УДК 556. 536

Ясінська Л. Р., аспірант (Національний університет водного господарства та природокористування)

ОБҐРУНТУВАННЯ ФОРМУЛ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ШЕЗІ ТА КОЕФІЦІЄНТА ШОРСТКОСТІ РУСЛА ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ р. ДНІСТЕР В МЕЖАХ м. СТАРИЙ САМБІР ЛЬВІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Розглянуто та проаналізовано залежності для визначення коефіцієнта шорсткості та коефіцієнта Шезі з врахуванням характеристик досліджуваної ділянки р. Дністер в межах м. Ст.Самбір Львівської області
Ключові слова: шорсткість, коефіцієнт Шезі, моделювання, аргіліт.

Рассмотрено и проанализировано зависимости для определения коэффициента шероховатости и коэффициента Шези и учтены при этом характеристики исследуемого участка р. Днестр в пределах г. Ст.Самбор Львовской области.
Ключевые слова: шероховатость, коэффициент Шези, моделирование, аргиллит.

The dependences to determine the roughness coefficient and the coefficient of Chezy are reviewed and analyzed. The characteristics of the study area of the Dniester River in the city Staryi Sambor Lviv region are taken in to consideration.
Keywords: surface roughness, coefficient of Chezy, modeling, mudstone.

На кафедрі гідротехнічних споруд Національного університету водного господарства та природокористування (м. Рівне) виконувалось моделювання ділянки р. Дністер в межах м. Ст. Самбір Львівської області з метою вивчення руслових процесів та перевірки ефективності роботи руслорегуляційних споруд. Для збереження подібності гідравлічних явищ у натурі і на моделі, та через високу трудомісткість виконання натурних досліджень, виникла необхідність визначення коефіцієнта Шезі та коефіцієнта шорсткості, які б відповідали умовам заданої ділянки русла річки.

Коефіцієнт Шезі. Для визначення коефіцієнта Шезі на сьогодні поширеною є формула Н.Н. Павловського (1, табл. 1). Крім того, є цілий ряд інших емпіричних формул. Добре відомі формули Штріклера, В.Н. Гончарова, В.Ф. Талмази, Гангильє – Куттера та інших дослідників (табл. 1). Ці формули дають різні величини *(C)* для даного конкретного випадку. Це пояснюється наближеністю зазначених емпіричних формул.

Таблиця 1

Формули для визначення коефіцієнта Шезі

№ з/п	Автор	Формула	Джерело інформації
1	Н.Н. Павловський, 1925 р.	$C = \frac{1}{n} \cdot R^{y}$ (1)	[1]
2	Маннінг	$C = \frac{1}{n} \cdot R^{1/6}$ (2)	[2]
3	Штріклер (Стріклер)	$C = 6{,}7\sqrt{g}\left(\frac{h}{d}\right)^{\frac{1}{6}}$ (3)	[3]
4	В.Н. Гончаров	$C = 22{,}2\left(\frac{h}{d}\right)^{\frac{1}{6}}$ (4)	[3]
5	В.Ф. Талмаза	$C = 11\frac{m-1{,}5}{m+1}\sqrt{g}\left(\frac{h}{d}\right)^{\frac{1}{m}}$ (5)	[3]
6	Гангильє–Куттер, 1869 р.	$C = \frac{23+(1/n)+(0{,}00155/J)}{1+[23+0{,}00155/J](n/R)}$ (6)	[4]
7	Б.А. Бахметев, Н.В. Федоров, 1943р. І.І. Агроскін, 1949р.	$C = (1/n) + 17{,}72\lg R$ (7)	[2] [4]
8	І.І. Агроскін, 1965р.	$C = \frac{1}{n} + (27{,}5 - 300n)\lg R$ (8)	[5]
9	А.Д. Альтшуль (узагальнена)	$C = 20\frac{R}{E + \left(0{,}004/\sqrt{RJ}\right)}$ (9)	[4]
10	А.Д. Альтшуль	$C = 25\left[\frac{R}{(80n)^6 + \frac{0{,}025}{\sqrt{RJ}}}\right]^{1/6}$ (10)	[2]
11	А.Д. Альтшуль, В.А. Лудов	$C = \exp\left(\frac{1{,}3\lg R - 2{,}3\lg n}{1+0{,}22\lg R}\right)$ (11)	[4]
12	Г.В. Железняков	$C = \frac{1}{n} + \frac{\sqrt{g}+C}{1+0{,}13C/\sqrt{g}}\lg R$ (12)	[4]

Точність визначення коефіцієнта Шезі за різними формулами порівнюва-

ли раніше А.М. Латишенков [1], І.П. Яхтенфельд [4] та ін. При цьому в першому випадку за еталон була прийнята формула Н.Н. Павловського (1); вважалось, що вона відображає надійний експериментальний матеріал. В іншому – напівемпірична формула І.І. Агроскіна (8). Але для діапазону значень гідравлічного радіусу $0{,}3 < R < 5$ м [4], що відповідає умовам досліджуваної ділянки р. Дністер в межах м. Ст. Самбір Львівської області, обидві формули дають значення, для яких відхилення не перевищує 2%, і тому воно є достовірним.

Коефіцієнт шорсткості. Слід зазначити, що коефіцієнт Шезі є функцією коефіцієнта шорсткості *(n)*, а для визначення останнього також існує велика кількість залежностей (табл. 2).

Таблиця 2

Значення коефіцієнтів шорсткості
для ділянки р. Дністер в межах м. Старий Самбір Львівської області

№ з/п	Автор	Формула	Значення *n*	Джерело інформації
1	Штріклер (Стріклер)	$n = \frac{0{,}15}{\sqrt{g}} d^{\frac{1}{6}}$ (13)	0,038	[6]
2	В.Н. Гончаров	$n = \frac{\Delta^{\frac{1}{6}}}{22{,}2}$ (14)	0,036	[3]
3	В.Ф. Талмаза	$n = \frac{d^{\frac{1}{m}}}{11\sqrt{g}\,\frac{m-1{,}5}{m+1}}$ (15)	0,041	[3]
4	К.Ф. Артамонов, В.Ф. Талмаза, А.Н. Крошкін	$n = \frac{0{,}135 \cdot d^{1/m}}{\sqrt{g} \cdot \lg\left(\frac{31 \cdot H/d + 2}{H/d + 2}\right)} \cdot \frac{m+1}{m-1{,}5}$ (16)	0,058	[7]
5	Міллер	$\frac{1}{n} = 26 \big/ d_{90}^{1/6}$ (17)	0,031	[6]
6	Гладки–Гавор	$\frac{1}{n} = 54{,}58 \cdot d_{cp}^{4{,}54 d_{cp}}$ (18)	0,043	[6]
7	ПНР	$\frac{1}{n} = 2{,}9 \big/ d_{cp}^{1/6} J^{1/3}$ (19)	0,050	[6]
8	Гангилье–Куттер	-	0,045	[2]

продовження табл. 2

9	ДБН В.2.4-1-99	-	0,050	[8]
10	В.Н. Гончаров	-	0,031	[1]
11	М.Ф. Срібний	-	0,067	[9]
12	Н.Н. Павловський	-	0,040	[1]

Коефіцієнт шорсткості русла, як показник опору руху потоку, є одним з суттєвих факторів і в той же час таким, що важко вимірюється. В таблиці 2 представлено рекомендовані значення коефіцієнтів шорсткості, визначених для умов досліджуваної ділянки. Через свою значну відмінність ці дані допускають значний суб'єктивізм.

Відомо, що основним параметром, який визначає шорсткість русла, є крупність руслових відкладень, гранулометричний склад яких змінюється як в часі, так і вздовж водотоку, особливо на передгірських ділянках річок.

Характерною особливістю ділянки р. Дністер в межах м. Ст. Самбір є залягання в основі аргілітів, що належать до групи напівскельних ґрунтів осадочної підгрупи силікатного типу. Ці породи внаслідок дії атмосферних чинників: опадів, сонця, вітру, річкового стоку швидко втрачають свою міцність і руйнуються (розсипаються), утворюючи осипи [10].

Згідно з дослідженнями Ф.Т. Петтіджона [11], в результаті такого руйнування шаруваті аргіліти мають різний гранулометричний склад від розмірів піску до валунів. До того ж процес відбору проб руслових відкладень включає в себе великий елемент випадковості, тому формули (13)-(19) дають різні значення коефіцієнта шорсткості.

Рекомендації Гангильє – Куттера, М.Ф. Срібного, Н.Н. Павловського, ДБН В.2.4-1-99 (табл. 2) не можемо взяти до уваги, оскільки за ними коефіцієнти шорсткості необхідно встановлювати на основі описових (а не кількісних) характеристик русла річки.

К.Ф. Артамонов, В.Ф. Талмаза, А.Н. Крошкін пропонують формули (20), (21), які дають наближене значення. При відсутності матеріалів, що характеризують фракційний склад руслових відкладень, і наявності даних про похил русла річки, вони рекомендують коефіцієнт шорсткості для річок гірської-передгірської зони [10] визначати за формулою

$$\text{якщо } i = 0{,}005 \div 0{,}1 \text{, то } n = 0{,}2 i^{0{,}3}; \tag{20}$$

$$\text{якщо } i \le 0{,}1 \text{, то } n = \frac{\sqrt[4]{i}}{6{,}5}. \tag{21}$$

Залежності (20), (21) для визначення *(n)* можна було б прийняти в якості основних, але недоліком їх є порушення принципу розмірності.

В результаті було використано формулу Манінга (або рівняння Гоклера – Манінга, 1867,1890) [12]

$$n = \frac{1}{V} \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \ . \tag{22}$$

Формула Манінга перевірена на практиці значною кількістю різноманітних дослідів і спостережень та має і в наш час широке застосування у прак-

тичних розрахунках.

Висновки. На основі проведених досліджень та порівняльного аналізу визначення коефіцієнта Шезі, для моделювання передгірської ділянки р. Дністер в межах м. Ст. Самбір Львівської області, була прийнята формула Н.Н. Павловського (1), а в якості залежності коефіцієнта шорсткості можна рекомендувати формулу Манінга (22).

Перелік умовних позначень

C – коефіцієнт Шезі;
n – коефіцієнт шорсткості;
R – гідравлічний радіус;
y – показник степені, що залежить від гідравлічного радіусу та коефіцієнта шорсткості;
h – глибина потоку;
d – середній діаметр однорідного ґрунту або репрезентативний діаметр неоднорідного ґрунту;
m – показник степені, що залежить від шорсткості русла і глибини потоку;
g – прискорення вільного падіння;
E – приведена лінійна шорсткість;
Δ – висота виступів шорсткості;
d_{90} – діаметр часток, які разом з меншими складають 90% всього зразка;
d_{cp} – середній діаметр;
i, I, J – гідравлічний похил русла;
V – середня швидкість.

1. Справочник по гидравлическим расчетам / под редакцией П. Г. Киселева. – Изд. 4-е, переработ, и доп. – М. : Энергия, 1972. – 312 с. **2**. Гидравлика: учебник для вузов / Р. Р. Чугаев. – Л., «Энергия», 1975. – 600 с. **3**. Онищук В. Ф. Исследование влияния неоднородных несвязных грунтов, слагающих русла предгорных участков рек, на значения неразмывающих скоростей: автореф. дис. …канд. техн. наук / УкрНИИГиМ. – Киев: Институт гидромеханики АН УССР, 1979. – 170 с. **4**. Яхтенфельд И. П. Критерий точности формул для определения коэффициента Шези // Гидротехническое строительство. – 1992. – № 4. – С. 9-10. **5**. Латышенков А. М. Сравнение различных формул для определения коэффициента Шези // Гидротехническое строительство, 1973. – № 7. – С. 32-36. **6**. Гавор А., Ратомски Е. Коэффициент шероховатости в руслах рек // Гидротехническое строительство. – 1988. – № 2. – С. 47-48. **7**. Рекомендации по проэктированию регуляционных сооружений на реках Карпат. – Киев: УИВХ, 1991. – 150 с. **8**. ДБН В.2.4-1-99. Меліоративні системи та споруди. **9**. Методические указания по расчету устойчивых аллювиальных русл горных рек при проектировании гидротехнических сооружений. – М. : Колос, 1972. – 66 с. **10**. Шинкарук Л. А. Гідроморфологічний моніторинг і регулювання р. Дністер в межах м. Старий Самбір Львівської області / Шинкарук Л. А., Хлапук М. М., Якушев А. І. // Водне господарство України. – 2011. – № 2. – С. 41-47. **11**. Петтиджон Ф. Дж. Осадочные породы / пер. с англ. – М.: Недра, 1981. – 751 с., – Пер. изд.: США, 1975. **12.** Gioia, G. Scaling and similarity in open channel flows / Gioia G., Bombardelli F. A. // Physical Review Letters. – 88(1). – 2002.

Рецензент: д.т.н., професор Хлапук М.М. (НУВГП)