

УДК 624.21
UDC 624.21

DOI: 10.33744/0365-8171-2022-112-163-169

**ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТУ ШОРСТКОСТІ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ПОТОКУ
НЕУСТАЛЕНОГО РУХУ РІДИНИ**

**DETERMINATION COEFFICIENT OF ROUGHNESS FOR CALCULATING FLOW OF AN
UNSTEADY MOTION OF LIQUID**



Євсейчик Юрій Борисович, кандидат фізико-математичних наук, доцент, Національний транспортний університет, кафедра «Мости, тунелі та гідротехнічні споруди», доцент. e-mail: jura_ntu@ukr.net, +380442807978

<https://orcid.org/0000-0002-3507-4734>



Медведєв Костянтин Володимирович, кандидат фізико-математичних наук, доцент, Національний транспортний університет, кафедра «Мости, тунелі та гідротехнічні споруди», професор. e-mail: kvmedvediev@gmail.com, +380442807978

<https://orcid.org/0000-0002-0704-7093>



Паровенко Оксана Микитівна, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, кафедра «Мости, тунелі та гідротехнічні споруди», доцент. e-mail: olenik.lia@gmail.com, +380442807978

<https://orcid.org/0000-0001-8872-8415>



Святишенко Ірина Іванівна, інженер, Національний транспортний університет, кафедра «Мости, тунелі та гідротехнічні споруди». e-mail: irina.svyatishenko@gmail.com, +380442807978

<https://orcid.org/0000-0002-8905-0826>

Анотація. Вступ. Аналіз літератури, присвяченої питанням розрахунку гідротехнічних споруд, показав, що існують рекомендації, які враховують вплив шорсткості русла на величину трансформації транзитного потоку рідини з усталеним рухом по довжині русла. Але їх складно застосовувати для меліоративних систем, до складу яких входять комплекси гідротехнічних та транспортних споруд, що створюють додатковий опір руху води, в наслідок чого рух води в системах становиться неусталеним.

На жаль, станом на сьогодні, цьому питанню не достатньо приділено уваги в сучасній науковій літературі. У статті розглянуто питання визначення коефіцієнту шорсткості за матеріалами натурних експериментів на зрошувальних системах України для подальшого використання його в рівняннях Сен-Венана при неусталеному русі води у відкритих призматичних руслах. Авторами статті було проведено аналізування похибок натурних вимірювань максимальних глибин, розрахунку площі живих перерізів тощо. Було визначено абсолютну похибку знаходження падіння рівнів води на окремих ділянках каналу.

Результати. Серед питань, які було висвітлено в розглядуваній публікації, основну увагу було приділено питанню вивчення впливу коефіцієнта шорсткості на елементи потоку при неусталеному русі в меліоративних (зрошувальних) системах. Також наведено результати проведених натурних вимірювань, надано детальний огляд натурних даних і перераховано виміряні параметри на різних ділянках досліджуваного каналу.

Висновки. Було проведено орієнтовне оцінювання та аналізування помилок виконаних вимірів та надано рекомендації щодо визначення середніх значень коефіцієнтів шорсткості для зрошувальних

каналів (русел) з добре профільованим дном та укосами, а також для берегів, не вкритих рослинністю. Результати оброблення даних натурних спостережень зведено в таблицю, в якій представлено порівняння обчислених значень коефіцієнтів шорсткості та побудовано графік залежності коефіцієнтів шорсткості від швидкісного множника (коефіцієнта Шезі).

Ключові слова: неусталений рух води, рівняння Сен-Венана, коефіцієнт шорсткості, натурні спостереження, швидкісний множник.

Вступ. Завдання подальшого збільшення площі зрошуваних земель може бути вирішено за рахунок побудови нових систем, а також реконструювання існуючих, з метою збільшення їхньої пропускної спроможності шляхом ліквідації порожніх скидів води з каналів. Останнє вимагає автоматизації подачі води до каналу відповідно до запитів водоспоживання в різних створах відбору вздовж каналу. Водоспоживання відрізняється у часі, тому реальні умови протікання води в каналах відповідатимуть режиму неусталеного руху. Для правильного обліку водоспоживання слід вирішувати питання руху води разом з теоретичними та експериментальними дослідженнями. Експериментальні (натурні) спостереження охоплюють великий діапазон характеристик, що впливають на процес роботи меліоративних каналів.

Дослідницькою базою теоретичних досліджень для статті стали натурні випробування, проведені науковцями кафедри гідравліки на зрошувальних системах України. Було виконано вишукувальні роботи для вирішення питань, що виникають в процесі експлуатування зрошувальної системи каналів та їхніх відгалужень. Для вивчення впливу шорсткості на величину витрати, швидкості води, глибини потоку, а також з метою розроблення рекомендацій для кількісного врахування фактору шорсткості русла, було проведено відповідні натурні спостереження системи зрошувальних каналів України та порівняння цих параметрів з розрахунковими показниками неусталеного руху рідини відкритих русел.

Мета і методи. Величини коефіцієнта шорсткості було розраховано за формулами М.М. Дідковського та І.А. Родіонова, які було розроблено свого часу в Україні. Вихідними даними для цього стали натурні виміри (Q – витрата води в каналі, початкові умови для подальших розрахунків, наявність рівномірного руху рідини в каналі, позначки рівня води в початковому і кінцевому створах, площі живих перерізів, відстані між перерізами). Для визначення коефіцієнта шорсткості рекомендовано швидкісний множник (визначений за формулою М.М. Павловського). Було проведено розрахунок коефіцієнта шорсткості в кілька етапів. Для визначення цього коефіцієнта було використано різні формули (формули М.М. Павловського та І.І. Агроскіна), а також було розраховано абсолютний коефіцієнт шорсткості.

Результати і пояснення. Використання рівнянь Сен-Венана є актуальним для вирішення для вирішення задач протікання води в меліоративних та зрошувальних каналах, задач водовідведення в дорожньо-транспортній системі, гідротехнічному будівництві, а також для інших сучасних інженерних завдань у галузі меліорації.

Неусталений рух зливових вод можна описати системою рівнянь Сен-Венана

$$i_0 - \frac{\partial h}{\partial s} = \frac{\alpha}{2g} \cdot \frac{\partial V^2}{\partial s} + \frac{\alpha_0}{g} \cdot \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{V^2}{C^2 \cdot R}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial s} = 0$$

де i_0 – ухил дна русла; h – глибина потоку; V – середня швидкість потоку; t – час; s – відстань; g – прискорення вільного падіння; ω – площа живого перерізу потоку; C – швидкісний множник (коефіцієнт Шезі); R – гідравлічний радіус; Q – витрата; α – коефіцієнт кінетичної енергії; α_0 – коефіцієнт кількості руху.

Кінцевим результатом розв'язання цих рівнянь є отримання функцій $h=f_1(t,S)$ і $Q=f_2(t,S)$, на підставі яких можна представити вичерпну характеристику неусталеного руху. При цьому є можливість отримання графіка зміни глибин $h=\varphi_1(t)$ та гідрографа стоку $Q=\varphi_2(t)$ для заданого конкретного перерізу, тобто $S=S_l$. Якщо вважати, що $t=t_1$, можна отримати миттєвий профіль потоку $h=\psi_1(S)$ та графік розподілу витрат вздовж русла, а саме $Q=\psi_2(S)$. Основні методи розв'язання таких рівнянь є чисельні методи. Для вирішення подібних задач використовують методи характеристик, прогонки тощо. Нехтування інерційними членами при розв'язуванні подібних рівнянь може призвести до значних похибок, тому їх урахування в таких випадках є обов'язковим. Це рішення є найбільш загальним та дозволяє розглядати різноманітні завдання інженерної гідравліки [1, 2, 3, 4].

Розрахунки неусталеного руху за цією методологією проводяться окремо для лівої та правої межі ділянок русла, а також для точок середньої частини русла. Для розв'язання цих рівнянь слід зробити низку перетворень [5, 6] і задатись умовами: початковими та граничними.

За початкові граничні умови в розрахунках прийнято рівномірний рух потоку. Ліва гранична умова – приток води до початкового перерізу є залежним від часу (гідрограф).

Права гранична умова – визначається з умов роботи гідротехнічної споруди (малий міст, швидкісний струм тощо).

На даний час проєктування та будівництва технічно досконалих зрошувальних систем проводиться з використанням автоматичного регулювання водопостачання. Такий процес у гідротехнічній системі можна назвати перехідним, основою якого є неусталений рух води у зрошувальних каналах.

Протягом кількох років співробітники кафедри НТУ (КАДІ) проводили вишукувальні роботи, з подальшим проведенням камеральних робіт та розрахунку перехідних процесів на прикладі низки каналів із загальної меліоративної системи України.

Для проведення досліджень роботи зрошувальних каналів (меліоративних) та для прийняття оптимальних проєктних рішень має бути визначено один із факторів, що характеризують меліоративну систему, в даному випадку це коефіцієнт шорсткості n .

Для визначення коефіцієнту шорсткості n було проведено спеціальні натурні спостереження на характерних ділянках каналу. Виконано заміри зміни витрат води та відповідні ним зміни рівнів у початковому та кінцевому створах ділянки, зйомку показників живих перерізів у кінцевих та проміжних створах, а також проведено заміри відстаней між ними.

Натурні дослідження було проведено на ділянці завдовжки $l = 10$ км, з граничним ухилом $i = 0,00003$, поперечний переріз каналу - трапецеїдальний з шириною понизу $b_1 = 15$ м і коефіцієнтом закладення укосів $m = 3$. Русло каналу - земляне, рівне, витрата при фіксованих горизонтах - $Q_{\phi} = 28 - 45$ м³/с, швидкість течії - $V = 0,5$ м/с.

Відомості про довжину ділянок, на яких проводились дослідження, кількість створів та натурних спостережень наведено в таблиці 1.

Таблиця 1
Table 1

№ ділянки	Довжина ділянки, м	Кількість створів	Кількість спостережень
1	2000	5	3
2	6215	14	4
3	6960	14	4
4	6245	13	4

На ділянках каналу, де проводилися гідрометричні спостереження, не було значних місцевих опорів (великих водовиділів, мостів тощо).

Поперечний переріз каналу, від створу до створу, зазнавав незначних змін. Русло каналу рівне, вкрите мулистю плівкою. На деяких ділянках дна та на схилах зустрічалися камені, розмір яких 2-10 см, ділянки берега, які поросли очеретом та чагарником. На окремих ділянках очерет зростав на відстані 7 - 10 м від урізу води, що викликало додаткові опори руху води. В зв'язку з цим коефіцієнт шорсткості на цих ділянках може бути більшим, ніж на інших. Ґрунти на всіх ділянках суглинні.

Як показали виміри, поперечні перерізи та поздовжній ухил дна змінюються на кожній ділянці вздовж каналу. Крім того, канал поза межами обстежених ділянок, перетинають мости, вплив підпору від яких поширюється на десятки кілометрів вгору за течією. Тому рух води в каналі є не рівномірним і користуватися формулами для рівномірного руху можна лише для великих значень коефіцієнта шорсткості. При рівномірному русі витрата визначається за формулою:

$$Q = \omega \cdot C \cdot \sqrt{R \cdot i} = \omega \cdot \frac{1}{n} \cdot R^{y+0,5} \sqrt{i}, \quad (2)$$

де ω - площа живого перерізу;

R - гідравлічний радіус;

$C = \frac{1}{n} R^y$ - коефіцієнт Шезі (швидкісний множник за М.М. Павловським);

n - коефіцієнт шорсткості;

y - показник ступеня;

$i = \frac{\Delta Z}{l}$ - поздовжній ухил поверхні води;

ΔZ - падіння рівня води на ділянці каналу завдовжки l .

З рівняння (2) отримуємо:

$$n = \frac{\omega R^{y+0,5}}{Q} \sqrt{\frac{\Delta Z}{l}} = \frac{R^{y+0,5}}{V} \sqrt{\frac{\Delta Z}{l}}, \quad (3)$$

де - $V = \frac{Q}{\omega}$ середня швидкість.

Якщо підставити до рівняння (3) отримані з проведеного дослідження значення R , V , ΔZ , l , можемо визначити коефіцієнт шорсткості n .

Витрата води на кожній ділянці каналу була майже незмінною тому, що фільтрація води з каналу незначна (40-70 л/с на 1 км). Реальні значення коефіцієнта шорсткості було визначено за методикою, запропонованою М.М. Дідковським та І.А. Родіоновим, в якій було використано рівняння нерівномірного руху, що застосовується для розрахунку кривих вільної поверхні в природних водотоках

$$\Delta Z = \left(\frac{\alpha V_2^2}{2g} - \frac{\alpha V_1^2}{2g} \right) + h_f + h_i, \quad (4)$$

де - V_2 і V_1 середні швидкості у суміжних створах;

$h_f = \left(\frac{Q}{K_{cp}} \right)^2 l = \left(\frac{V_{cp}}{C \sqrt{R}} \right) \cdot l$ - втрати енергії на тертя;

$h_i = \zeta \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g}$ - втрати енергії у місцевих опорах;

K_{cp} - середня витратна характеристика ділянки;

V_{cp} - середня швидкість;

l - відстань між створами;

ζ - коефіцієнт місцевого опору.

Співвідношення (4) приведемо до вигляду:

$$\Delta Z = \left(\frac{V_{cp}}{C_{cp} \sqrt{R_{cp}}} \right)^2 \cdot l + \frac{\zeta + \alpha}{2g} (V_2^2 - V_1^2). \quad (5)$$

Вихідними даними для визначення коефіцієнта шорсткості були втрати Q , позначки рівня води в початковому та кінцевому створах, площі живих перерізів у цих і проміжних створах, а також відстань між ними. Для певного значення коефіцієнта шорсткості було проведено розрахунок кривої вільної поверхні за рівнянням (5), в якому C_{cp} швидкісний множник, що визначається за формулою М.М. Павловського (коефіцієнт Шезі). За вихідну позначку приймалася позначка в кінцевому створі Z_2 , а позначка в початковому створі й в усіх проміжних створах розраховувалася. У першому наближенні коефіцієнт шорсткості n приймався таким, що дорівнював значенню, яке було отримано з рівняння (3).

Обчислена відмітка в початковому створі Z_1^1 порівнювалася із виміряною в натурі n_1 . Якщо виявлялося, що $|Z_1 - Z_1^1| < 0,002$ м, то коефіцієнт шорсткості був заданий успішно.

Визначення коефіцієнта шорсткості проведемо за формулами М.М. Павловського та І.І. Агроскіна, а також визначено абсолютний коефіцієнт шорсткості. Для цього знаходимо швидкісний множник за формулою:

$$C_{cp} = \sqrt{\frac{V_{cp}^2 \cdot l}{R_{cp} (\Delta Z - \frac{\alpha + \zeta}{2g} (V_2^2 + V_1^2))}}. \quad (6)$$

Було проаналізовано дані натурних спостережень і паралельно було обчислено значення абсолютної шорсткості Δ за формулою:

$$C = -4\sqrt{2g} \lg\left(\frac{\Delta}{A \cdot R} + \frac{C}{B \cdot \text{Re}}\right) \quad (7)$$

Постійні A та B було отримано за результатами чисельних дослідів, які проводились рядом авторів, та прийнято такими, що дорівнюють 12,6 і 11,5.

Аналіз проведених вимірювань показав, що значення другого складника в формулі (6) значно менше порівняно зі значенням першого. Справді, за $\Delta \cong 0,005-0,015$ м, $R \approx 3,5$ м, $C \approx 65$ м^{0,5}/с; $V \approx$

$$0,45\text{м/с и } \text{Re} \approx \frac{V \cdot R}{\nu} = 1600000;$$

$$\frac{\Delta}{A \cdot R} = \frac{0,010}{12,6 \cdot 3,5} = 2,27 \cdot 10^{-4}; \quad \frac{C}{B \cdot \text{Re}} = \frac{65}{11,5 \cdot 10^6} = 3,54 \cdot 10^{-6}.$$

Швидкісний множник практично не залежить від числа Re , тобто всі досліди відносяться до квадратичної сфери опору.

Результати оброблення даних натурних спостережень зведено до таблиці 2.

Таблиця 2
Table 2

$R_{\text{ср.}}$, м	$C_{\text{ср.}}$, м ^{0,5} /сек	Коефіцієнт шорсткості		Абсолютний коефіцієнт шорсткості, Δ , мм
		За формулою М.М.Павловського $C = \frac{1}{n} R^y$	За формулою І.І.Агроскіна $C = \frac{1}{n} + 17,72 \lg R$	
3,59	65,00	0,0197	0,0181	9,7
3,56	68,13	0,0184	0,0171	6,3
3,46	70,13	0,0177	0,0265	4,8
3,40	64,22	0,0194	0,0182	10
3,42	70,34	0,0176	0,0164	7,8
3,43	71,33	0,0173	0,0162	4,0
3,38	67,22	0,0184	0,0173	6,8
3,66	64,33	0,0197	0,0184	10,8
3,67	57,77	0,0222	0,0209	25,4
3,65	62,46	0,0204	0,0190	13,6
3,66	57,87	0,0222	0,0209	24,8
3,06	62,84	0,0195	0,0184	10,9
3,05	60,22	0,0204	0,0194	15,3
3,04	60,53	0,0203	0,0192	14,6
3,06	65,54	0,0186	0,0176	8,7

За даними таблиці 2 побудовано графіки залежностей коефіцієнтів шорсткості n , визначених за формулами М.М. Павловського та І.І. Агроскіна, а також абсолютний коефіцієнт шорсткості в залежності від швидкісного множника C (коефіцієнт Шезі).

Точність проведених досліджень визначається точністю вимірювання глибин потоку, позначок поверхні води, швидкості течії та відстаней між гідрометричними створами. Було проаналізовано значення проведених вимірювань. При виконанні нівелювання похибка у визначенні одного перевищення, яке визначалось як різниця двох відліків, які отримані з точністю ± 2 мм, складала $\pm 2 \pm 2\sqrt{2} \approx 2,8$ мм, а похибка суми трьох перевищень $\pm 2,8\sqrt{3} \approx 4,8$ мм. Таким чином неминуха помилка знаходження відмітки в початкових та кінцевих створах $z_{\text{поч}}$ та $z_{\text{кін}}$ становила 4,8 мм.

Абсолютна помилка знаходження падіння рівня води на ділянці каналу визначається як $\Delta z = z_{\text{поч}} - z_{\text{кін}}$, а середньоквадратична помилка буде:

$$\sigma_{\Delta z} = 4,8\sqrt{2} \approx 6,7 \text{ мм},$$

відносна середньоквадратична помилка при $\Delta z = 90$ мм визначається:

$$\sigma_{\Delta z} = \frac{\sigma_{\Delta z}}{\Delta z} \cdot 100 = \frac{6,7}{90} \cdot 100 = 7,4\%.$$

Помилка визначення довжини ділянки каналу l , на якому проводились спостереження, не перевищує $\sigma_{0L} = 0,1\%$. Похибка визначення ухилу вільної поверхні потоку ($i = \frac{\Delta z}{l}$) становить:

$$\sigma_{0i} = \sqrt{\sigma_{0\Delta z}^2 + \sigma_{0l}^2} = \sqrt{7,4^2 + 0,1^2} = 7,4\% .$$

Аналіз похибок натурних вимірювань показав, що при проведенні вишукувальних робіт було дотримано всіх необхідних заходів для досягнення максимальної точності.

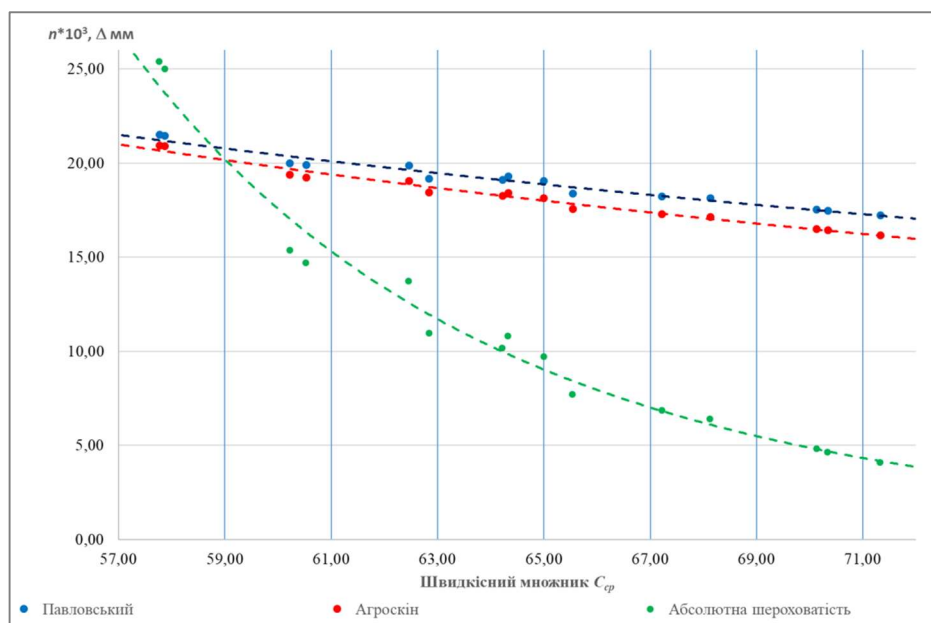


Рисунок 1 – Графіки залежностей коефіцієнтів шорсткості n від швидкісного множника C (коефіцієнт Шезі)

Figure 1 – Graphs of the dependence of the roughness coefficients n on the speed factor C (Schezy coefficient)

Висновки

Значення коефіцієнта шорсткості n суттєво впливає на показники, необхідні для розв'язання гідравлічних задач, особливо це стосується задач неусталеного руху рідини у відкритих руслах. З аналізу значень коефіцієнтів шорсткості n , отриманих за формулами М.М. Павловського та І.І. Агроскіна на основі проведених натурних вимірів, можна зробити висновки, що різниця у значеннях визначених коефіцієнтів шорсткості n коливається у межах 6%. Тому можна констатувати, що числові значення коефіцієнтів шорсткості n , отримані за формулами вищенаведених авторів, мають практично однакові значення.

Результати проведених вимірювань та аналіз графіка залежності коефіцієнту шорсткості від швидкісного множника C (коефіцієнт Шезі) має майже лінійну залежність в досліджуваному діапазоні. Коефіцієнт шорсткості набуває значень 0,0215 (за М.М. Павловським) та 0,0210 (за І.І. Агроскіним) для швидкісного множника $C_{cp} = 57,77$, а для швидкісного множника $C_{cp} = 71,33$ значення коефіцієнта шорсткості становить 0,0172 (за М.М. Павловським) та 0,0162 (за І.І. Агроскіним). Як видно з графічного представлення залежності коефіцієнта шорсткості від швидкісного множника в наведеному діапазоні коефіцієнт шорсткості за М.М. Павловським та І.І. Агроскіним, можна визначати за лінійною інтерполяцією.

На підставі проведених досліджень можна рекомендувати середні значення коефіцієнтів шорсткості для каналів (русел) з добре спланованим дном та укосами:

- для ділянок, з берегами, які не вкрито рослинністю $n=0,016-0,017$;
- для ділянок, з берегами, які вкрито рослинністю $n=0,020-0,021$.

Було проведено орієнтовне оцінювання та аналізування помилок виконаних вимірів та надано рекомендації щодо визначення середніх значень коефіцієнтів шорсткості для зрошувальних каналів (русел) з добре профільованим дном та укосами, а також для берегів, не вкритих рослинністю.

Перелік посилань

1. Дидковский М.М., Родионов И.А. Сопротивление движению воды в больших земляных каналах. Киев, изд-во АН УССР – 1956 г.
2. ДНАОП. ДБН В.2.5-74.2013 Водопостачання зовнішньої мережі та споруди. Основні положення проектування.
3. ДНАОП. ВНД 33-5-02-98 Методика определения зон возможного затопления на реках Украины (укр.)
4. ДНАОП. ДБН В.2.4-1-99. Мелиоративных системы и сооружения (43040)
5. Ткачук С.Г. Гідравліка, гідрологія, гідрометрія. Київ, «Кафедра», 2013 р., 390 с.
6. Константинов Ю.М., Гіжа О.А. «Інженерна гідравліка», К., вид-во, дім «Слово», 2006, 432 с.

DETERMINATION COEFFICIENT OF ROUGHNESS FOR CALCULATING FLOW OF AN UNSTEADY MOTION OF LIQUID

Yevseichyk Yurii B., Candidate of Physics and Mathematics, National Transport University, Department of Bridges, tunnels and hydraulic structures, Associate Professor, e-mail: jura_ntu@ukr.net, +380442807978, <https://orcid.org/0000-0002-3507-4734>.

Medvediev Kostiantyn V., Candidate of Physics and Mathematics, National Transport University, Department of Bridges, tunnels and hydraulic structures, Professor, e-mail: kvmedvediev@gmail.com, +380442807978, <https://orcid.org/0000-0002-0704-7093>.

Parovenko Oksana M., Candidate of Engineering Sciences, National Transport University, Department of Bridges, tunnels and hydraulic structures, Associate Professor, e-mail: olenik.lia@gmail.com, +380442807978, <https://orcid.org/0000-0001-8872-8415>.

Sviatyschenko Iryna I., National Transport University, Department of Bridges, tunnels and hydraulic structures, Engineer, e-mail irina.svjatishenko@gmail.com +380442807978, <https://orcid.org/0000-0002-8905-0826>

Abstract. Introduction. The analysis literature devoted to the calculation of hydrotechnical structures showed that there are recommendations that take into account the influence roughness of the channel on the value of the transformation of the transit flow of liquid with steady movement along the length of the channel. But it is difficult to apply them for reclamation systems, which include complexes of hydrotechnical and transport structures that create additional resistance to water movement, as a result of which the movement of water in the systems becomes unstable.

Unfortunately, as of today, this issue has not received enough attention in modern scientific literature. The article considers the issue of determining the roughness coefficient based on the materials of field experiments on irrigation systems of Ukraine for its further use in the Saint-Venant equations for unsteady water movement in open prismatic channels. The authors of the article conducted an analysis of the errors of field measurements of maximum depths, calculation area of live sections, etc. The absolute error of finding the drop in water levels in individual sections of the channel was determined.

The results. Among the issues that were covered in the publication under consideration, the main attention was paid to the issue of studying the effect roughness coefficient on flow elements during unsteady movement in melioration (irrigation) systems. The results of field measurements are also given, a detailed overview of field data is provided, and the parameters measured at different sections studied channel are listed.

Conclusions. An indicative evaluation and analysis errors of the performed measurements was carried out, and recommendations were given for determining the average values of roughness coefficients for irrigation channels (channels) with a well-planned bottom and slopes, as well as for banks not covered with vegetation. The results processing of field observation data are summarized in a table, which presents a comparison calculated values of the roughness coefficients and a graph dependence of the roughness coefficients on the speed factor (Schezi coefficient).

References

1. Didkovsky M.M., Rodionov I.A. Resistance to the movement of water in large earthen channels. Kyiv, publishing house of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR – 1956 [in Russian].
2. DNAOP. DBN V.2.5-74.2013 Water supply of external networks and structures. Basic provisions of design. [in Ukrainian]
3. DNAOP. VND 33-5-02-98 Methodology for determining zones of possible flooding on the rivers of Ukraine. [in Ukrainian]
4. DNAOP. DBN B.2.4-1-99. Reclamation systems and structures (43040) [in Ukrainian]
5. Tkachuk S.G. Hydraulics, hydrology, hydrometry. Kyiv, "Department", 2013, 390 p. [in Ukrainian]
6. Konstantinov Yu.M., Gizha O.A. "Engineering hydraulics", K., ed., house "Slovo", 2006, 432 p. [in Ukrainian]