

стороны дна отводящего русла малы и поэтому скорости бурного потока, входя в расширение, увеличиваются, а глубины уменьшаются. Для изучения растекания потока на участке I можно пользоваться схемой, приведенной на рис. 2.

В сечении предельного расширения потока $A-A F > 1$. Этот факт может использоваться далее при разработке методов расчета характеристик лепестка растекания потока. Участки растекания потока за сечением $A-A$ в настоящей работе не рассматриваются, так как основной целью работы было доказательство существования в лепестке растекания участка I и обоснование возможности пользования моделью потока на рис. 2 для изучения участка I реального потока в лепестке растекания.

1. **Шеренков И. А.** О плановой задаче растекания струи бурного потока несжимаемой жидкости // Известия АН СССР. ОТН. – 1958. – № 1. – С. 72–78.

2. **Емцев Б. Т.** Двухмерные бурные потоки. – М.: Энергия, 1967. – 212 с.

3. **Штеренлихт Д. В.** Гидравлика. – Изд. 3-е, перераб. – М.: Колос, 2005. – 656 с.

4. Справочник по гидравлике / Под ред. В. А. Большакова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Киев: Высшая школа, 1984. – 343 с.

Материал поступил в редакцию 24.03.11.

Косиченко Наталья Викторовна, ассистент кафедры «Механика и гидравлика»

Тел. 8 (86352) 3-55-21; 8-918-551-67-22

E-mail: nikbk@inbox.ru

УДК 502/504:532.5

А. Ш. МАМЕДОВ

Научно-исследовательский и проектный институт «Суканал», Азербайджанская Республика

О РАСЧЕТЕ КОЭФФИЦИЕНТА ШЕЗИ РЕЧНОГО ПОТОКА

Приведены результаты анализа расчета коэффициента Шези, проведенного рядом исследователей. На основе многочисленных натурных данных получена формула для параметра профиля скорости K от шероховатости русла. Выведена новая зависимость для коэффициента Шези. Полученные формулы апробированы на многочисленных натурных данных для различных каналов.

Коэффициент Шези, коэффициент шероховатости, гидравлический радиус, формула Маннинга обобщенная, формула, параметры профилей скорости, глубина потока.

There are given results of the analysis of the Chezy factor calculation carried out by a number of researches. On the basis of numerous natural data there is deduced a formula for the velocity profile parameter K from channel roughness. A new dependence is derived for the Chezy factor. The obtained formulas are tested on numerous natural data for different channels.

Chezy friction factor, hydraulic radius, Manning equation, generalized formula, velocity profiles parameters, flow depth.

Правильная оценка гидравлических потерь по длине при равномерном движении потока в руслах каналов в значительной степени влияет на точность всего расчета, однако в настоящее время оста-

ется нерешенной задача расчета крупных каналов в деформируемых руслах [1–5].

Подробные анализы существующих формул, их классификации и результаты сопоставлений рассматриваются в ряде

работ [1–4, 8]. Приведем лишь один пример. В работе П. Ф. Горбачева, вышедшей в 1936 году, анализируется свыше 100 различных формул для коэффициента Шези. С того времени количество формул для C значительно увеличилось, что не является случайным, и связано с многообразием условий движения потока. Повидимому, каждая из формул для определения C в наилучшей степени отвечает тем конкретным условиям течения, для которых она выведена.

Автором сделана попытка проанализировать существующие рекомендации по расчету C и рекомендовать те из них, которые в наибольшей степени отвечают условиям русел каналов статического и динамического равновесия.

Среди формул для коэффициента Шези наиболее применяемыми являются показательные и логарифмические. Из ранних эмпирических формул для коэффициента Шези следует отметить формулу Маннинга (1889), которую обычно записывают в следующем виде:

$$C = (1/n)R^{1/6}, \quad (1)$$

где n – коэффициент шероховатости русла; R – гидравлический радиус русла.

Коэффициент шероховатости, входящий в (1), назначается по шкале Гангилле и Куттера. Благодаря простоте и достоверности формула Маннинга широко используется для расчета каналов, искусственных водоводов, а иногда и естественных речных русел.

Н. Н. Павловский проанализировал обширный материал натуральных наблюдений (более 300 опытных точек, в основном по движению воды в различных каналах) и предложил обобщенную формулу для коэффициента Шези:

$$C = (1/n)R^{1/y}, \quad (2)$$

где y – переменный показатель степени, зависящий от гидравлического радиуса R и коэффициента шероховатости n ; определяется по формуле

$$y = 2,5\sqrt{n} - 0,13 - 0,75 \cdot \sqrt{R} (\sqrt{n} - 0,10). \quad (3)$$

Н. Н. Павловский рекомендует зависимость (2) для расчета открытых русел при $0,1 \text{ м} \leq R \leq 3,0 \text{ м}$ и для значений n от 0,011 до 0,04. Иногда при предварительных расчетах эту формулу, так же как формулу Маннинга и Форхмера, экстраполируют до $R = 5,0 \text{ м}$. Для назначения коэффициента шероховатости

n Н. Н. Павловским составлена специальная таблица [3, 6].

С 1949 года в практике гидравлических расчетов наряду с формулами степенного типа Маннинга и Н. Н. Павловского стала применяться полуэмпирическая формула логарифмического типа, чаще всего именуемая как формула И. И. Агроскина [2, 6]:

$$C = 1/n + 17,721 \lg R. \quad (4)$$

В 1965 году И. И. Агроскин и Д. В. Штеренлихт предложили уточненное выражение для (4), желая привести данную формулу в большее соответствие с формулой Н. Н. Павловского [2, 6]:

$$C = 1/n + (27,5 - 300n) \lg R. \quad (5)$$

При $R < 5 \text{ м}$ и $n \leq 0,02$ значение C на 1...2 % меньше его значения, по Н. Н. Павловскому.

Обработывая результаты большого числа натуральных измерений на реках и каналах, аналогичную формулу для значения $5 < R < 10 \text{ м}$ предложил В. Г. Талмаза [2, 7]:

$$C = 1/n + (21 - 100n) \lg h, \quad (6)$$

где h – средняя глубина потока, м.

В 1968 году Г.В. Железняков, исходя из логарифмического закона распределения скоростей, использовал формулу для коэффициента Шези в следующем виде [6]:

$$C = \frac{1}{n} + \frac{2,3\sqrt{g}}{K} \lg R, \quad (7)$$

где K – параметры профилей скорости.

Для определения K он предлагал использовать следующее выражение:

$$K = \frac{2,3\sqrt{g} + 0,3C}{\sqrt{g} + C}. \quad (8)$$

Учитывая (8) в формуле (7), Ф. В. Железняков рекомендует зависимость для определения коэффициента Шези в следующем виде [6]:

$$C = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{n} - \frac{\sqrt{g}}{0,13} (1 - \lg R) \right] + \sqrt{\frac{1}{4} \left[\frac{1}{n} - \frac{\sqrt{g}}{0,13} (1 - \lg R) \right]^2 + \frac{\sqrt{g}}{0,13} \left(\frac{1}{n} + \sqrt{g} \lg R \right)}. \quad (9)$$

По мнению автора [2], формула (9) в отличие от других формул справедлива в большом диапазоне глубин потока и коэффициентов шероховатости. Для ее практического применения составлена таблица. Значения C , найденные по формуле Г. В. Железнякова, при $R < 5 \text{ м}$ на $\pm 3...5 \%$

отличаются от значений, вычисленных по формуле Павловского, а при $R > 5$ м они полностью совпадают со значениями, определенными по формуле Талмаза.

В последнее время для расчета крупных каналов и рек предлагается использовать формулу (9) [4–6]. Однако применение данного выражения наряду с другими формулами загромождает полученную зависимость.

Предлагаемая методика расчета.

Для определения коэффициента Шези автором выполнена обработка данных многочисленных натурных исследований Верхне-Карабахского, Верхне-Ширванского, Каракумского, Кызылкумского, Северо-Крымского, Потийского и других каналов [1–3, 9]. При этом установлена прямая функциональная зависимость для значе-

ния параметра профилей скоростей K от шероховатости русла:

$$K = 4,1n + 0,32. \quad (10)$$

По данным натурных исследований Главного Муганского канала определены коэффициент шероховатости канала и параметр профилей скоростей в нем [2, 9]. Результаты подсчетов приведены в табл. 1. Из этой таблицы следует, что глубина потока в канале изменяется от 1,0 до 3,2 м, а скорость воды в нем составляет 0,381...1,296 м/с. Коэффициент шероховатости канала, определяемый по данным натурных наблюдений, колеблется от 0,0123 до 0,0680. Параметр профилей скорости определен по выражению Г. В. Железнякова – его значение вдоль канала изменяется в пределах 0,372...0,624. На рис. 1 представлен график изменения

Таблица 1

Параметры потока Главного Муганского канала (коэффициенты Шези, шероховатости и профилей скорости)

Глубина потока H , м	Скорость воды v , м/с	Коэффициент Шези C , м ^{0,5} /с	Коэффициент шероховатости n	Параметр K , по Г. В. Железнякову
1,80	0,419	16,23	0,0680	0,624
2,30	0,451	17,87	0,0643	0,598
2,40	0,710	18,44	0,0627	0,590
1,98	0,510	18,89	0,0593	0,584
1,20	0,381	18,13	0,0569	0,595
2,05	0,565	20,57	0,0548	0,564
2,80	0,582	22,12	0,0537	0,548
1,50	0,760	23,95	0,0447	0,531
2,70	0,960	26,67	0,0442	0,510
2,20	0,615	26,39	0,0432	0,512
2,70	0,807	29,51	0,0400	0,492
2,52	0,712	29,19	0,0400	0,494
2,75	0,818	29,64	0,0399	0,491
3,10	0,845	30,53	0,0395	0,486
2,70	0,980	30,50	0,0387	0,486
1,65	0,610	28,53	0,0381	0,498
3,15	0,872	31,99	0,0378	0,478
2,78	0,887	31,96	0,0371	0,479
1,90	0,645	30,47	0,0365	0,486
1,28	0,496	30,69	0,0340	0,485
3,10	0,986	35,62	0,0339	0,462
3,20	0,991	36,06	0,0337	0,460
2,30	0,724	39,50	0,0291	0,447
1,60	0,565	37,34	0,0290	0,455
2,20	0,741	41,35	0,0276	0,441
1,90	0,771	41,10	0,0271	0,442
2,30	0,876	42,44	0,0271	0,437
0,90	0,496	36,58	0,0269	0,458
1,80	0,662	41,87	0,0263	0,439
1,30	0,668	41,03	0,0255	0,442
2,60	0,898	46,07	0,0255	0,427
1,85	0,659	44,44	0,0249	0,432
1,28	0,687	42,51	0,0245	0,437
2,10	0,714	46,39	0,0244	0,426

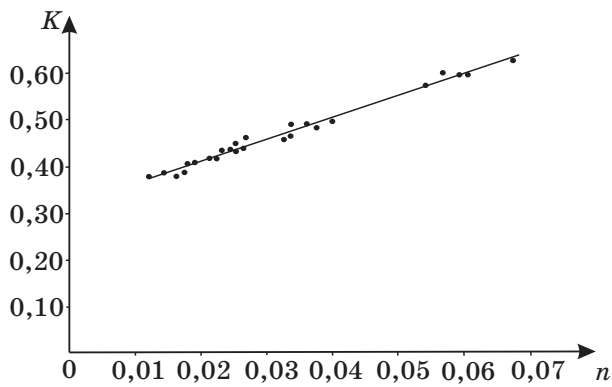


Рис. 1. Изменение параметра профилей скорости в зависимости от коэффициента шероховатости (по данным Главного Муганского канала)

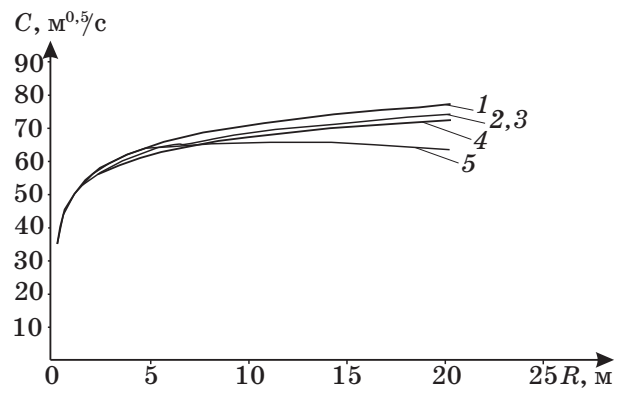


Рис. 2. Графики $C = f(R)$ при $n = 0,02$: 1 – И. И. Агроскин; 2 – В. Г. Талмаза; 3 – Г. В. Железняков; 4 – автор; 5 – Н. Н. Павловский

Таблица 2

Коэффициенты Шези по разным формулам и их сопоставление

Глубина воды h , м	Скорость потока v , м/с	Гидравлический уклон J	Коэффициенты Шези по опытным данным, $C_{оп}$, $м^{0,5}/с$	Коэффициент шероховатости n	Коэффициенты Шези C , $м^{0,5}/с$	Расхождение между $C_{оп}$ и C , %	Коэффициенты Шези по В. Г. Талмаза, $м^{0,5}/с$	Расхождение между $C_{оп}$ и C , по В. Г. Талмаза, %	Коэффициенты Шези по Г. В. Железнякову, $м^{0,5}/с$	Расхождение между $C_{оп}$ и C , по Г. В. Железнякову, %
19,0	1,40	0,000060	41,5	0,0394	45,34	-9,36	47,20	-13,83	47,13	-13,65
16,0	1,68	0,000054	57,2	0,0278	56,96	0,33	57,95	-1,39	57,57	-0,73
15,5	1,08	0,000060	35,4	0,0446	40,19	-13,48	42,12	-18,93	42,01	-18,63
14,1	0,97	0,000060	33,3	0,0466	38,31	-14,89	40,23	-20,64	40,10	-20,25
13,0	1,43	0,000045	59,1	0,0259	58,31	1,38	59,06	0,10	58,59	0,90
12,5	1,95	0,000120	50,3	0,0303	51,68	-2,65	52,77	-4,80	52,22	-3,72
12,0	1,43	0,000054	56,2	0,0269	56,07	0,19	56,88	-1,26	56,35	-0,32
11,2	0,72	0,000023	44,9	0,0333	47,30	-5,44	48,53	-8,17	47,91	-6,80
11,0	1,05	0,000054	43,1	0,0346	45,87	-6,46	47,15	-9,45	46,53	-8,01
10,0	1,12	0,000045	52,8	0,0278	53,37	-1,09	54,19	-2,64	53,56	-1,45
9,0	0,81	0,000051	37,8	0,0381	41,28	-9,17	42,61	-12,71	41,90	-10,83
8,0	2,10	0,000200	52,5	0,0269	52,97	-0,90	53,66	-2,20	52,96	-0,88
7,6	0,98	0,000100	35,5	0,0394	39,10	-9,98	40,38	-13,58	39,59	-11,37
7,2	1,06	0,000052	54,8	0,0254	54,71	0,13	55,25	-0,86	54,58	0,38
7,0	0,77	0,000030	53,1	0,0260	53,39	-0,47	53,97	-1,56	53,26	-0,24
6,8	0,70	0,000030	49,0	0,0281	50,05	-2,13	50,75	-3,55	49,99	-2,0
6,6	1,50	0,000060	75,4	0,0182	70,80	6,07	70,76	6,13	70,40	6,60
6,5	1,20	0,000100	47,1	0,0290	48,43	-2,90	49,17	-4,46	48,37	-2,78
6,0	1,56	0,000180	47,5	0,0284	48,68	-2,54	49,35	-3,95	48,55	-2,28
5,5	2,34	0,000190	72,4	0,0184	68,70	5,10	68,67	5,13	68,27	5,68
5,0	1,00	0,000250	28,3	0,0462	31,92	-12,84	33,08	-16,94	32,20	-13,84
4,0	0,45	0,000045	33,5	0,0376	36,17	-7,85	37,00	-10,32	36,07	-7,55
3,4	0,43	0,000100	23,3	0,0526	26,44	-13,39	27,38	-17,43	26,52	-13,72
3,24	1,14	0,000250	40,1	0,0304	41,59	-3,84	42,10	-5,10	41,29	-3,07
2,2	0,35	0,000025	47,2	0,0242	47,56	-0,78	47,75	-1,17	47,21	-0,03
2,0	0,73	0,000290	30,3	0,0370	31,80	-4,92	32,21	-6,27	31,52	-4,0
1,53	0,65	0,000250	33,2	0,0323	34,04	-2,42	34,24	-3,03	33,8	-1,7
1,30	0,97	0,00750	31,1	0,0336	31,61	-1,76	31,75	-2,19	31,44	-1,22

параметра профилей скорости в зависимости от шероховатости русла канала.

С учетом значения K по (10) в (7) получаем формулу для определения коэффициента Шези:

$$C = \frac{1}{n} + \frac{2,3\sqrt{g}}{4,1n + 0,32} \lg R. \quad (11)$$

Сравнение формулы (11) с формулой (6) показало совпадение на 98...99 % при значении $0,1 > R \leq 20$ м и $0,01 > n > 0,06$. Для сопоставления (11) использованы также опытные данные М. П. Сосорова, в его опытах глубина воды изменялась от 1,3 до 19,0 м (табл. 2) [7]. При этом коэффициент Шези подсчитан по данным опытов, а также по формулам (11), В. Г. Талмаза и Г. В. Железнякова. Из табл. 2 следует, что величина значения коэффициента Шези, определяемая по натурным данным М. П. Сосорова, составляет 19,4...75,4 м^{0,5}/с, по (11) – 23,57...70,80 м^{0,5}/с, по формуле

В. Г. Талмаза – 21,83...70,76 м^{0,5}/с и по формуле Г. В. Железнякова – 21,14...70,40 м^{0,5}/с. Расхождение между коэффициентами Шези, вычисленными по опытным данным и по (11), составляет 0,11...14,89 %, по формуле В. Г. Талмаза – 0,10...20,64 %, по формуле Г. В. Железнякова – 0,2...20,25 %. Следовательно, сходимость по (11) значительно улучшается по сравнению с другими существующими зависимостями.

С целью проверки и сопоставления приведенных значений коэффициентов Шези построены кривые $C = f(R)$, представленные на рис. 2. Графики, построенные по формулам (1), (2), (5), (6), (9) и (11), имеют монотонно возрастающий характер, по (2) – переходят из монотонно возрастающих в нисходящие при различных значениях R в зависимости от значений n , при $R < 10$ м имеют нисходящий характер. При $R < 3$ м и $n < 0,04$ формулы Н. Н. Павловского, И. И. Агроскина и В. В. Штеренлихта

Таблица 3

Коэффициенты Шези по существующим и предлагаемой формулам и расхождение между ними

R	n	Значения коэффициента Шези по формулам					Расхождение между предлагаемой и существующими формулами, %			
		В. Г. Талмаза	И. И. Агроскина Д. В. Штеренлихта	Г. В. Железнякова	Н. Н. Павловского	Автора	В. Г. Талмаза	И. И. Агроскина, Д. В. Штеренлихта	Г. В. Железнякова	Н. Н. Павловского
0,2	0,02	36,72	34,97	38,77	35,68	37,47	-2,056	-7,16	3,353	-5,03
0,5	0,02	44,28	43,53	44,95	43,48	44,61	-0,734	-2,48	0,764	-2,59
1,0	0,02	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	0,000	0,00	0,000	0,00
1,5	0,02	53,35	53,79	53,09	53,91	53,16	0,357	1,17	-0,123	1,39
2,0	0,02	55,72	56,47	55,34	56,63	55,39	0,584	1,91	-0,100	2,18
4,0	0,02	61,44	62,94	60,93	62,54	60,79	1,058	3,42	0,231	2,80
5,0	0,02	63,28	65,03	62,78	64,07	62,53	1,193	3,85	0,400	2,41
6,0	0,02	64,78	66,73	64,30	65,12	63,94	1,297	4,17	0,557	1,81
7,0	0,02	66,06	68,17	65,60	65,83	65,14	1,382	4,44	0,699	1,04
8,0	0,02	67,16	69,42	66,74	66,30	66,18	1,452	4,66	0,830	0,17
9,0	0,02	68,13	70,52	67,74	66,58	67,10	1,513	4,84	0,949	-0,78
10,0	0,02	69,00	71,50	68,65	66,72	67,92	1,565	5,01	1,060	-1,79
11,0	0,02	69,79	72,39	69,47	66,75	68,66	1,612	5,15	1,163	-2,86
12,0	0,02	70,50	73,20	70,22	66,69	69,34	1,653	5,28	1,258	-3,97
14,0	0,02	71,78	74,64	71,56	66,37	70,54	1,725	5,50	1,431	-6,28
15,0	0,02	72,35	75,29	72,17	66,13	71,08	1,756	5,59	1,510	-7,48
17,0	0,02	73,38	76,45	73,26	65,53	72,05	1,811	5,76	1,656	-9,95
18,0	0,02	73,85	76,99	73,77	65,18	72,49	1,836	5,84	1,723	-11,21
19,0	0,02	74,30	77,49	74,24	64,82	72,92	1,859	5,91	1,787	-12,50
20,0	0,02	74,72	77,97	74,69	64,43	73,31	1,881	5,97	1,848	-13,80

совпадают с точностью 1...2 % (табл. 3). Анализ построенных кривых с большой точностью показывает сходимость формул (9) и (11). Поэтому в дальнейших расчетах автором предложено использовать формулу (11).

Надо подчеркнуть, что все приведенные эмпирические и полуэмпирические формулы для коэффициента Шези относятся к равномерному движению воды в области квадратичного закона сопротивления и являются приближенными.

Выводы

Предлагаемая методика расчета коэффициента Шези по формуле (11), апробированная на многочисленных данных для различных каналов, показывает ее наилучшую сходимость с натурой и поэтому рекомендуется для расчета крупных каналов.

1. **Алтуни В. С.** Мелиоративные каналы в земляных руслах. – М.: Колос, 1979. – 254 с.

2. **Ибадзаде Ю. А.** Водопроводные каналы. – М.: Стройиздат, 1975. – 192 с.

3. **Рабкова Е.К.** Проектирование и рас-

чет оросительных каналов в земляном русле. – М., 1990. – 250 с.

4. Рекомендации по гидравлическому расчету крупных каналов. – М.: Союзгипроводхоз, 1988. – 153 с.

5. Руководство по гидравлическим расчетам крупных земляных каналов. – М.: Министерство мелиорации и водного хозяйства СССР, 1984. – 50 с.

6. **Железняков Г. В.** Пропускная способность русел каналов и рек. – Л.: Гидрометеиздат, 198. – 310 с.

7. **Сосоров М. П.** О расчете коэффициента Шези речного потока // Гидротехническое строительство. – 1970. – № 7. – С. 36–38.

8. **Талмаза В. Ф., Крошкин А. Н.** Гидроморфометрические характеристики рек горно-предгорной зоны. – Фрунзе, 1968. – 210 с.

9. Кадастр крупных земляных каналов СССР. – М.: Министерство мелиорации и водного хозяйства СССР, 1986. – 208 с.

Материал поступил в редакцию 10.06.10.

Мамедов Ахмед Ширин оглы, кандидат технических наук, заместитель директора

E-mail: a.memmedov@sukanal.az

УДК 502/504:556.5 (470.26)

Н. С. БЕЛОВ

Балтийский федеральный университет имени И. Канта

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ В РЕЧНЫХ БАССЕЙНАХ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

В статье представлена авторская методика и приведены результаты оценки геоэкологической ситуации в речных бассейнах Калининградской области.

Геоэкология, параметрическая оценка, речные бассейны, Калининградская область.

In the article the author's method and results of evaluation of the geo-ecological situation in the river basins of the Kaliningrad area are given.

Geo-ecology, parametric estimation, river basins, the Kaliningrad area.

Оценка геоэкологической ситуации в речных бассейнах является неотъемлемым элементом для оптимизации природопользования. В последние годы данной проблеме уделяется серьезное внимание,

предложено множество вариантов геоэкологических оценок территорий [1–8]. Как правило, при геоэкологической оценке исследуемый объект рассматривается как сложная система с неаддитивными