

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства і
природокористування
Навчально-науковий інститут
енергетики, автоматики та водного господарства
Кафедра гідротехнічного будівництва та гідравліки

02/03-08М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання лабораторних робіт із
навчальної дисциплін «ГІДРАВЛІКА»,
розділ «БЕЗНАПІРНІ СИСТЕМИ»
для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня
за освітньою програмою «Гідроенергетика» спеціальності
145 «Відновлювані джерела енергії та гідроенергетика»
денної та заочної форм навчання

Рекомендовано науково-методичною
радою з якості ННІЕАВГ
Протокол № 2 від 13 жовтня 2025 року

Рівне – 2025

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт із навчальної дисциплін «Гідравліка», розділ «Безнапірні системи» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньою програмою «Гідроенергетика» спеціальності 145 «Відновлювані джерела енергії та гідроенергетика» денної та заочної форм навчання. [Електронне видання] / Токар Л. О. Рівне : НУВГП, 2025. 22 с.

Укладач: Токар Л. О., кандидат технічних наук, доцент кафедри гідротехнічного будівництва та гідравліки.

Відповідальна за випуск – Волк Л. Р., в.о.завідувача кафедри гідротехнічного будівництва та гідравліки.

Попередня версія методичних вказівок 01-04-103.

Керівник групи забезпечення освітньої програми «Гідроенергетика» спеціальності 145 «Відновлювані джерела енергії та гідроенергетика» – Галич О. О.

© Л. О. Токар, 2025

© НУВГП, 2025

ЗМІСТ

ВСТУП	4
ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ	5
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №12. <i>Дослідження форм вільних поверхонь нерівномірного плавнозмінного руху в призматичних руслах</i>	6
12.1 Загальні відомості	6
12.2. Склад роботи	6
12.3. Підготовка лабораторної установки	7
12.4. Проведення та обробка дослідів	9
Контрольні запитання	9
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №13. <i>Гідравлічний стрибок</i>	10
13.1 Загальні відомості	10
13.2. Основне рівняння досконалого гідравлічного стрибка. Визначення спряжених глибин стрибка в прямокутному руслі	12
13.3. Довжина гідравлічного стрибка	13
13.4. Втрати енергії в стрибку	14
13.5. Склад роботи	14
13.6. Дослідна установка	14
13.7. Проведення та обробка дослідів	16
Контрольні запитання	17
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №17. <i>Дослідження форм спряження б'єфів при донному режимі</i>	17
17.1 Загальні відомості	17
17.2. Донний режим спряження б'єфів, який проходить по типу донного гідравлічного стрибка	18
17.3. Визначення стисненої глибини потоку за спорудою	18
17.4. Склад розрахунку	20
17.5. Підготовка дослідної установки	21
17.6. Проведення та обробка дослідів	21
Контрольні запитання	22

ВСТУП

Нумерація лабораторних робіт приведених в методичних вказівках відповідає нумерації дослідних установок лабораторії кафедри гідравліки.

Мета кожної лабораторної роботи:

- засвоєння теоретичних знань студентами;
- набуття студентами вмінь проведення гідравлічних дослідів, здійснення аналізу дослідних даних та виконання оцінки дослідів.

Поставлена в лабораторних роботах мета досягається за рахунок:

- наявності методичних вказівок до проведення лабораторних робіт;
- достатньою кількістю лабораторних стендів;
- організацією контролю засвоєння знань студентами;

У зв'язку з цим методичні вказівки до кожної лабораторної роботи вміщують:

- короткі теоретичні відомості;
- опис порядку виконання лабораторних робіт;
- опис лабораторної роботи;
- процес підготовки лабораторної роботи до проведення дослідів;
- опис процесу виконання та обробки дослідних даних лабораторної роботи;
- матеріали оцінки точності дослідів;
- контрольні питання, які забезпечують перевірку засвоєння матеріалу, який вивчається. Крім цього, для кожної лабораторної роботи розроблені картки контролю знань.

У результаті виконання лабораторних робіт студенти повинні

ЗНАТИ:

- середню, осереднену та пульсаційну швидкості, як вони обчислюються та вимірюються, коефіцієнт кінетичної енергії і спосіб його обчислення, відомості про прилади для вимірювання осереднених і дійсних швидкостей в турбулентних потоках;
- гідравлічний стрибок, основне рівняння досконалого гідравлічного стрибка, види стрибка, формули для визначення спряжених глибин стрибка в прямокутному руслі, механізм гасіння енергії в стрибку, втрати механічної

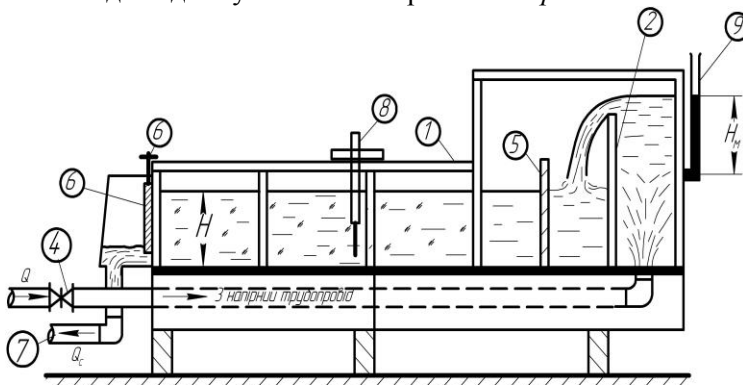
енергії на водозливах, витікання із-під щита, спрягаючи споруди, рух рідини в пористому середовищі.

ВМІТИ:

- виміряти втрату, виміряти осереднену швидкість в точці потоку, визначити середню швидкість на вертикалі, визначити середню швидкість потоку, визначити питому витрату, визначити коефіцієнт кінетичної енергії, коефіцієнт швидкості, фільтрації, проникливості.

Вимоги до виконання лабораторних робіт

1. Перед виконанням лабораторних робіт студент вивчає методичні вказівки до роботи та проходить інструктаж з охорони праці.
 2. Лабораторну роботу одночасно виконують 10...15 студентів.
 3. Результати вимірювань кожний студент записує у свій журнал лабораторних робіт.
 4. Обрахунки дослідних даних студенти виконують в аудиторії.
 5. Після закінчення обчислень дослідних даних студент підписує журнал лабораторної роботи у викладача.
 6. В кожній лабораторній роботі необхідно зробити оцінку точності дослідів величини, що досліджується.
 7. Робота рахується закінченою після повного заповнення журналу та побудови необхідних графіків.
- Схема дослідної установки зображена на *рис. 1*.



1 - лоток; 2 - мірний трикутний водозлив; 3 - напірний трубопровід; 4 - засувка;
5 - гаситель енергії; 6 - плоский затвор; 7 - скидний трубопровід; 8 - тастер;
9 - п'єзометр.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №12

Дослідження форм вільних поверхонь нерівномірного плавномірного руху в призматичних руслах

12.1 Загальні відомості

Плавномірним нерівномірним рухом називають такий рух, при якому відбувається плавна зміна гідравлічних параметрів потоку (швидкість, тиск, глибина) вздовж течії. Нерівномірний рух найчастіше зустрічається перед гідротехнічними спорудами або за ними. На (рис.2) наведені приклади споруд, які сприяють утворенню нерівномірного руху, де a – гребля, b, c, d – перепади, e – бистроток, f – затвор.

Очевидно, що при переході від рівномірного руху до нерівномірного відбувається зміна глибини та швидкостей потоку порівняно з рівномірним рухом. У цьому випадку частина русла може бути розмита або замулена. При цьому, із зменшенням глибини швидкість збільшується – канал розмивається, а із збільшенням глибини частина каналу може замулюватися.

Вивчення нерівномірного руху починається із досліджень вільних поверхонь або, іншими словами, кривих вільних поверхонь.

В дослідженнях кривих розрізняють три випадки: $z > 0$, $z = 0$, $z < 0$ (Рис. 3; 4).

12.2. Склад роботи

В лотку із заданим похилом його дна необхідно експериментально дослідити всі форми вільних поверхонь потоку, в якому поставлена перешкода, наприклад, водозлив.

12.3. Підготовка лабораторної установки

Лабораторна установка стає робочою тоді, коли: поступово відкривають засувку 4 (рис. 1), вода, заповнивши головний резервуар, заповнює лоток.

Плоский затвор повинен бути трохи піднятим. Досліди проводять при усталеному русі, тобто коли глибини в лотку не змінюються в часі. Підйомником встановлюють похил дна лотка.

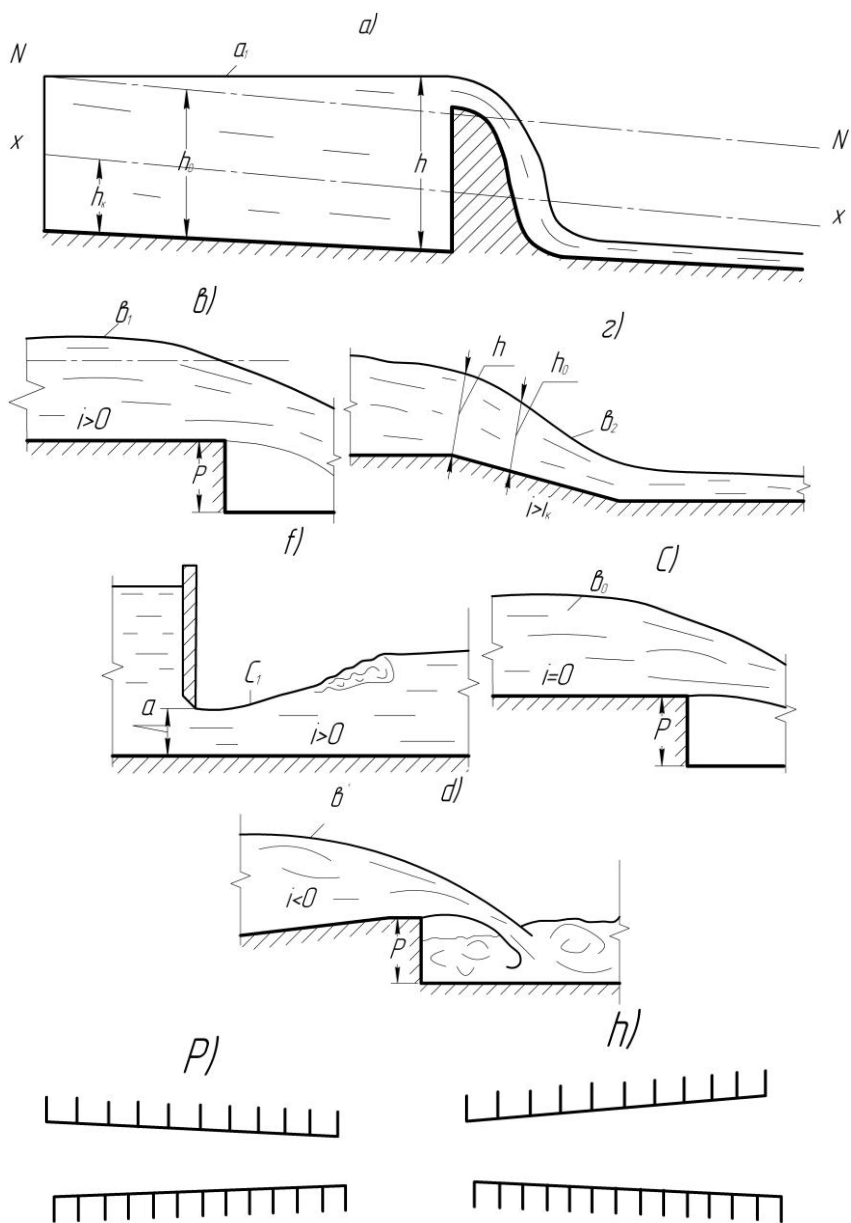


Рис. 2. Приклади споруд, які сприяють утворенню нерівномірного руху

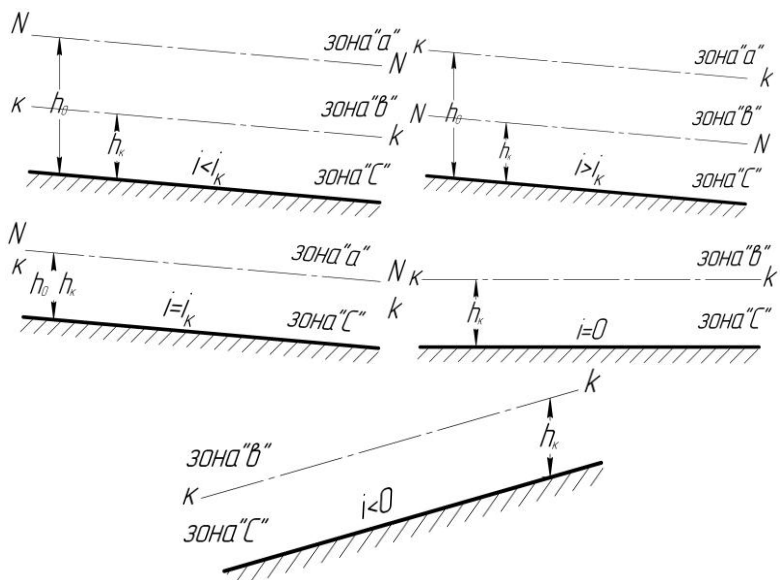


Рис. 3. Схеми розміщення нормальних $N-N$ і критичних $k-k$ ліній залежно від похилу дна i

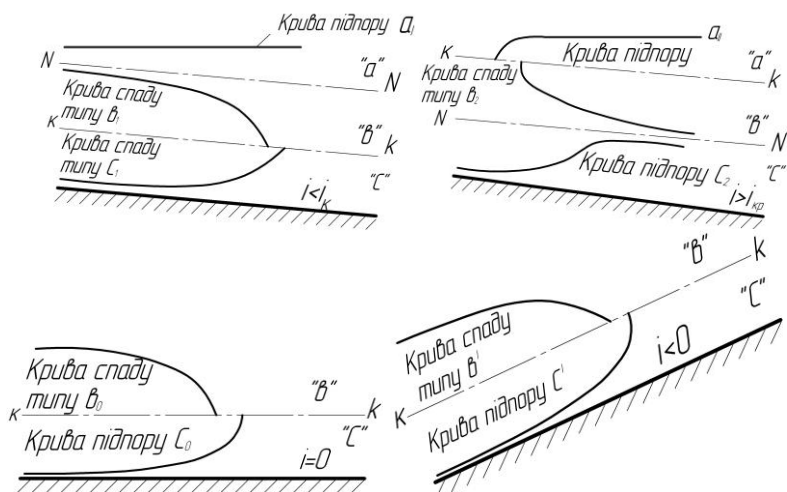


Рис. 4. Схеми кривих вільної поверхні в призматичних руслах по довжині потоку

12.4. Проведення та обробка дослідів

1. За допомогою засувки 4 забезпечують витрату $Q \approx 12...18 \text{ л/с}$.
2. При відсутності перешкоди в лотку і піднятому плоскому затворі 6 тастером 8 вимірюють в 2...3 перерізах глибину води. Перерізи назначають на віддалі 0,8...1,0 і один від одного. Вимірне середнє значення глибини h відповідатиме глибині рівномірного руху h_0 . Глибину рівномірного руху h_0 можна визначити за графіком $Q=f(h_0)$, який знаходиться в таблиці на лотку.
3. Візуально назначають ділянки існуючих кривих вільних поверхонь. Назначають два перерізи і вимірюють віддалі між ними (рис. 2,а).
4. Тастером вимірюють глибини в перерізах h_1, h_2, h_3, h_4 (рис. 2,а).
5. Обчислюємо критичну глибину прямокутного русла за формулою

$$h_{\text{крит}} = \sqrt[3]{\frac{\alpha \cdot Q^2}{g \cdot b^2}}, \quad (12.1)$$

де $\alpha = 1,05$ - коректив кінетичної енергії, Q - витрата, л/с, b - ширина лотка.

6. За співвідношенням між глибинами $h_1, h_2 / h_0, h_{\text{крит}} /$ і $h_0, h_{\text{крит}} / h_3, h_4 /$ роблять висновок про тип кривої вільної поверхні.

Контрольні запитання

1. Що відбувається з глибинами та швидкостями в каналі, якщо в ньому виникає нерівномірний рух? Де цей рух можливий?
2. В якому стані знаходиться потік, коли глибина потоку $h < h_{\text{крит}}$;
 $h > h_{\text{крит}}$?
3. Запишіть співвідношення між глибинами для кривих типу a_1 і c_1 .
4. Чи можливий в каналі з похилом дна $i=0$; $i<0$ рівномірний рух?
5. Який рух називається нерівномірним?
6. Покажіть на схемі зони a, b, c при $^3 < ^3_{\text{крит}}$ і при $^3 > ^3_{\text{крит}}$.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №13

Гідравлічний стрибок

13.1 Загальні відомості

Гідравлічним стрибком називають різкий перехід потоку з бурхливого стану в спокійний, або від глибин h' менше критичної $h_{\text{кр}}$ до глибин h'' , яка більше критичної (рис. 5).

Дослідження встановило, що в гідравлічному стрибку можна виділити дві зони (рис. 5).

1. Зона A – це поверхневий валець з досить різким збільшенням відміток вільної поверхні.
2. Зона B – це зона транзитного потоку. Зону A можна умовно відокремити від зони B хвилястою лінією abc . Через цю поверхню відбувається інтенсивний обмін води між зонами A і B , що супроводжується підвищенням турбулентності та гасінням енергії транзитного потоку.

Глибина води на початку гідравлічного стрибка h' називається першою спряженою глибиною. Глибина h'' називається другою спряженою глибиною. Різниця між спряженими глибинами називається висотою гідравлічного стрибка.

$$\Delta = h'' - h', \quad (13.1)$$

Довжина потоку між спряженими глибинами називається довжиною гідравлічного стрибка. Ділянка потоку, на якій відбувається переформування епюри швидкості до такого виду, яку має потік при рівномірному русі називається післястрибковою ділянкою l_{nc} . Довжина стрибка разом із довжиною післястрибкової ділянки називається довжиною ділянки спряження б'єфів $L_{\text{нб}}$. Гідравлічний стрибок виникає в нижньому б'єфі гідротехнічних споруд. Від гідравлічних параметрів стрибка залежить довжина кріплення нижнього б'єфу. Тому при вивченні стрибка розділяють наступні типи цього явища (рис. 6).

I. Досконалий гідравлічний стрибок. Цей стрибок виникає у руслі з постійним похилом і незмінними розмірами поперечного перерізу вздовж течії. У даному випадку параметр кінетичності,

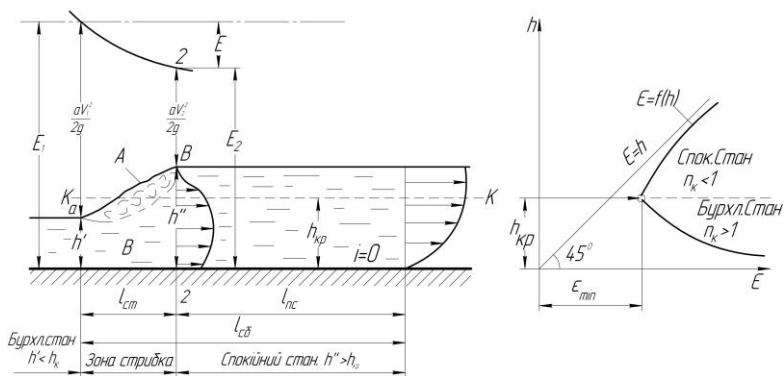


Рис. 5. Схема досконалого гідралічного стрибка та його внутрішня структура

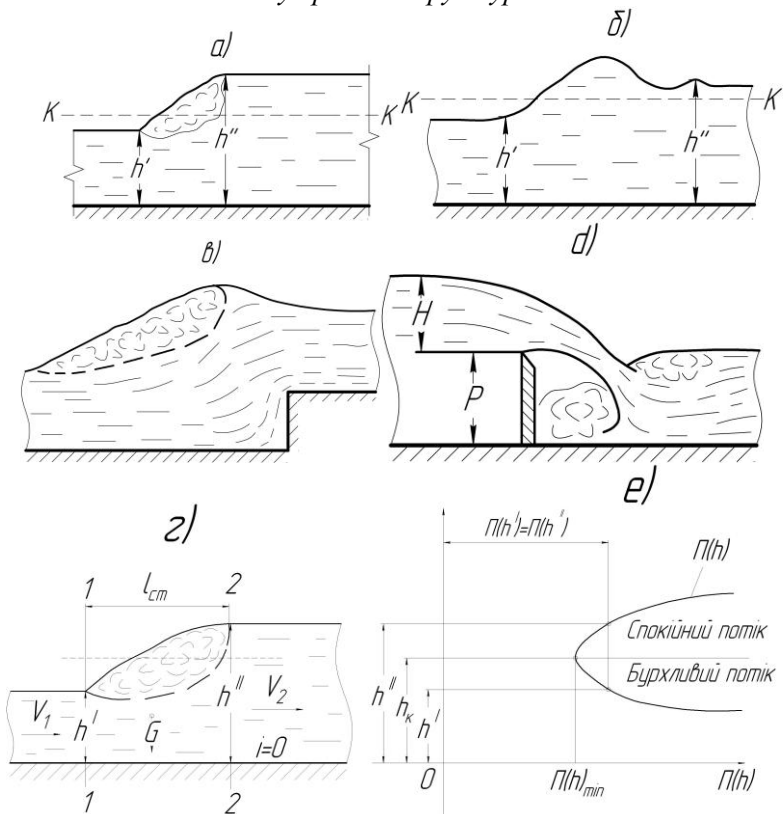


Рис. 6. Схеми видів гідралічного стрибка та графік функції гідралічного стрибка

обчислений за швидкістю в перерізі з глибиною h' , повинен бути: (рис. 6,а)

$$\hat{I\ddot{E}}_1 = V_1^2 / (g \cdot h') \geq 3 \quad (13.2)$$

II. Хвилястий гідравлічний стрибок, або стрибок – хвиля буде у тому випадку, коли параметр кінетичності менше трьох (рис. 6,б), тобто $\hat{I\ddot{E}}_1 < 3$.

III. Підпертий гідравлічний стрибок виникає тоді, коли у нижньому б'єфі гідротехнічної споруди на шляху потоку встановлена перешкода.

При цьому віддаль від початку гідравлічного стрибка до перешкоди буде менша ніж довжина стрибка (рис. 6,в). Параметр кінетичності $\hat{I\ddot{E}}_1 < 3$.

IV. Затоплений гідравлічний стрибок буде тоді, коли глибина води в нижньому б'єфі буде більшою за другу спряжену глибину, тобто $h_f > h''$.

13.2. Основне рівняння досконалого гідравлічного стрибка. Визначення спряжених глибин стрибка в прямокутному руслі

Основне рівняння досконалого гідравлічного стрибка можна отримати із рівняння про кількість руху.

Для русла з горизонтальним похилом дна рівняння стрибка має вигляд

$$\frac{\alpha_{01} \cdot Q^2}{g \cdot \omega_1} + y_1 \cdot \omega_1 = \frac{\alpha_{02} \cdot Q^2}{g \cdot \omega_2} + y_2 \cdot \omega_2, \quad (13.3)$$

де α_{01} та α_{02} - корективи кількості руху, в перерізах з глибинами h' і h'' ; Q - витрата; y_1 і y_2 - глибина занурення центрів ваги, відповідно, живих перерізів ω_1, ω_2 ; g - прискорення сили тяжіння (рис. 6,г).

Використовуючи рівняння (13.3), можна визначити спряжені глибини стрибка в руслі будь-якої правильної форми (трикутна, прямокутна, трапецеїдальна і т.д.). Як видно з рівняння (13.3), ліва його частина залежить від h' , а права – від глибини h'' . Тому часто це рівняння записують так:

$$\ddot{I}(h') = \ddot{I}(h''), \quad (13.4)$$

де $\ddot{I}(h')$ і $\ddot{I}(h'')$ - стрибкові функції,

$$\ddot{I}(h') = \frac{\alpha_{01} \cdot Q^2}{g \cdot \omega_1} + y_1 \cdot \omega_1, \quad (13.5)$$

$$\ddot{I}(h'') = \frac{\alpha_{02} \cdot Q^2}{g \cdot \omega_2} + y_2 \cdot \omega_2, \quad (13.6)$$

Графік стрибкової функції зображений на (рис. 6,е). знаючи одну із спряжених глибин, за графіком стрибкової функції можна легко визначити другу спряжену глибину стрибка.

У випадку, коли русло прямокутної форми, спряжені глибини стрибка дорівнюють:

$$h' = 0,5 \cdot h'' \cdot \left(\sqrt{1 + 8 \left(\frac{h_{\hat{e}\hat{\delta}}}{h''} \right)^3} - 1 \right), \quad (13.7)$$

$$h'' = 0,5 \cdot h' \cdot \left(\sqrt{1 + 8 \left(\frac{h_{\hat{e}\hat{\delta}}}{h'} \right)^3} - 1 \right), \quad (13.8)$$

де $h_{\hat{e}\hat{\delta}}$ - критична глибина, яка для русла прямокутної форми дорівнює

$$h_{\hat{e}\hat{\delta}} = \sqrt[3]{\frac{\alpha \cdot Q^2}{g \cdot b^2}}, \quad (13.9)$$

13.3. Довжина гідравлічного стрибка

Під довжиною гідравлічного стрибка розуміють проекцію поверхневого вальця на горизонтальну вісь.

В практичних розрахунках для визначення довжини гідравлічного стрибка можна використати такі залежності:

1. Формула М.Д. Чертоусова

$$l_{\bar{A}, \bar{N}} = 10,3 \cdot h' \cdot (\sqrt{Fr_1} - 1)^{0,21}, \quad (13.10)$$

$$\text{Де } Fr_1 = \frac{\ddot{I}\hat{E}_1}{g \cdot h'} = \frac{V_1^2}{g \cdot h'}.$$

2. Формула С.К. Кузнецова

$$l_{\bar{A},\bar{N}} = 16,7 \cdot (h_{\text{гг}} - h'), \quad (13.11)$$

3. Формула Н.Н. Павловського

$$l_{\bar{A},\bar{N}} = 2,5 \cdot (1,9h'' - h'), \quad (13.12)$$

13.4. Втрати енергії в стрибку

За рахунок того, що в гідравлічному стрибку відбувається інтенсивне перемішування об'ємів води, стрибок є потужним гасителем енергії. Дослідним шляхом встановлено, що в досконалому стрибку гаситься біля 10...60% енергії, яку мав потік до стрибка. Втрати енергії можна обчислити розв'язуючи систему рівнянь: I. Рівняння Бернуллі, складене для перерізів з глибинами h' і h'' . II. Рівняння стрибка.

Для русла прямокутної форми втрати енергії в гідравлічному стрибку приблизно дорівнюють:

$$\Delta A = (h'' - h')^3 / (4 \cdot h' \cdot h''), \quad (13.13)$$

13.5. Склад роботи

1. Виміряти спряжені глибини h' і h'' , а також довжину стрибка $l_{\bar{A},\bar{N}}$.
2. Використовуючи одну із спряжених глибин, обчислити другу спряжену глибину.
3. Обчислити довжину гідравлічного стрибка за формулами (3.10...3.12).
4. За формулою (13.13) обчислити втрати енергії в стрибку.
5. Визначити відносні втрати енергії в стрибку.

13.6. Дослідна установка

Схема дослідної установки наведена на *рис. 1*. Підготовка дослідної установки до роботи приведена в пункті 12.3.

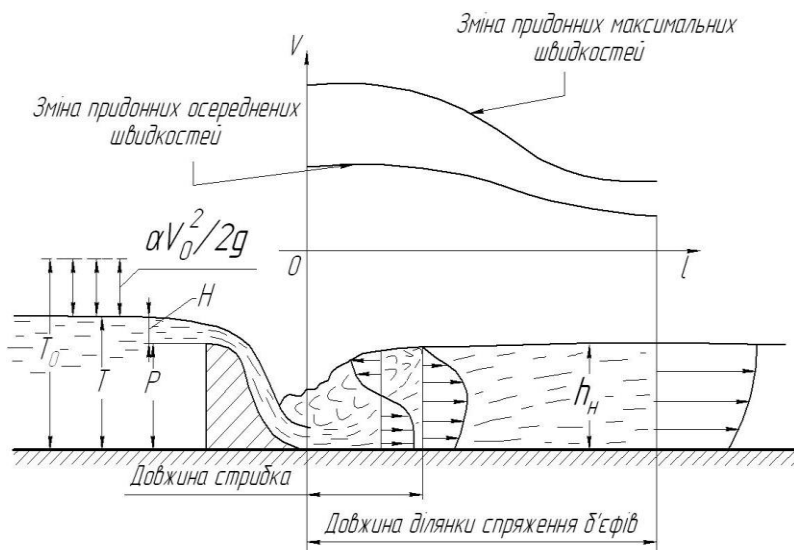


Рис. 7. Діаграма зміни швидкостей на ділянці спряження б'єфів
а)

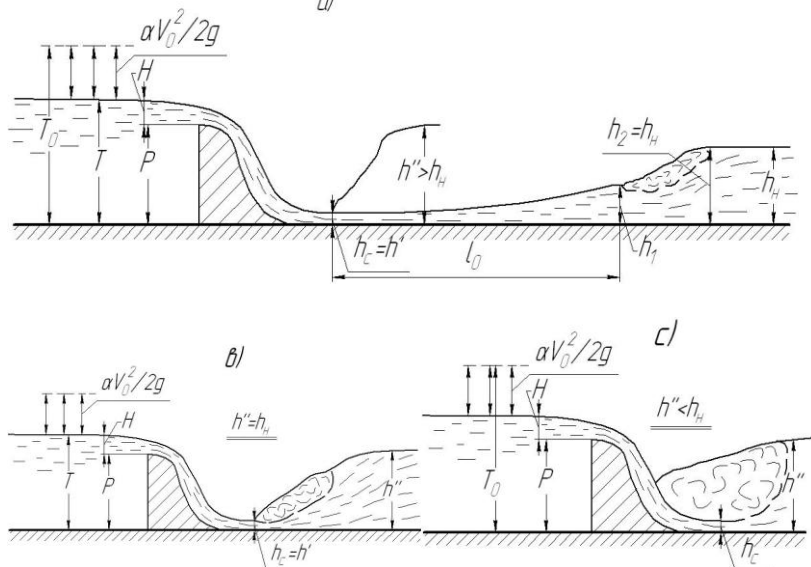


Рис. 8. Схеми форм спряження б'єфів при донному режимі
спряження б'єфів

13.7. Проведення та обробка дослідів

1. За допомогою засувки 4 забезпечують напір на мірному трикутному водозливі $\hat{I}_i = 16 - 18 \text{ н} \cdot \text{м}$.
2. За допомогою засувки 6 створюють гідравлічний стрибок за водозливом.
3. Тастером вимірюють спряжені глибини h' і h'' .
4. Лінійкою вимірюють довжину гідравлічного стрибка.
5. Знаючи напір на мірному водозливі, визначають витрату Q .

$$6. \text{ Обчислюють критичну глибину } h_{\text{ед}} = \sqrt[3]{\frac{\alpha \cdot Q^2}{g \cdot b^2}}.$$

7. Обчислюють середню швидкість потоку до і після стрибка

$$V_1 = \frac{Q}{b \cdot h'}; \quad V_2 = \frac{Q}{b \cdot h''}.$$

8. Знаходять параметр кінетичності потоку

$$\hat{E}_1 = Fr_1 = \frac{V_1^2}{(g \cdot h')} = \left(\frac{h_{\text{ед}}}{h'}\right)^3, \text{ і визначають тип стрибка.}$$

9. За дослідною глибиною h'' і рівнянням (13.7) обчислюють глибину h' і порівнюють її з дослідною h' . Обчислюють процент відхилення.

10. За формулами (13.10-13.12) обчислюють довжину стрибка і порівнюють її з дослідною. Обчислюють процент відхилення дослідного значення від обчисленого за формулами.

11. За формулою (13.13) обчислюють втрати енергії в стрибку.

12. Обчислюють втрати енергії за рівнянням Бернуллі

$$\Delta A = A_1 - A_2 = \left(h' + \frac{\alpha \cdot V_1^2}{2 \cdot g}\right) - \left(h'' + \frac{\alpha \cdot V_2^2}{2 \cdot g}\right),$$

13. Порівнюють між собою втрати енергії обчисленні за формулою

$$(13.10) \text{ та рівнянням Бернуллі: } \beta_A = \frac{\Delta A_i - \Delta A}{\Delta A_i} \cdot 100\%.$$

14. Визначають відносні втрати енергії в гідравлічному стрибку

$$\sigma_A = \frac{\Delta A_i}{A_1} \cdot 100\%,$$

Контрольні запитання

1. Що називається гідравлічним стрибком?
2. Структура гідравлічного стрибка.
3. Типи гідравлічного стрибка.
4. Як визначають спряжені глибини стрибка?
5. Що називають довжиною стрибка?
6. Чим обумовлені втрати енергії в стрибку?
7. Як визначають втрати енергії в стрибку?
8. Яку довжину називають ділянкою спряження б'єфів?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №17

Дослідження форм спряження б'єфів при донному режимі

17.1 Загальні відомості

Задача про розрахунок спряження б'єфів складається з таких питань:

1. Визначення режимів спряження б'єфів.
2. Знаходження сил, що діють на кріплення в нижньому б'єфі, тобто знаходження швидкостей і тисків.
3. Визначення розмірів кріплення в нижньому б'єфі.
4. Визначення заходів для усунення збійних течій в нижньому б'єфі.

Серед усіх режимів спряження б'єфів можна виділити три основні:

I. Донний режим спряження, який характеризується тим, що в нижньому б'єфі споруди на значній довжині швидкості потоку біля дна значно більші, ніж на поверхні (*рис. 8,а*).

II. Поверхневий режим спряження має місце тоді, коли у нижньому б'єфі споруди на деякій довжині швидкості біля дна значно менші, ніж швидкості біля поверхні (*рис. 9*).

III. Змішаний або поверхнево-донний режим спряження, який характеризується поверхнево-донною структурою швидкостей (*рис. 9,с*).

У лабораторній роботі вивчатимемо форми спряження б'єфів при донному режимі (*рис. 8.а*).

17.2. Донний режим спряження б'єфів, який проходить по типу донного гідравлічного стрибка

Залежно від співвідношення між другою спряженою глибиною стрибка h'' і глибиною води в нижньому б'єфі h_i можливі три випадки спряження б'єфів при донному режимі:

1. $h'' > h_i$ - спряження по типу відігнутого стрибка (рис. 8,а);
2. $h'' = h_i$ - спряження по типу насунутого гідравлічного стрибка /початок стрибка знаходиться в стисненому перерізі потоку за спорудою (рис. 8,в);
3. $h'' < h_i$ - спряження по типу затопленого стрибка (рис. 8,с).

Таким чином, із розглянутих форм спряження б'єфів першим питанням, яке потрібно розв'язати, є визначення стисненої глибини за спорудою, h_n , яка приймається за першу спряжену глибину стрибка h' . При відомій h' визначаємо другу спряжену глибину стрибка h'' , порівнюючи її з глибиною води у нижньому б'єфі h_i і виявляємо тип спряження, який відбувається по типу донного гідравлічного стрибка.

17.3. Визначення стисненої глибини потоку за спорудою

Із рівняння Бернуллі, складного для перерізів у верхньому б'єфі перед спорудою і стисненого перерізу, одержимо:

$$\dot{O}_0 = h_c + \frac{\alpha_c \cdot Q^2}{2 \cdot g \cdot \omega_c^2 \cdot \varphi_c^2}, \quad (17.1)$$

або для плоскої задачі

$$\dot{O}_0 = h_c + \frac{\alpha_c \cdot q^2}{2 \cdot g \cdot \varphi_2 \cdot h_c^2}, \quad (17.2)$$

де $\dot{O}_0$ - повна питома енергія потоку перед спорудою у верхньому б'єфі по відношенню до площини порівняння, яка співпадає з горизонтальним дном нижнього б'єфу (рис. 10,а).

$$\dot{O}_0 = \dot{O} + \frac{\alpha_0 \cdot V_0^2}{2 \cdot g}, \quad (17.3)$$

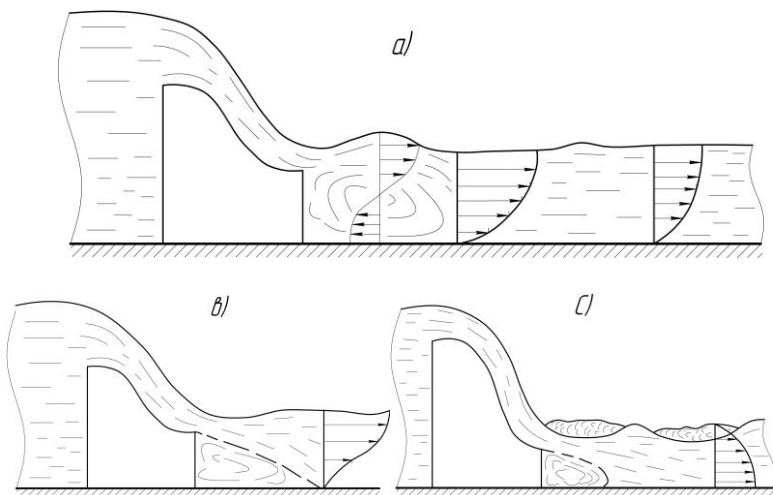


Рис. 9. Схеми розподілу швидкостей руху рідини для різних режимів спряження б'єфів
а/

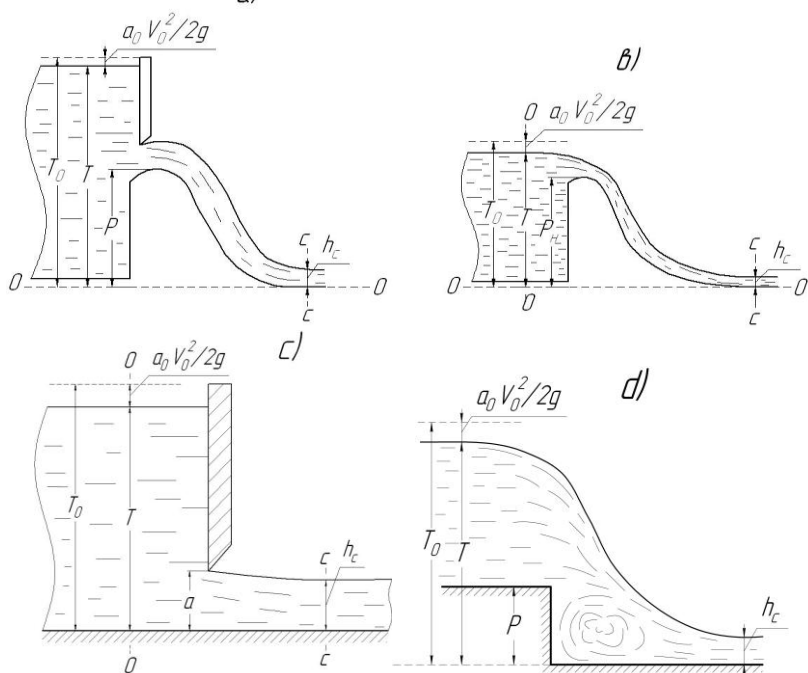


Рис. 10. Розрахункові схеми для визначення стисненої глибини за гідротехнічною спорудою

де $\dot{O}$ - питома потенціальна енергія потоку верхнього б'єфу, V_0 - швидкість підходу до споруди, $h_{\bar{n}}$ - стиснена глибина потоку, $\omega_{\bar{n}}$ - площа живого перерізу з глибиною $h_{\bar{n}}$, $\alpha_0, \alpha_{\bar{n}}$ - корективи кінетичної енергії, відповідно в перерізах 0-0 і $c-c$, q - питома витрата, b - ширина русла, φ_c - коефіцієнт швидкості, який враховує втрати механічної енергії при русі потоку від перерізу 0-0 до перерізу $c-c$ (рис. 10,а). Величина коефіцієнта швидкості $\varphi_{\bar{n}}$ залежить від конструкції, геометричних розмірів споруди і гідравлічних параметрів потоку.

Наприклад, при витіканні через водозлив без щитів (рис. 10,в) величину $\varphi_{\bar{n}}$ можна визначити за формулою, яка складена на основі експериментальних даних М.М. Біляшівського [1]:

$$\varphi_{\bar{n}} = 0,97 + 0,19 \cdot \lg \left(\frac{H_0}{P_i} \right), \quad (17.4)$$

де $\dot{I}_0 = \dot{I} + \frac{\alpha_0 \cdot V_0^2}{2 \cdot g}$ - повний напір на гребені водозливу, P_i -

висота водозливу з боку нижнього б'єфу.

В лабораторній роботі має місце плоска задача, тому для визначення стисненої глибини користуються рівнянням (17.2), яке можна записати так:

$$h_c = \frac{q}{\varphi_c \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot (\dot{O}_0 - h_c)}}, \quad (17.5)$$

Розв'язок рівняння (17.5) легко виконати методом ітерації. Для цього в першому наближенні під радикалом величину h_c приймаємо рівною нулю. В більшості випадків рівняння (17.5) розв'язується за 2-3 наближення.

17.4. Склад розрахунку

1. Виявити типи спряження, що відповідають схемам, зображеним на рис. 8.
2. Порівняти експериментальні дані з обчисленими.

17.5. Підготовка дослідної установки

Лабораторна робота виконується на установці, схема якої показана на *рис. 1*. Підпірною спорудою, яка буде сприяти утворенню гідравлічного стрибка в лотку, може бути водозлив, перепад або затвор.

17.6. Проведення та обробка дослідів

1. За допомогою засувки 4 забезпечують необхідну витрату (18-25 л/с).
2. Тастером 8 вимірюють глибину води в верхньому б'єфі h_a , в стисненому перерізі h_c і в нижньому б'єфі h_i . При цьому, за допомогою затвора 6 в нижньому б'єфі створюють такі три глибини потоку, котрі забезпечують спряження за типом відігнутого стрибка (*рис. 8,а*), стрибка в критичному стані (*рис. 8,в*) і затопленого стрибка (*рис. 8,с*). Очевидно, що для схеми, яка приведена на *рис. 8,в*, маємо $h_i = h''$.
3. Маючи дослідне значення другої спряженої глибини стрибка h'' , порівнюють її з трьома глибинами нижнього б'єфу і роблять висновок про форми спряження б'єфів.

За формулою (17.5) визначають глибину h_c .

4. Приймаємо $h_c = h'$ і визначаємо другу спряжену глибину h'' .

$$h'' = 0,5 \cdot h' \cdot \left(\sqrt{1 + 8 \cdot \left(\frac{h_{\text{ед}}}{h'} \right)^3} - 1 \right), \quad (17.6)$$

5. Порівнюємо знайдені глибини h_c і h' з дослідними і обчислюємо відхилення дослідних величин від визначених аналітично.

Контрольні запитання

1. Які питання необхідно розглядати при розв'язку задачі про спряження б'єфів?

2. Назвати режими спряження б'єфів і дати характеристику швидкісної структури потоку, яка відповідає кожному режиму.
3. Що таке дільниця спряження б'єфів?
4. Які явища виникають на дільниці спряження б'єфів?
5. Назвати можливі форми спряження б'єфів у випадку утворення донного гідравлічного стрибка.

ЛІТЕРАТУРА

1. ДБН В. 2.4–1–99 Меліоративні системи та споруди. К.: Держбуд України, 1999. 112 с.
2. Рогалевич Ю. П. Гідравліка : підручник. К. : Вища школа, 2010. 431 с.
2. Науменко І. І. Гідравліка : підручник. Рівне : НУВГП, 2005. 475 с.
3. Науменко І. І. Гідравліка : підручник. Рівне : Видавництво РДТУ, 2001. 528 с.