

DOI: 10.32347/2076-815x.2020.74.37-48

УДК 627.8

к.т.н., доцент **Величко С.В.**,  
velychko.sv@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0001-8848-289X,  
к.т.н., доцент **Дупляк О.В.**,  
dupliak.ov@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-3500-5106,  
Київський національний університет будівництва і архітектури

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НА НИЖНІЙ Б'ЄФ ПРИЄДНАННЯ ВЕРТИКАЛЬНОЇ ВИТРАТИ У ВОДОПРОПУСКНИХ СПОРУДАХ

*Наведено результати експериментального дослідження факторів, що впливають на розподіл швидкостей в трапецеїдальному відвідному каналі за вертикальною шахтою суміщеною з горизонтальною трубою. Окремо розглядалися дві схеми споруди: схема 1 з розташуванням вертикальної шахти на відстані менше 2/3 довжини труби; схема 2 з розташуванням шахти в кінці основної труби. На моделі вивчався розподіл осереднених, поверхневих та придонних швидкостей у відвідному каналі. Дослідження підтвердило теоретичні висновки і виявило, що характер розподілу швидкостей як по вертикалі, так і в плані є функцією глибини води у каналі та швидкості у вихідному перерізі труби і не залежить від співвідношення витрат в горизонтальній трубі і вертикальній шахті, крім випадку розміщення вертикальної труби в кінцевому створі горизонтальної. В результаті математичної обробки експериментальних даних були отримані емпіричні залежності довжини ділянок переформування придонних та поверхневих осереднених швидкостей потоку для різних значень безрозмірного параметра витрати в залежності від наповнення відвідного каналу.*

*Ключові слова: швидкість потоку; витрата; водопропускна труба; вертикальна шахта; приєднання потоку; трапецеїдальний канал.*

### Постановка проблеми

На сьогоднішній день найбільш поширеними гідротехнічними спорудами, що використовуються для перекидання або відведення певних об'ємів води є відкриті канали. Вони часто перетинають природну та штучно створену гідрографічну мережу. Для цього використовуються труби, дюкери, акведуки і тому подібні споруди. З економічної та технічної точки зору такий перетин є найбільш зручним місцем для скидання аварійних або технологічних витрат. Суміщення водоскидних та водопропускних споруд в одну дозволяє одночасно виконувати дві функції: пропускати певну витрату під каналом та скидати

надлишкову витрату з каналу, що перетинається. Конструктивно такі споруди складаються з прямокутної або круглої труби, що проходить по природному водотоку та вертикальної шахти, по якій скидна витрата надходить всередину основної горизонтальної труби. Такі споруди можуть використовуватись для пропуску періодичних зливових витрат під каналами, корисних попусків води з водосховища та аварійних скидів надлишкових витрат.

### **Аналіз публікацій**

Аналіз літературних джерел показує, що подібні споруди вивчені недостатньо. Розрахунки кріплення вихідної частини та відвідного каналу виконуються, як правило, за залежностями для розрахунків нижніх б'єфів трубчастих споруд в умовах рівномірного руху [1, 2, 5, 8]. Вплив додаткової витрати, що приєднується в середині горизонтальної труби не враховується. Деякі автори [4, 6] досліджували вплив на гідравлічні характеристики потоку в трапецеїдальних руслах каскадного регулювання, циркуляційних течій, вертикальної витрати при двоповерховому відведенні води [7]. Були проведені дослідження впливу на пропускну здатність горизонтальної водовідвідної труби вертикальної додаткової витрати [9,10]. Сучасний розвиток чисельних методів та комп'ютерного моделювання дозволив запропонувати імітаційні моделі для дослідження потоків і вивчення впливу ентропії [11].

### **Мета досліджень**

Вивчення кінематичної структури потоку в трапецеїдальному руслі за суміщеною спорудою та чинників, що на неї впливають.

Для досягнення означеної цілі експериментальним шляхом вирішувались наступні задачі:

- вивчався вплив на розподіл швидкостей в нижньому б'єфі місця приєднання додаткової витрати;

- досліджувалося значення для кінематичної структури потоку співвідношення основної та додаткової витрати при різних глибинах води у відвідному каналі.

### **Об'єкт досліджень**

Для дослідження швидкісної структури потоку за суміщеним аварійним водоскидом зі зливопропускною трубою в лабораторії гідравліки була побудована фізична модель у масштабі 1:20. Вона складалася з прямокутної горизонтальної труби перерізом  $0,1 \times 0,1$  м, довжиною 2 м та вертикальної труби висотою 1 м такого ж перерізу, що послідовно підключалася в чотирьох точках по довжині горизонтальної труби: на початку  $l_1 = 0$ , на відстані  $l_1 = 1/3 l$ ,  $l_1 = 2/3 l$  та в кінці  $l_1 = l$ , де  $l_1$  – відстань від входу до місця приєднання вертикальної витрати;  $l$  – довжина труби;  $l_2$  – довжина ділянки переформування потоку (рис.1). Вхідний і вихідний оголовки були виконані порталного типу,

підвідний і відвідний канал мали трапецеїдальний переріз шириною по дну 0,1 м із закладанням укосів  $m = 2$ , довжиною 7 м. У підвідний канал та прямокутний лоток вертикальної труби вода подається з напірних резервуарів крізь мірчі трикутні водозливи. Регулювання витрат здійснювалось за допомогою засувок на напірному трубопроводі. Для встановлення необхідного рівня води в нижньому б'єфі в кінці відвідного каналу був розташований затвор.

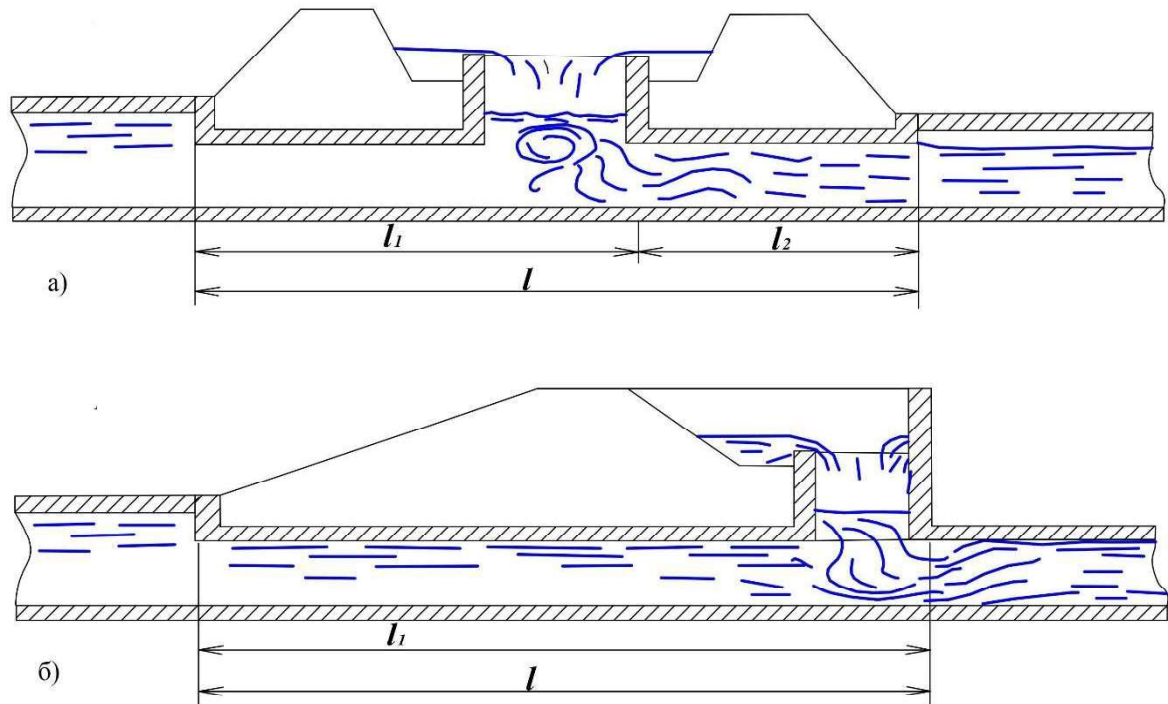


Рис. 1. Схема експериментальної моделі.

- а) при розміщенні вертикальної шахти на відстані  $l_1 \leq \frac{2}{3}l$  (схема 1);  
 б) при розміщенні вертикальної шахти в кінці основної труби  $l_1 = l$  (схема 2).

Перерахунки моделі в натуру виконувались за критерієм подібності Фруда. Вимірювання швидкостей течії у відвідному каналі проводилось за допомогою стандартних методик [3] мікро вертушками, з'єднаними з комп'ютером, що дозволило визначати швидкості в автоматичному режимі.

### Виклад основного матеріалу

Розглянемо ділянку нижнього б'єфа суміщеної споруди (рис.2), обмежену перерізами II – II біля вихідного оголовка та III – III у відвідному каналі, де рух плавно змінюваний.

Виходячи з того, що на цій ділянці відбувається перетворення кінетичної енергії бурхливого потоку, що виходить з труби, у потенційну енергію потоку відвідного каналу, тертя на ділянці між перерізами II – II та III – III не береться до уваги.

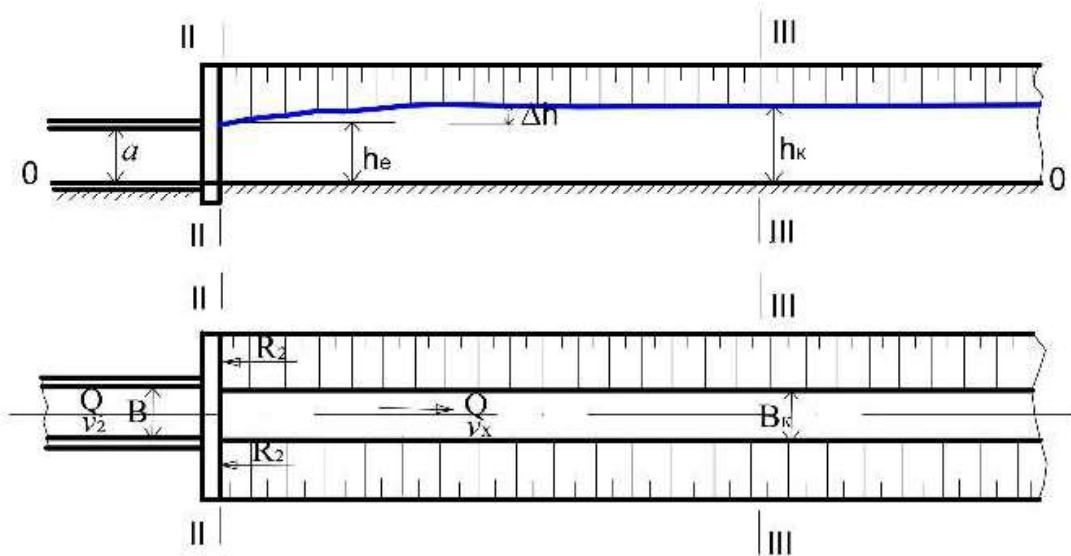


Рис. 2. Схема нижнього б'єфу споруди.

Рівняння кількості руху для контрольної поверхні 0 – 0 за напрямком осі відповідного каналу:

$$P_2 + KP_2 - R_2 = P_3 + KP_3, \quad (1)$$

де  $P_2 = rgy_2\omega_2$  та  $P_3 = rgy_3\omega_3$  – зовнішні сили гідростатичного тиску в перерізах II– II і III – III;  $KP_2 = \frac{\alpha\rho g Q^2}{g\omega_2}$  та  $KP_3 = \frac{\alpha\rho g Q^2}{g\omega_3}$  – секундні кількості руху в перерізах II– II і III – III;  $R_2 = rgy_R\omega_R$  – горизонтальна складова реакції стінки вихідного порталного оголовку;  $y_2, y_3, y_R$  – відстані від вільної поверхні до центру тяжіння перерізу;  $\omega_2, \omega_3, \omega_R$  – площі потоку в розрахункових перерізах;  $\rho$  – щільність води;  $g$  – прискорення вільного падіння;  $\alpha$  – коефіцієнт кількості руху;  $Q$  – витрата води в каналі.

У випадку затоплення вихідного отвору перевищення глибини потоку над шелигою труби в перерізі II – II можна не враховувати. Тоді  $\omega_2 = bh_b$ , де  $h_b$  – глибина на виході з труби в умовах непідтопленого витoku або  $h_b = a$ , де  $a$  – висота труби, м за умови підтопленого витoku. Звідси  $y_2 = \frac{h_b}{2}$ .

Для трапецеїдального русла

$$\omega_3 = b_k h_k \left( 1 + m \frac{h_k}{b_k} \right); \quad (2)$$

$$y_3 = \frac{h_k}{6} \frac{3 + 2 \frac{mh_k}{b_k}}{1 + \frac{mh_k}{b_k}}. \quad (3)$$

Для споруд з порталним оголовком  $b_k = b$ , площа потоку

$$\omega_R = \omega_2 - ah_b = b_k h_k \left( 1 + m \frac{h_b}{b} \right) - bh_b = bh_b \left( 1 + \frac{mh_b}{b} - 1 \right) = mh_b^2; \quad (4)$$

$$y_R = \frac{h_b}{3} \quad (5)$$

Приймаємо  $\alpha = 1,0$ . Підставимо вирази (2) – (4) в рівняння кількості руху (1) і після перетворення отримаємо:

$$\frac{h_b^2}{2} + \frac{h_b Q^2}{g h_b^2 b^2} - \frac{m h_b^3}{3 b^2} = \frac{h_k^2}{6} \left( 3 + 2 \frac{m h_k}{b} \right) + \frac{Q^2 h_b^2}{g b^2 h_b^2 h_k \left( 1 + \frac{m h_k}{b} \right)}. \quad (6)$$

Якщо врахувати, що  $\frac{Q}{b h_b} = v_2$  та  $\sigma = \frac{m h}{b}$ , де  $v_2$  – швидкість потоку на виході з труби, а  $\sigma$  – геометрична характеристика трапецієдального русла, рівняння (6) отримає вигляд:

$$\frac{1}{2} - \frac{\sigma_b}{2 m b} - \frac{h_k^2}{6 h_b^2} (3 + 2 \sigma_k) = v_2^2 \frac{1}{g h_k (1 + \sigma_k)} - \frac{1}{g h_b}. \quad (7)$$

Аналіз рівняння (7) показує, що характеристики потоку в нижньому б'єфі суміщеної споруди залежать від:

- швидкості потоку, який виходить з основної труби  $v_2$ , що є функцією сумарної витрати  $Q$  та глибини потоку  $h_k$
- глибини води у відвідному каналі  $h_k$ , яка залежить від геометричної характеристики каналу та похилу русла.

Тобто розподіл швидкостей у нижньому б'єфі споруди не залежить від співвідношення витрат у трубі, за винятком випадку, коли додаткова витрата надходить у кінцевому отворі горизонтальної труби і відповідно ділянка перетворення швидкостей відсутня.

Розглянемо окремо дві схеми споруди (рис. 1):

а) з розташуванням вертикальної шахти на відстані менше  $2/3$  довжини труби (схема 1);

б) з розташуванням шахти в кінці основної труби (схема 2).

Вивчення на моделі осереднених швидкостей у відвідному каналі підтвердило теоретичні висновки і виявило, що характер розподілу швидкостей як по вертикалі, так і в плані є функцією глибини води у каналі та швидкості у вихідному перерізі труби і не залежить від співвідношення витрат в горизонтальній трубі і вертикальній шахті, крім випадку розміщення вертикальної труби в кінцевому створі горизонтальної. Треба також враховувати, що зберігається закономірність, характерна для витоків з прямокутних труб у трапецієдальний канал: у разі збільшення глибини води у відвідному каналі незалежно від режиму роботи труби довжина ділянки перетворення осереднених швидкостей зменшується.

В межах вихідної ділянки при малій глибині води в нижньому б'єфі ( $h_k < 0.75a$ ) спостерігається просторове розтікання, яке у разі збільшення глибини переходить у типову збійну течію. Для неї характерна періодична зміна у часі напрямку динамічної осі потоку та відхилення транзитного

струменя в горизонтальній площині.

У межах вихідної ділянки споруди формуються дві несиметричні коловоротні зони, розміри яких нестабільні. Відтиснення струменю до того чи іншого берега є рівно ймовірним і має випадковий характер.

При  $h_k > 1,5a$  спостерігається спокійна збійна течія, за якої струмина відривається від дна перед виходом з труби, утворюючи один поверхневий коловорот.

В умовах розміщення вертикальної труби в кінці горизонтальної і відсутності ділянки переформування потоку спостерігається бурхлива збійна течія. Для неї характерно те, що глибина транзитного струменю менша, а середні швидкості її більші за критичні на значній відстані від виходу з труби. Крім того, на шляху струмини виникає горбоподібне підняття рідини, так званий стрибок ущільнення [1] та нестійкий тривимірний відрив. Така збійна течія може бути порівняна з відігнаним стрибком в пласких умовах.

Коловоротні зони мають незначні розміри і відганяються вертикальним потоком від виходу з труби на значну відстань (на моделі на 3-4 м).

Придонні осереднені швидкості в умовах розташування вертикальної шахти за схемою 1 гасяться достатньо інтенсивно при глибині потоку  $h_k = 1,5a$  (стабілізація епюри придонних швидкостей спостерігається на відстані 2,3 – 2,4 м від вихідного перерізу труби (Рис.3). При менших значеннях глибини води в каналі  $h_k$  довжина ділянки гасіння придонних швидкостей зростає і при  $h_k = 0,75a$  досягає  $l_B^A = 3,2 – 4,7$  м.

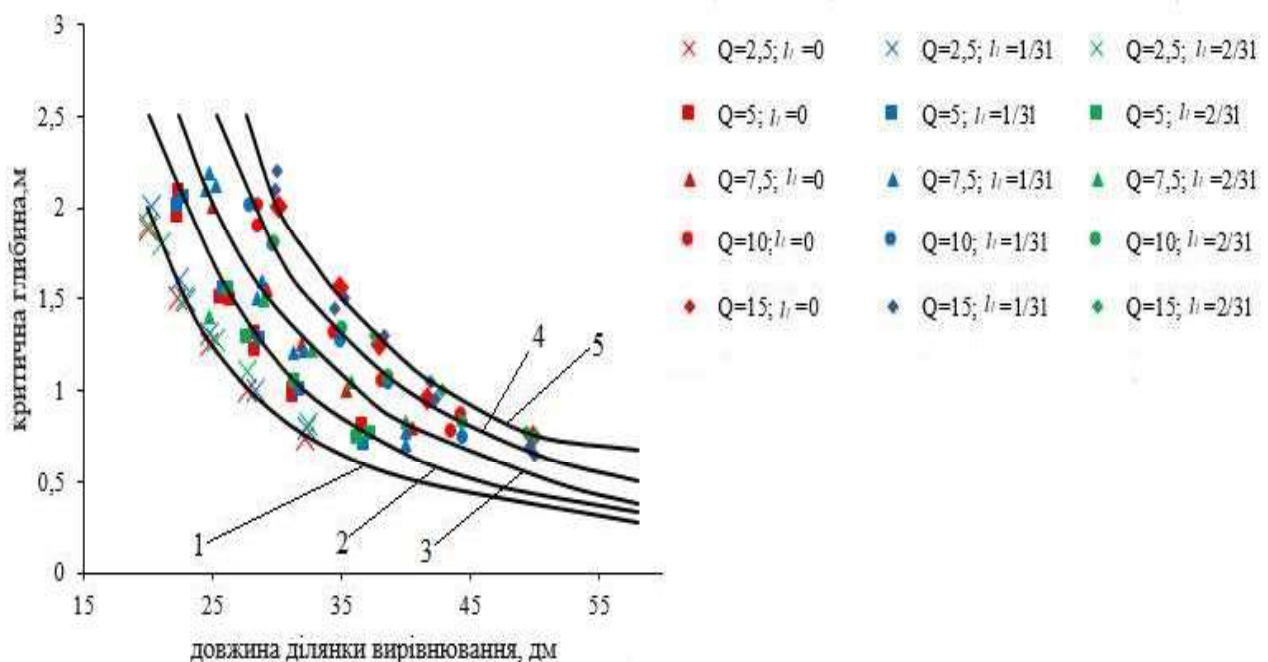


Рис.3. Довжина ділянки вирівнювання осереднених придонних швидкостей: схеми 1; Умовні позначки: 1 -  $l_Q=0,25$ ; 2 -  $l_Q=0,5$ ; 3 -  $l_Q=0,75$ ; 4 -  $l_Q=1,0$ ; 5 -  $l_Q=1,5$ .

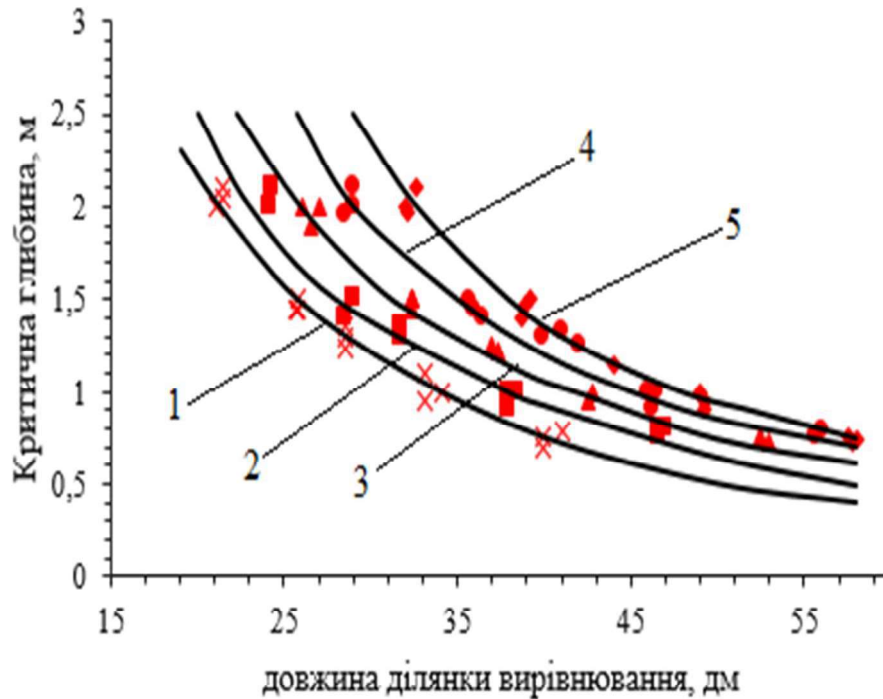


Рис.4. Довжина ділянки вирівнювання осереднених придонних швидкостей: Схема 2, умовні позначення аналогічно рис.3.

Аналогічно поверхневі осереднені швидкості мають довжину вирівнювання епюри  $I_B^H = 3,5 - 5,0$  м (Рис.5). Тут також спостерігається залежність довжини ділянки гасіння поверхневих швидкостей від розташування вертикальної труби (схема 1 або схема 2), величини безрозмірного параметра витрати  $Π_Q = Q/\sqrt{ga^5}$  та наповнення каналу ( $h_k$ ) і відсутній вплив на неї співвідношень витрат ( $\epsilon$ ).

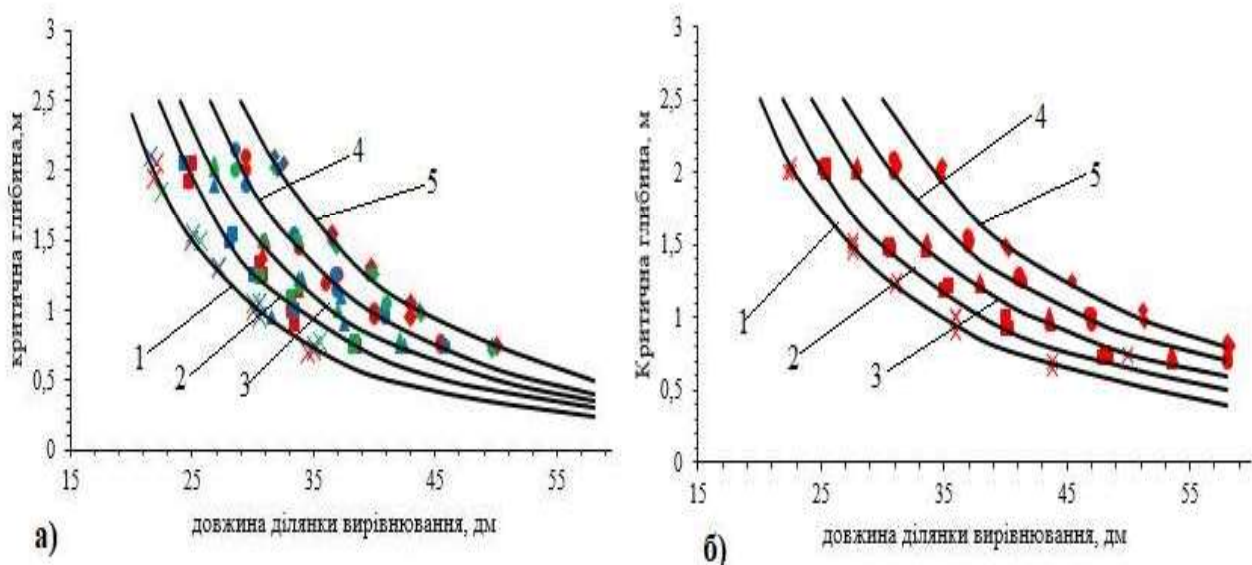


Рис.5. Довжина ділянки вирівнювання осереднених поверхневих швидкостей: а) для схеми 1; б) для схеми 2. Умовні позначки такі, як на рис.3.

Довжини ділянок переформування придонних  $l_B^D$  та поверхневих  $l_B^P$  осереднених швидкостей визначаються за емпіричними залежностями, представленими в таблиці 1.

На початковій ділянці каналу в межах коловоротних зони та в безпосередній близькості за нею спостерігається велика нерівномірність розподілу осереднених швидкостей по перерізу каналу. При цьому значно зростають швидкості на укосах. Разом з тим, як свідчать дослідні дані, інтенсивність нерівномірності розподілу швидкостей по перерізу каналу залежить тільки від  $l_0$  та  $h_k$ , незначний вплив на неї має розташування вертикальної труби, і зовсім ніякого впливу — співвідношення витрат у трубі  $\varepsilon$ .

Таблиця 1.

Емпіричні залежності для визначення довжин ділянок вирівнювання осереднених в точці швидкостей

Безрозмірний параметр витрати, $l_0$	Для придонних швидкостей	Коефіцієнт кореляції	Для поверхневих швидкостей	Коефіцієнт кореляції
Схема 1 $l_1 \leq \frac{2}{3} l$				
0,25	$l_B^D = 27,6 h_k^{-0.51}$	-0,992	$l_B^P = 30,3 h_k^{-0.5}$	-0,991
0,5	$l_B^D = 31 h_k^{-0.47}$	-0,995	$l_B^P = 33,3 h_k^{-0.45}$	-0,992
0,75	$l_B^D = 34,8 h_k^{-0.5}$	-0,99	$l_B^P = 37,1 h_k^{-0.48}$	-0,988
1,0	$l_B^D = 38,4 h_k^{-0.49}$	-0,997	$l_B^P = 40,2 h_k^{-0.46}$	-0,99
1,5	$l_B^D = 41,5 h_k^{-0.48}$	-0,996	$l_B^P = 43,6 h_k^{-0.45}$	-0,996
Схема 2 $l_1 = l$				
0,25	$l_B^D = 33,4 h_k^{-0.64}$	-0,998	$l_B^P = 35,8 h_k^{-0.63}$	-0,995
0,5	$l_B^D = 38,1 h_k^{-0.69}$	-0,995	$l_B^P = 40,0 h_k^{-0.66}$	-0,995
0,75	$l_B^D = 42,2 h_k^{-0.69}$	-0,988	$l_B^P = 43,7 h_k^{-0.64}$	-0,99
1,0	$l_B^D = 45,2 h_k^{-0.63}$	-0,986	$l_B^P = 47,2 h_k^{-0.61}$	-0,984
1,5	$l_B^D = 48,6 h_k^{-0.58}$	-0,993	$l_B^P = 51,1 h_k^{-0.55}$	-0,987

### Висновки.

1. Характер розподілу швидкостей у відвідному каналі як по вертикалі, так і в плані є функцією глибини води у каналі та швидкості у вихідному перерізі труби і не залежить від співвідношення витрат у створі приєднання додаткової витрати, крім випадку розміщення вертикальної труби в кінцевому створі горизонтальної.

2. У межах вихідної ділянки з малою глибиною води у нижньому б'єфі ( $h_k < 0,75 a$ ) спостерігається просторове розтікання, яке в разі збільшення глибини переходить у типову збійну течію.

3. Якщо вертикальна труба розміщена в кінці горизонтальної — спостерігається бурхлива збійна течія.



4. Довжина ділянки вирівнювання епюри осереднених швидкостей змінюється в досить широких межах залежно від параметрів витрати  $P_Q$  і наповнення відвідного каналу  $h_k$  і не залежить від співвідношення витрат  $\varepsilon$  в середині труби.

**Особистий внесок авторів** полягає в аналізі основних літературних джерел з проблематики дослідження, теоретичному аналізі, проведенні експериментальних досліджень та співставленні їх результатів, що дозволило запропонувати ряд емпіричних рівнянь для практичного використання.

### Список літератури

1. Кузнецов С.К. Теория и гидравлические расчеты нижнего бьефа. - Львов: Вища школа, 1983.
2. Ткачук С.Г. Гідравліка, гідрологія, гідрометрія. Підручник/ Ткачук С.Г. – Київ: вид. «Кафедра»: 2013 р. – 392 с.
3. Цивин М.Н., Абраменко П.И. Гидрометрия: теория и практика измерения скорости течения воды в открытых каналах. – К.: ИГиМ, 2003.–109с.
4. Исабеков Т.А., Атаманова О.В. Гидравлические процессы в каналах систем каскадного регулирования межгосударственного значения /Известия вузов (Кыргызстан) №3 год 2013, стр. 39-44 url:<http://www.science-journal.kg/media/Papers/ivk/2013/3/ivk-2013-N3-39-44.pdf.pdf>. (дата звертання 14.04.2020). – Текст: електронний
5. Михневич Э.И. Методика проектирования крепления каналов на основе эпюр распределения скоростей по ширине русла. *НАУКА и ТЕХНИКА*. 2009;(5):5-8. ISSN: 2227-1031 (Print). Изд-во Белорусский национальный технический университет. URL: <https://sat.bntu.by/jour/article/view/668> (дата звертання 14.04.2020). – Текст: електронний
6. Slavinska, O. and Kozarchuk, I. (2014) Research of internal currents in the node of branching river flows. *The Advanced Science Journal*. (10). pp. 56-63. DOI: 10.15550/ASJ.2014.10.056. CIVIL ENGINEERING RECEIVED 28.07.2014 ACCEPTED 30.08.2014 PUBLISHED 15.09.2014 DOI: 10.15550/ASJ.2014.10.056 ISSN 2219-746X EISSN 2219-7478/ URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/8ec4/c414b36f00262f4760531a52daf318bc6ae8.pdf> (дата звертання 14.04.2020). – Текст: електронний
7. Босак М.П., Тазалова Н.М. Баштовий водоскид з двоповерховими відвідними водоводами – 2009 – ena.lp.edu.ua
8. Хлапук М.М., Шинкарук Л.А., Дем'янюк А.В., Дмитрієва О.А. Г46 Гідротехнічні споруди: Навчальний посібник. – Рівне: НУВГП, 2013. – 241 с. ISBN 978-966-327-263-4

9. Velychko S.V., Dupliak O.V. Simulation of the channel capacity for Tisza River considering curve during flood /Velychko S.V., Dupliak O.V./ USEFUL, #1, 2018. – 6 p. – URL: <https://useful.academy/2-1-2018-0005-velychko/> DOI: <https://doi.org/10.32557/useful-2-1-2018-0005> – ISSN 2574-4461 (online) ISSN 2639-8044

10. Величко С. В., Дупляк О. В. Дослідження впливу трансформації 1% паводкової витрати сухими гірськими ємностями на рівні паводкової витрати річок басейну Тиси. / Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки. – 2014. – Вип. 23. – С. 45-52.

11. Maryam Teymouri Yeganeh, Mohammad Mehdi Estimation of one-dimensional velocity distribution by measuring velocity at two points /Flow Measurement and Instrumentation. – 2020. 73, art. no. 101737. URL: <https://www.sciencedirect.com/journal/flow-measurement-and-instrumentation/vol/73/suppl/C> (дата звертання 26.05.2020). – Текст: електронний

к.т.н., доцент Величко С.В.,

к.т.н., доцент Дупляк О.В.,

Київський національний університет будівництва та архітектури

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НА НИЖНИЙ БЬЕФ ПРИСОЕДИНЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО РАСХОДА В ВОДОПРОПУСКНЫХ СООРУЖЕНИЯХ**

Приведены результаты экспериментального исследования факторов, влияющих на распределение скоростей в трапецеидальном отводящем канале с вертикальной шахтой, совмещенной с горизонтальной трубой. Отдельно рассматривались две схемы сооружения: схема 1 с расположением вертикальной шахты на расстоянии менее  $2/3$  длины трубы; схема 2 с расположением шахты в конце основной трубы. На модели изучалось распределение усредненных поверхностных и придонных скоростей в отводящем канале. Исследование подтвердило теоретические выводы и выявило, что характер распределения скоростей, как по вертикали, так и в плане, является функцией глубины воды в канале и скорости в выходном сечении трубы. Он не зависит от соотношения расходов в горизонтальной трубе и вертикальной шахте, кроме случая размещения вертикальной трубы в конечном створе горизонтальной. В результате математической обработки экспериментальных данных были получены эмпирические зависимости длины участков переформирования придонных и поверхностных усредненных

скоростей потока для различных значений безразмерного параметра расхода в зависимости от наполнения отводящего канала.

Ключевые слова: скорость потока; расход; водопропускных труб; вертикальная шахта; присоединение потока; трапецеидальный канал.

Phd, associate professor Velychko Svitlana

Phd, associate professor Dupliak Olena

Kyiv National University of Construction and Architecture

## **RESEARCH OF IMPACT OF THE VERTICAL FLOW ON THE DOWNSTREAM OF THE PIPE**

The results of an experimental study of the factors influencing the velocity distribution in the trapezoidal outlet channel along a vertical shaft combined with a horizontal pipe are presented. Two schemes of construction were considered separately: scheme 1 with the location of the vertical shaft at a distance of less than  $2/3$  of the pipe length; schema 2 with the location of the shaft at the end of the main pipe. The model was studied the distribution of averaged, surface and bottom velocities in the outlet channel. The study confirmed the theoretical conclusion and found that the nature of the velocity distribution, both vertically and plan are functions of water depth in the channel and velocity in the outlet section of the pipe and are independent from the flow ratio in the horizontal pipe and the vertical shaft, except of the case placing the vertical tube on the end of the horizontal pipe.

As a result of the mathematical processing of the experimental data, empirical equations of the lengths of the transformed sections of the bottom and surface averaged flow velocities were developed for different values of the dimensionless flow parameter depending on the water level of the outlet channel.

Keywords: flow velocity; flow rate; culvert; vertical shaft; joining of flow; trapezoidal channel.

### **REFERENCES**

1. Kuznetsov S.K. Teoryia y hydravlycheskye raschety nyzhneho befa. - Lvov: Vyshcha shkola, 1983 {in Russian}
2. Tkachuk S.H. Hidravlika, hidrolohiia, hidrometriia. Pidruchnyk/ Tkachuk S.H. – Kyiv: vyd. «Kafedra»:2013 p. – 392 c. {in Ukrainian}

3. Tsyvyn M.N., Abramenko P.Y. Hydrometryia: teoriya y praktyka yzmerenyia skorosty techenyia vody v otkrytykh kanalakh. – K.: YHyM, 2003. – 109 {in Russian}.

4. Ysabekov T.A., Atamanova O.V. Hydravlycheskye protsessy v kanalakh system kaskadnoho rehulyrovaniya mezhhosudarstvennoho znacheniya /Yzvestyia vuzov (Kyrhystan) № 3, 2013, p.39-44. - URL: <http://www.science-journal.kg/media/Papers/ivk/2013/3/ivk-2013-N3-39-44.pdf.pdf>. [Accessed 14 April 2020] {in Russian}.

5. Mykhnevych E.Y. Metodyka proektyrovaniya krepleniya kanalov na osnove epiur raspredeleniya skorostei po shyryne rusla. NAUKA y TEKHNYKA. 2009;(5):5-8. ISSN: 2227-1031 (Print). Yzd-vo Belorusskyi natsyonalni tekhnicheskyyi unyversytet. URL: <https://sat.bntu.by/jour/article/view/668> [Accessed 14 April 2020] {in Russian}

6. Slavinska, O. and Kozarchuk, I. (2014) Research of internal currents in the node of branching river flows. The Advanced Science Journal. (10). pp. 56-63. doi: 10.15550/asj.2014.10.056. civil engineering received 28.07.2014 accepted 30.08.2014, published 15.09.2014. DOI: 10.15550/ASJ.2014.10.056 ISSN 2219-746X EISSN 2219-7478/ URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/8ec4/c414b36f00262f4760531a52daf318bc6ae8.pdf> [Accessed 14 April 2020]. {in English}

7. Bosak M.P., Tazalova N.M. Bashtovyi vodoskyd z dvopoverkhovymy vidvidnymy vodovodamy – 2009 – ena.lp.edu.ua {in Ukrainian}

8. Khlapak M.M., Shynkaruk L.A., Demianiuk A.V., Dmytriieva O.A. H46 Hidrotekhnichni sporudy: Navchalnyi posibnyk. – Rivne: NUVHP, 2013. – 241 c. ISBN 978-966-327-263-4. {in Ukrainian}

9. Velychko S.V., Dupliak O.V. Simulation of the channel capacity for Tisza River considering curve during flood /Velychko S.V., Dupliak O.V./ USEFUL, #1, 2018. – 6 p. – URL: <https://useful.academy/2-1-2018-0005-velychko/> DOI: <https://doi.org/10.32557/useful-2-1-2018-0005> – ISSN 2574-4461 (online) ISSN 2639-8044 {in English}

10. Velychko S. V., Dupliak O. V. Doslidzhennia vplyvu transformatsii 1% pavodkovoї vytraty sukhymy hirs-kymy yemnostiamy na rivni pavodkovoї vytraty richok baseinu Tysy. / Problemy vodopostachannia, vodovidvedennia ta hidravliky. – 2014, 23, 45-52. {in Ukrainian}

11. Maryam Teymouri Yeganeh, Mohammad Mehdi Estimation of one-dimensional velocity distribution by measuring velocity at two points /Flow Measurement and Instrumentation. – 2020. 73, art. no. 101737. URL: <https://www.sciencedirect.com/journal/flow-measurement-and-instrumentation/vol/73/suppl/C> [Accessed 26 May 2020]. {in English}