122.
- Chow, V.T. (1959). *Open channel hydraulics*. New York, McGraw-Hill.
- Coon, W.F (1998). *Estimation of roughness coefficients for natural stream channels with vegetated banks*. U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2441.
- Dingman, S. L. & Sharma, K.P. (1997). Statistical development and validation of discharge equations for natural channels. *Journal of Hydrology*, 199, 13-35
- French, R.H. (1985). *Open channel hydraulics*. New York, McGraw-Hill.
- Henderson F.M. (1966). *Open channel flow*. New York, MacMillan Co.
- Hicks, D.M. and Mason, P.D. (1991). *Roughness characteristics of New Zealand Rivers*, DSIR Marine and freshwater, Wellington.

Keulegan, G. H. (1938). Laws of turbulence flow in open channels. *Journal of Research of the National Bureau of Standards*, 21, 707-741.

Lacey, G. (1946). A theory of flow in alluvium. *Journal of the Institution of Civil Engineers*, 27, 16-47.

Ladson, A. R., Lang, S. M., Smart, G. M., Anderson, B. G., and Rutherford, I. D. (2006). "Flow resistance in four Australian rivers", *Australian Journal of Water Resources*.

Ladson, A., Anderson, B., Rutherford, I., and van de Meene, S. (2002). An Australian handbook of stream roughness coefficients: How hydrographers can help. Proceeding of 11th Australian Hydrographic conference, Sydney, 3-6 July, 2002.

Lang, S., Ladson, A. and Anderson, B. (2004). A review of empirical equations for estimating stream roughness and their application to four streams in Vitoria. *Australian Journal of Water Resources*, 8(1), 69-82.

Riggs, H.C. (1976). A simplified slope area method for estimating flood discharges in natural channels. *Journal of Research of the US Geological Survey*, 4, 285-291.

Abstract

ESTIMATION OF ROUGHNESS COEFFICIENTS IN RIVERS FROM FLOW DATA

An accurate estimation of Manning's roughness coefficient is of vital importance in any hydraulic study including open channel flows. There are many empirical methods to estimate the values of roughness however these methods are often applicable only to certain conditions. In many rivers, the velocities at two-tenths and eight-tenths of the depth at stations across the river are available. For wide river (ratios between width and depth is appropriate or greater than 10), these data can be used to estimate Manning's roughness n based on a logarithmic velocity distribution. This paper re-investigates and improves the method of using two-point velocity measurement to estimate roughness coefficients to wide rivers. The proposed formulae are applied to 14 rivers in Newzealand and Australia where their roughness coefficients were measured. The results are compared with the measured roughness coefficients and the values computed from some other empirical formulae. It is suggested that this method can be used as a means to estimate roughness coefficients for streams where two-point velocity data are available.

Key Words: rivers, roughness coefficients, two-point velocity method, and logarithm distribution.