УДК 532.501.32 **DOI: 10.33744/0365-8171-2022-111-140-148**
UDC 532.501.32

ВПЛИВ СТУПЕНЯ ЗАТОПЛЕННЯ ТА СТИСНЕННЯ НА ПРОТІКАННЯ ПОТОКУ В ОТВОРІ ГІДРОТЕХНІЧНОЇ СПОРУДИ ПРИ НЕУСТАЛЕНОМУ РУСІ РІДИНИ

INFLUENCE OF THE DEGREE FLOODING AND COMPRESSION CROSS-SECTION OF A HYDRAULIC STRUCTURE WITH UNSTEADY LIQUID MOVEMENT

Башкевич Ірина Василівна, *кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, кафедра «Мости, тунелі та гідротехнічні споруди», доцент,*
e-mail: iv.bashkevych@gmail.com, +380509292285,

https://orcid.org/0000-0001-7640-4317

Євсейчик Юрій Борисович, *кандидат фізико-математичних наук, , 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, 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, Національний транспортний університет, кафедра «Мости, тунелі та гідротехнічні споруди», доцент,*
e-mail:olen[k.lia@gmail.com +380442807978,

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

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

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

Анотація. Статтю присвячено актуальним питанням впливу гідротехнічних споруд на поведінку руслового потоку.

Було розглянуто питання, пов’язані з роботою гідротехнічних споруд, розташованих на зрошувальних (ірігаційних) каналах:

- вплив ступеня затоплення на елементи неусталеного руху у відкритих руслах;
- вплив стиснення потоку на елементи неусталеного руху у відкритих потоках.

Кількісне оцінювання впливу ступення затоплення та стиснення на елементи потоку при неусталеному русі було проведено з урахуванням рекомендацій проф. Большакова В.О., які базуються на використанні методики проф. Васильєва О.Ф.

Питання впливу гідротехнічних споруд на поведінку руслового потоку вирішувались із застосуванням рівнянь Сен-Венана чисельним методом, а саме методом прогонки за неявно-різницевою схемою.

Для замикання системи при використні цього метода було враховано такі умови:

а – початкові;

б - ліва та права граничні умови.

Початковим умовами вважається наявність рівномірного руху в руслі. Ліва гранична умова визначається за графіком попуску води до русла, що має вигляд трикутного гідрографа. Права гранична умова визначається за відомою формулою водозлива з широким порогом. Вихідні дані було отримано з натурних спостережень.

Було проведено кількісне оцінювання впливу затоплення та стиснення потоку на остаточні результати з визначення витрати, швидкості та глибини. Для цього було застосованно коефіцієнти трансформації відповідних параметрів.

Питання розповсюдження підпору вздовж русла каналу, який утворився внаслідок стиснення потоку, було вирішено з використаннням рекомендацій Є.В. Єрьоменка. Розглядалось рівняння нерозривності потоку – за умови зміни об’єму води на елементарній ділянці русла. Час збільшення об’єму води внаслідок стиснення визначався з формули, яку було отримано в процесі розрахунку.

Виходячи з умови, що фактор часу є відомою величиною, можна отримати математичний вираз, який визначає довжину розповсюдженя впливу стиснення.

Завдяки отриманним формулам було побудовано розрахункові графіки відносної максимальної глибини залежно від ступеня затоплення. За допомогою цих графіків є можливість вирішення задачі попуску води в зрошувальних каналах за наявності затоплення та стиснення потоку (за умови неусталеного руху).

Ключові слова: неусталений рух, гідротехнічна споруда, стиснення, затоплення, рівняння Сен-Венана, коефіцієнт трансформації

Вступ

Сучасні методи гідравлічного розрахунку гідротехнічних споруд на зрошувальних каналах, засновано на застосуванні рівнянь неусталеного руху з урахуванням максимальної витрати.

Розуміння природи неусталеного руху в іригаційних каналах, що характеризується зміною початкових максимальних значень витрати, швидкості та глибини (розшарування, трансформування) по довжині русла, дає змогу виконувати розрахунки гідротехнічних споруд як окремого каналу, так і споруд, які розташовано на ньому, що в свою чергу дозволяє найбільш раціонально використовувати матеріальні ресурси. Тому вирішення цієї проблеми є вкрай актуальним.

***Мета роботи*:** дослідження впливу ступеня затоплення та стиснення на протікання потоку в отворі гідротехнічної споруди при неусталеному русі рідини.

***Формування задачі дослідження*:** проведені дослідження руху рідини в іригаційних каналах показали, що для розрахунку таких каналів слід брати до уваги фактор часу, тобто розрахунок проводити з урахуванням неусталеного руху.

Тому виникає необхідність розроблення методів гідравлічного розрахунку відкритих русел та гідротехнічних споруд з урахуванням часу, в яких за розрахункові значення приймаються не секундна витрата Q_i і відповідні швидкості V_i та глибина h_i, а реальні трансформовані значення Q_{imax}, V_{imax}, h_{imax}.

Проведений аналіз роботи гідротехнічних споруд, які розташовані на зрошувальних каналах показав, що вони працюють як малі мости. Пропускна здатність таких споруд визначається за *загальною* формулою водозлива:

$$Q_{сп.} = \sigma_з mb\sqrt{2g}H^{3/2};$$

де $\sigma_з$ - коефіцієнт затоплення, який залежить від $H_{н.б.}/H_{в.б}$ ($H_{н.б}$ - глибина в нижньому б’єфі, $H_{в.б}$ -глибина у верхньому б’єфі);

m - коефіцієнт витрати, який залежить від форми отвору споруди.

З вищенаведеного можна зробити висновок, що збільшення ступеня затоплення та стиснення приводить до зменшення витрати, яку може пропустити споруда, а отже, до збільшення підпору перед нею.

У статті розглядаються два фактори впливу (затоплення та стиснення) на елементи потоку при неусталеному русі.

Перший фактор – це фактор впливу затоплення на елементи неусталеного потоку.

Для гідравлічного розрахунку отворів гідротехнічних споруд застосовуються три основні схеми протікання потоку. Дві схеми відповідають умовам вільного протікання не підтопленого потока, третя – роботі отвору при підтопленому потоці. Для всіх розрахункових схем перепускна спроможність гідротехнічної споруди визначається за формулою водозлива

$$Q = \sigma_n m b \sqrt{2g}\, H^{\frac{3}{2}}, \tag{1}$$

де: σ_n - коефіцієнт підтоплення;

$\sigma_n = 1$ - для розрахунку за першими двома схемами;

$\sigma_n < 1$ - для розрахунку за третьою схемою;

H – напір перед гідротехнічною спорудою;

m - коефіцієнт витрати, який залежить від форми отвору споруди;

$в$ - ширина отвору споруди;

Q – розрахункове значення витрати.

У спокійних потоках ступінь затоплення залежить від співвідношення глибини потоку в нижньому б'єфі до глибини потоку у верхньому б'єфі. Збільшення ступеня затоплення призводить до зменшення значення розрахункової витрати в споруді. Розглянувши вплив ступеня затоплення на умови трансформації витрати Q, швидкості V та глибини h при неусталеному русі потоку, можна провести оцінювання ступеня підтоплення. Це дозволить надати рекомендації для розрахунку отворів гідротехнічних споруд з урахуванням фактору часу, тобто фактичних умов протікання потоку.

Неусталений рух води описується системою рівнянь Сен-Венана [1]. Результат розв'язання рівнянь – отримання функцій $h= f(t,S)$ та $Q= f(t,S)$, що дає можливість надати характеристику неусталеному руху.

Основні методи розв'язання цих рівнянь – числові [3, 5]. Найбільш раціональним є метод прогонки за неявною кінцево-різницевою схемою.

При проведенні розрахунків неусталеного руху необхідно знати початкові та граничні умови, які характеризують умови протікання потоку вздовж ділянки русла, що розглядається. В якості початкової умови приймається наявність рівномірного руху.

Гранична умова для лівої частини показує характер притока води до початкового перерізу і залежить від часу. В задачі, що розглядається, гранична умова для лівої частини відображує характер притоку води до початкового перерізу залежно від часу. Цю умову було задано трикутним графіком запуску води, тобто залежністю $Q = f(t)$ для різних значень Q, часу підйома та спаду його гілок.

Граничну умову для правої частини було задано формулою водозлива (1). Це обумовлено тим, що в розрахунках неусталеного руху для відкритих русел слід розглядати випадки, коли у кінцевому перерізі є однозначний зв'язок між витратою та глибиною води. Це відповідає випадкам, коли в кінці русла знаходиться водозлив, малий міст, тощо.

Кількісне оцінювання впливу ступеня затоплення гідротехнічної споруди на елементи потоку при неусталеному русі було виконано з застосуванням рекомендацій проф. Большакова В.О. [1]. Розрахунки виконувались для прямокутного русла завширшки 10 метрів, завдовжки 1000 метрів, ухил дна i=0,001, коефіцієнт шорсткості n=0,020. Початкова умова – рівномірний рух завглибшки h_0=0,1м, витрата Q_0=0,3м^3/с та ступень затоплення K=0,8; 0,85; 0,95; 0,98. Мінімальне значення величини K відповідало початку затоплення, максимальне – сильному затопленню. Ширина отвору споруди дорівнювала ширині русла. Аналізування отриманих результатів показало, що збільшення ступеня затоплення споруди призводить до зменшення максимальної витрати Q_{imax} у перерізі споруди. Для порівняння максимальних витрат за різних ступеней затоплення було застосовано критерій оцінки -

коефіцієнт трансформації φ_{iQ} - відношення максимальної витрати в кінцевому перерізі до максимальної витрати у початковому перерізі.

$$\varphi_{iQ} = \frac{Q_{\max\ кін.пер.}}{Q_{0\max\ \ поч.пер.}}.$$

Існують рекомендації, згідно з якими для оцінювання впливу графіка попуска (витрати) на коефіцієнт трансформації φ_{iQ}, можна використовувати критерій $\frac{Q_{0\max}}{W}$, де $Q_{0\max}$ максимальна витрата у початковому перерізі м^3/с, W– об'єм стоку, м^3. На рисунку 1 показано залежність $\varphi_{iQ} = f(K)$ для прийнятих до розрахунку графіків попуску.

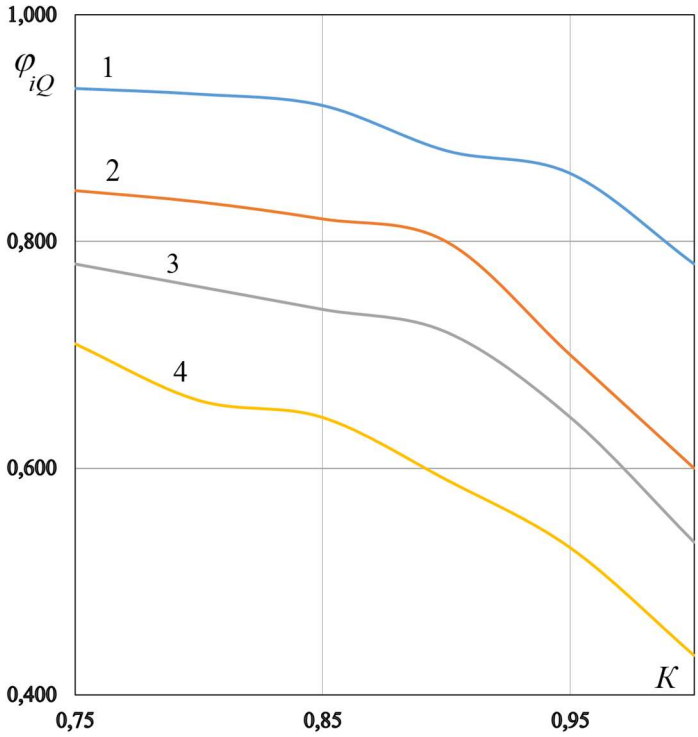

Рисунок 1 – Графіки залежності $\varphi_{iQ} = f(K)$ для різних значень критерію $\frac{Q_{0\max}}{W}$: 1 - 0,4; 2 – 0,8; 3 – 1,04; 4 – 1,53

Figure 1 – Graphs of dependence $\varphi_{iQ} = f(K)$ for different values criterion $\frac{Q_{0\max}}{W}$: 1 - 0,4; 2 – 0,8; 3 – 1,04; 4 – 1,53

Аналіз даних показує, що зі збільшенням критерія $\frac{Q_{0\max}}{W}$, коефіцієнт трансформації зменшується незалежно від ступеня затоплення, зі збільшенням ступеня затоплення максимальна швидкість V_{imax} зменшується. Для оцінювання впливу ступеня затоплення на максимальну швидкість у кінцевому перерізі було прийнято коефіцієнт φ_{iv} - співвідношення максимальної швидкості затоплення для $K \neq 0{,}8$ до максимальної швидкості, коли ступень затоплення $K = 0{,}8$. З проведеного аналізу залежності $\varphi_{iv}=f(K)$ можна зробити висновок, що коефіцієнт φ_{iv} при різних ступенях затоплення

зі зміною критерія $\frac{Q_{0\max}}{W}$ суттєво не змінюється. Це дозволяє побудувати графік, де величину $\varphi_{ivocep.} = f(K)$ осереднено до кожного значення ступеня затоплення (рисунок 2)

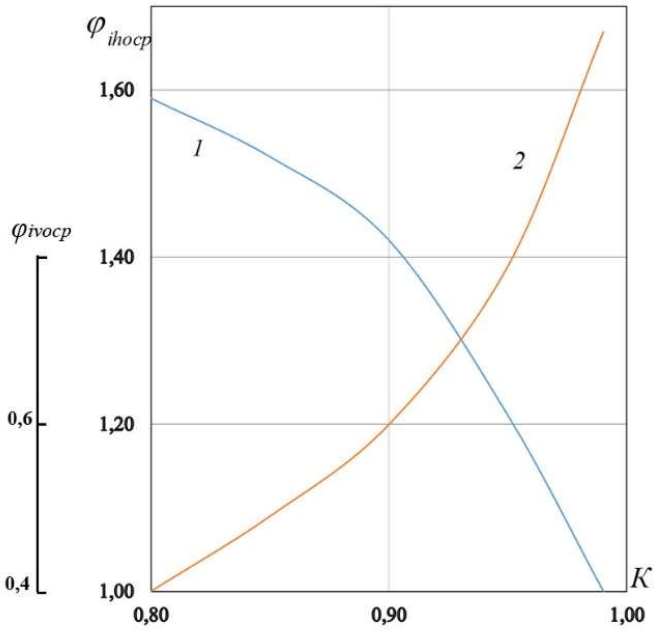

Рисунок 2 – Графік залежності 1 - $\varphi_{ivocp} = f(K)$; 2 - $\varphi_{ihocp} = f(K)$

Figure 2 – Graph of dependence 1 - $\varphi_{ivocp} = f(K)$; 2 - $\varphi_{ihocp} = f(K)$

Визначивши коефіцієнт φ_{iv} та побудувавши графік залежності $\varphi_{ivocp} = f(K)$ (рисунок 2), можна вирахувати максимальну швидкість у перерізі споруди для різних ступеней затоплення (крива 1).

Для кількісного оцінювання впливу ступеня затоплення на максимальну глибину було підраховано коефіцієнт φ_{ih} - відношення максимальної глибини при ступені затоплення $K \neq 0{,}8$ до максимальної глибини при $K = 0{,}8$. Проаналізувавши коефіцієнт φ_{ih} можна відмітити, що характер його змінювання для різних значень ступеня затоплення не залежить від критерію $\frac{Q_{0\max}}{W}$. Кількісно сутєвої різниці між значеннями коефіцієнта φ_{ih} для різних значень величини K з різним $\frac{Q_{0\max}}{W}$ також не існує. Це дозволяє побудувати графік $\varphi_{ihocep.} = f(K)$, де коефіцієнт φ_{ih} осереднено для кожної величини K (крива 2). Підсумовуючи проведене дослідження маємо можливість надати оцінку впливу ступеня затоплення на максимальні значення витрати, глибини, швидкості в перерізі споруди для неусталеного руху. Отримані дані підтверджують висновок з проведеного розрахунку отворів малих мостів з урахуванням неусталеного руху [6,7,8].

Другий фактор – фактор впливу стиснення на елементи неусталеного потоку.

Розглянемо, як далеко вгору проти течії розповсюджується підпір, який утворився в наслідок стиснення потоку, тобто яка довжина зони його впливу. Для аналітичного вирішення цієї задачі можна використати рекомендації Є.В. Єрьоменко [4]. В цьому випадку рівняння нерозривності можна отримати за умови розглядання зміни об'єму води на елементарній ділянці русла.

Приріст об'єма води за час dt

$$dW = \left(Q_{поч.} + Q_{вх.} - Q_{сп.}\right)dt, \quad (2)$$

де $Q_{вх.}$ - змінна за часом додаткова витрата попуска, який притікає до початкового перерізу;

$Q_{сп.}$ -змінна за часом витрата води, яка витікає з кінцевого перерізу ділянки русла, що розглядається;

$Q_{поч.}$ - витрата води, яка знаходиться в руслі.

Витрата в перерезі споруди зі збільшенням затоплення та стиснення зменшується, в наслідок чого величина приросту об'єма води *dW* - збільшується.

На момент, коли виникає затоплення або стиснення, пропускна здатність споруди зменшується, тобто витрата визначається за формулою:

$$Q_{сп.} = \sigma_з mkb\sqrt{2g}H^{3/2}, \quad (3)$$

де *k* - коефіцієнт, який враховує вплив бічного стиснення і залежить від співвідношення розміру отвору гідротехнічної споруди до ширини русла.

При попуску за час *dt* до створу споруди підходить об'єм води $\left(Q_{поч.} + Q_{вх.}\right)dt$. За цей період споруда пропускає об'єм води $dW = (m\sigma_з kb\sqrt{2g}H^{3/2})dt$. Об'єм води, який затримується перед спорудою за час *dt* буде

$$dW = (Q_{поч.} + Q_{вх.} - \sigma_з mkb\sqrt{2g}H^{3/2})dt \cdot \quad (4)$$

Об'єм води перед спорудою можна записати як об'єм геометричної фігури, який є половиною призми з основними параметрами *b* та *dH* та висотою *l*.

$$dW = 1/2\ b\ dH\ l\ , \quad (5)$$

де *dH* - напір, який утворився за рахунок підтоплення та стиснення;
l – відстань, на яку поширюється вплив підпору перед спорудою.

Якщо прирівняємо вирази (4) та (5) та поділимо змінні, отримаємо, що час збільшення об'єму визначається за залежністю:

$$dt = \frac{\frac{1}{2}bdHl}{\left(Q_{поч.} + Q_{вх.} - m\sigma_з kb\sqrt{2g}\ H^{\frac{3}{2}}\right)}, \quad (6)$$

Позначимо $Q_{поч.}$+ $Q_{вх.}$ = A; $m\sigma_з kb\sqrt{2g}\ H^{\frac{3}{2}}$ = B. Проінтегрувавши вираз (6) та зробивши ряд перетворень, отримаємо що:

$$t = \frac{1}{2}b \cdot i\int l\left(A - B \cdot l^{\frac{3}{2}}\right)^{-1} dl\ , \quad (7)$$

Результати проведених окремих розрахунків наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Порівняльна таблиця впливу витрати на визначення максимальної довжини розповсюдження стиснення потоку (за розрахунком і за графіком)
Table 1 – Comparative table impact of the expense of determining the maximum length dissemination compression of flow (calculated and graph)

Q_{0max}/W	Q_{0max}, м³/с	*t*, с	Q_{0max}+$Q_{рівн.рух}$	$l_а$	$l_ч$	*P*
				м		
0,40	19	5,04	22,03	850	970	0,876
0,83	24,5	2,40	27,50	960	1000	0,960
1,04	30	1,95	33,03	1050	1100	0,954
1,51	45	1,32	48,53	1100	1140	0,965
Примітка Q_{0max} - максимальна витрата у початковому перерезі, *W* - об'єм стоку, $Q_{рівн.рух}$ - витрата при рівномірному русі						

$$t=\frac{2}{3}\sqrt{l}+\frac{2}{3B}\sqrt[3]{\frac{A}{B}}\ln\left|\sqrt[3]{B}\cdot\sqrt{l}-\sqrt[3]{A}\right|-\frac{2}{9B}\sqrt{\frac{A}{B}}\ln\left|\sqrt[3]{B^2\cdot l}+\sqrt[3]{A\cdot B}\cdot\sqrt{l}+\right.$$
$$\left.+\sqrt[3]{A^2}\right|-\frac{8\cdot\sqrt[3]{A}}{B\cdot\sqrt{3}}\cdot arctg\left(\frac{2}{\sqrt{3}}\cdot\sqrt[3]{\frac{B}{A}}\cdot\sqrt{l}-\frac{1}{\sqrt{3}}\right) \quad (8)$$

Використовуючи вираз (8), маємо можливість побудувати залежність $t=f(l)$. Маючи цей вираз та знаючи час t, завжди можна знайти величину l.

Розрахунок неусталеного руху в природних умовах (за достатністю вихідних данних) з найбільшою точністю проводиться за методом проф.О.Ф.Васильєва [3].

За допомогою цього методу за неявною кінцево-різницевою схемою і методу прогонки вирішувалася повна система рівнянь Сен-Венана. Було отримано результати визначення величин Q, h, V у відповідному створі русла. Результати розрахунку порівнювались з результатами, які було отримано за формулою (8). До таблиці 1 занесено результати визначення максимальної довжини поширення впливу споруди. Ці результати отримано за розрахунком, проведеним з використанням величин на графіку залежності $t=f(l)$ (рисунок 3), який побудовано відповідно до рівняння, наведеного в (8).

Досліди показали, що поширення підпору буде довшим, якщо величина A буде більше.

Для оцінювання ступеня розходження було визначено параметр P, який є відношенням відстані розповсюдження підпора, що визначається на основі аналітичної залежності, до відстані, яку отримано за розрахунком.

Аналіз отриманних результатів показав, що аналітична залежність не дає великої розбіжності порівняно з розрахунками.

Це підтверджує той факт, що врахування фактичних умов протікання потоку дає більш точні рекомендації для проєктування гідротехнічних споруд з різними ступенями затоплення в умовах неусталеного руху.

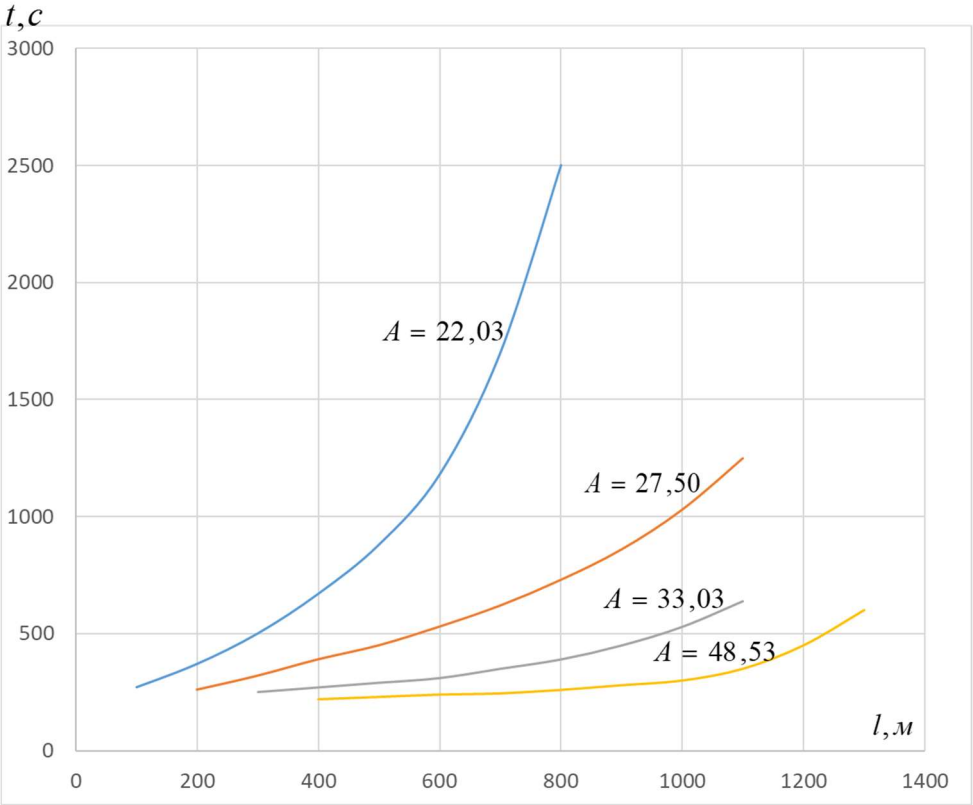

Рисунок 3 – Графік залежності $t=f(l)$
Figure 3 – Graph of dependence $t=f(l)$

Висновки

Отримані результати впливу неусталеного руху на елементи потоку (при затопленні та стисненні) дали можливість обгрунтувати необхідність урахування неусталеного руху для розрахунку отворів гідротехнічних споруд. Слід проводити порівняння параметрів (*Q, h, V*), що характеризують неусталений рух, з аналогічними величинами (*Q, h, V*) при усталеному русі. Проведений аналіз підтверджує необхідність виконання таких розрахунків для вищенаведених величин з урахуванням фактору часу.

У розвиток проведеного дослідження в подальшому планується розглянути питання розрахунку гідротехнічних споруд з урахуванням впливу шорсткості, похилу дна та форми русла при неусталеному русі. Наявність сучасних методів і можливостей дозволяє вирішити цю проблему, яка є актуальною для економічного розвитку країни з огляду на використання зрошувальних земель півдня України.

Перелік посилань

1 Большаков В.А. Численный метод расчета неустановившегося движения ливневых вод. Сб. “Гидравлика и гидротехника”, вып. 9, К., “Техніка”, 1970 р.

2 Большаков В.А. Анализ влияния стеснения русла в конечном сечении на элементы потока при неустановившемся движении. Сб. “Гидравлика и гидротехника”, вып. 11, К., “Техніка”, 1971 р.

3 Васильев О.Ф., Темноева Т.А, Шугрин Ц.М. “Численный метод расчета неустановившихся течений в открытых руслах” – изд.АН СССР, серия Механика, 1965 г., вып.2.

4 Еременко Е.В. “Приближенный способ определения влияния водослива, установленного в конце модел, при моделировании неустановившегося движения”. В кн.”Гидравлика и гидромеханика”ю К.: Наукова думка, 1964 г., с. 72-80

5 Турчак Л.И., Плотников П.В. Основы численных методов. М..Физматлит, 2002, с. 304.

6 Паровенко О.Н. Определение длины распространения подпора, образовавшегося у сооружения. Сб. “Гидравлика и гидротехника”, вып. 35, К., “Техніка”, 1982 р., с. 74-76.

7 Паровенко О.Н. Влияние степени затопления на протекание потока в отверстии сооружения при неустановившемся движении. Сб. “Гидравлика и гидротехника”, вып. 20, К., “Техніка”, 1975 р., с. 103-106.

8 Ткачук С.Г. Гідравліка, гідрологія, гідрометрія. Київ, вид. «Кафедра»: 2013. – с.391.

INFLUENCE OF THE DEGREE FLOODING AND COMPRESSION CROSS-SECTION OF A HYDRAULIC STRUCTURE WITH UNSTEADY LIQUID MOVEMENT

Bashkevych Iryna V., Candidate of Engineering Sciences, National Transport University, Department of Bridges and tunnels, hydraulic structures, Associate Professor, e-mail: iv.bashkevych@gmail.com, +380442807978, https://orcid.org/0000-0001-7640-4317.

Yevseichyk Yurii B., Candidate of Physics and Mathematics, National Transport University, Department of Bridges and tunnels, 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 and tunnels, 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 and tunnels, hydraulic structures, Associate Professor, e-mail:olen[k.lia@gmail.com +380442807978, https://orcid.org/0000-0001-8872-8415.

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

Abstract. The article is devoted to topical issues of the influence of hydraulic structures on the behavior of channel flow.

Issues related to the operation of hydraulic structures located on irrigation canals were considered:

- the influence of the degree of flooding on the elements of unsteady movement in open channels;

- the influence of flow compression on the elements of unsteady motion in open flows.

Quantitative assessment of the impact degree of flooding and compression on the elements of the flow during steady motion was carried out taking into account the recommendations of prof. Bolshakova VO, which are based on the use of the method of prof. Vasilieva OF

The question influence of hydraulic structures on the behavior of the channel flow was solved using the equations of Saint-Venan by the numerical method, namely the method of run by the implicit-difference scheme.

To close the system when using this method, the following conditions were taken into account:

a - initial;

b - left and right boundary conditions.

The initial conditions are the presence of uniform movement in the channel. The left boundary condition is determined by the schedule of water supply to the channel, which has the form of a triangular hydrograph. The right boundary condition is determined by the known formula of a spillway with a wide threshold. The initial data were obtained from field observations.

Quantitative assessment of the impact of flooding and flow compression on the final flow, velocity and depth results was performed.

The issue of distribution of the support along the channel bed, which was formed due to the compression of the flow, was solved using the recommendations of E.V. Eremenko. The equation of flow continuity was considered - under the condition of changing the volume of water in the elementary section of the channel. The time of increase in the volume of water due to compression was determined from the formula obtained in the calculation process.

Based on the condition that the time factor is a known value, it is possible to obtain a mathematical expression that determines the length of the propagation of the compression effect.

Thanks to the obtained formulas, the calculated graphs of the relative maximum depth depending on the degree of flooding were constructed. With the help of these graphs it is possible to solve the problem of water supply in irrigation canals in the presence of flooding and compression of the flow (in case of unsteady movement).

Key words: unsteady motion, hydraulic structure, compression, flooding, Saint-Venan equation, transformation coefficient

References

1 Bol'shakov V.A. Chislennyy metod rascheta neustanovivshegosya dvizheniya livnevykh vod. Sb. “Gidravlika i gidrotekhnika”, vyp. 9, K., “Tekhníka”, 1970 r. [in Russian].

2 Bol'shakov V.A. Analiz vliyaniya stesneniya rusla v konechnom sechenii na elementy potoka pri neustanovivshemsya dvizhenii. Sb. “Gidravlika i gidrotekhnika”, vyp. 11, K., “Tekhníka”, 1971 r. [in Russian].

3 Vasil'yev O.F., Temnoyeva T.A, Shugrin TS.M. “Chislennyy metod rascheta neustanovivshikhsya techeniy v otkrytykh ruslakh” – izd.AN SSSR, seriya Mekhanika, 1965 g., vyp.2. [in Russian].

4 Yeremenko Ye.V. “Priblizhennyy sposob opredeleniya vliyaniya vodosliva, ustanovlennogo v kontse model, pri modelirovanii neustanovivshegosya dvizheniya”. V kn.”Gidravlika i gidromekhanika”yu K.: Naukova dumka, 1964 g., s. 72-80. [in Russian].

5 Turchak L.I., Plotnikov P.V. Osnovy chislennykh metodov. M..Fizmatlit, 2002, s. 304. [in Russian].

6 Parovenko O.N. Opredeleniye dliny rasprostraneniya podpora, obrazovavshegosya u sooruzheniya. Sb. “Gidravlika i gidrotekhnika”, vyp. 35, K., “Tekhníka”, 1982 r., s. 74-76. [in Russian].

7 Parovenko O.N. Vliyaniye stepeni zatopleniya na protekaniye potoka v otverstii sooruzheniya pri neustanovivshemsya dvizhenii. Sb. “Gidravlika i gidrotekhnika”, vyp. 20, K., “Tekhníka”, 1975 r., s. 103-106. [in Russian].

8 Tkachuk S.H. Hidravlika, hidrolohiya, hidrometriya. Kyiv. «Kafedra»,2013,-391s. [in Ukrainian].