



Національний університет
водного господарства та природокористування

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

01-04-103

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання лабораторних робіт із
навчальної дисципліни «ПРИКЛАДНА ГІДРАВЛІКА»,
розділ «БЕЗНАПІРНІ СИСТЕМИ»
для здобувачів вищої освіти
першого (бакалаврського) рівня за спеціальністю:
145 «Гідроенергетика»
денної та заочної форм навчання

Рекомендовано науково-методичною
комісією зі спеціальності
145 «Гідроенергетика»
Протокол № 4 від 12.02.2019 року

Рівне – 2019



Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт із навчальної дисципліни «Прикладна гідравліка», розділ «Безнапірні системи» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за спеціальністю 145 «Гідроенергетика» денної та заочної форм навчання. / Токар Л. О., Токар О. І. – Рівне : НУВГП, 2019. – 37 с.

Укладачі:

Токар Л. О., к.т.н., доцент кафедри гідротехнічного будівництва та гідравліки;

Токар О. І., к.т.н., доцент кафедри гідротехнічного будівництва та гідравліки.

Відповідальний за випуск – Шинкарук Л. А., завідувач кафедри гідротехнічного будівництва та гідравліки.





ЗМІСТ

ВСТУП	5
ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ	6
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №12. Дослідження форм вільних поверхонь нерівномірного плавномірного руху в призматичних русах	7
12.1 Загальні відомості	7
12.2. Склад роботи	7
12.3. Підготовка лабораторної установки	7
12.4. Проведення та обробка дослідів	10
Контрольні запитання	10
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №13. Гідравлічний стрибок	11
13.1 Загальні відомості	11
13.2. Основне рівняння досконалого гідравлічного стрибка. Визначення спряжених глибин стрибка в прямокутному руслі	13
13.3. Довжина гідравлічного стрибка	14
13.4. Втрати енергії в стрибку	15
13.5. Склад роботи	15
13.6. Дослідна установка	15
13.7. Проведення та обробка дослідів	17
Контрольні запитання	18
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №17. Дослідження форм спряження б'єсів при донному режимі	18
17.1 Загальні відомості	18
17.2. Донний режим спряження б'єсів, який проходить по типу донного гідравлічного стрибка	19
17.3. Визначення стисненої глибини потоку за спорудою	21
17.4. Склад розрахунку	22
17.5. Підготовка дослідної установки	22
17.6. Проведення та обробка дослідів	22
Контрольні запитання	22



ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 18. Дослідження витікання із-під щита	23
18.1. Загальні відомості	23
18.2. Склад роботи	25
18.3. Дослідна установка	26
18.4. Порядок проведення роботи	26
18.5. Обробка дослідів	26
Контрольні запитання	27
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №19. Дослідження гасіння енергії на спрягаючих спорудах	28
19.1. Загальні поняття	28
19.2. Склад розрахунку	28
19.3. Дослідна установка	28
19.4. Проведення дослідів	28
19.5. Обробка дослідів	30
Контрольні запитання	31
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №20. Рух ґрунтових вод. Визначення коефіцієнтів фільтрації і проникнення ґрунтів	31
20.1. Загальні відомості	31
20.2. Коефіцієнт фільтрації і коефіцієнт проникнення ...	34
20.3. Склад роботи	34
20.4. Дослідна установка	34
20.5. Підготовка дослідної установки	35
20.6. Проведення та обробка дослідів	35
Контрольні запитання	36
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА	37
ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА	37



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*.

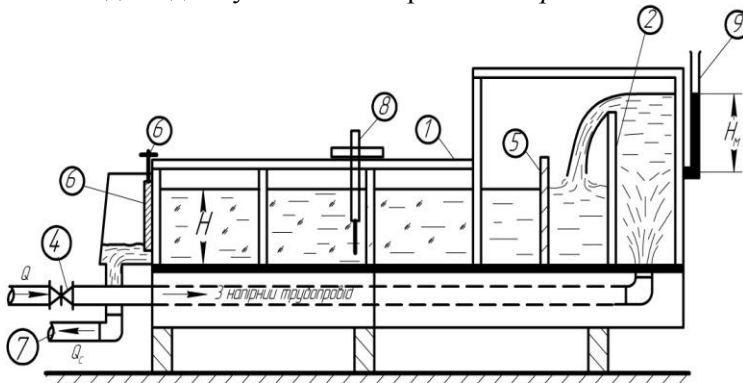


Рис. 1. Схема дослідної установки

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



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: $^3 > 0$, $^3 = 0$, $^3 < 0$ (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.



Національний університет
водного господарства
та природокористування

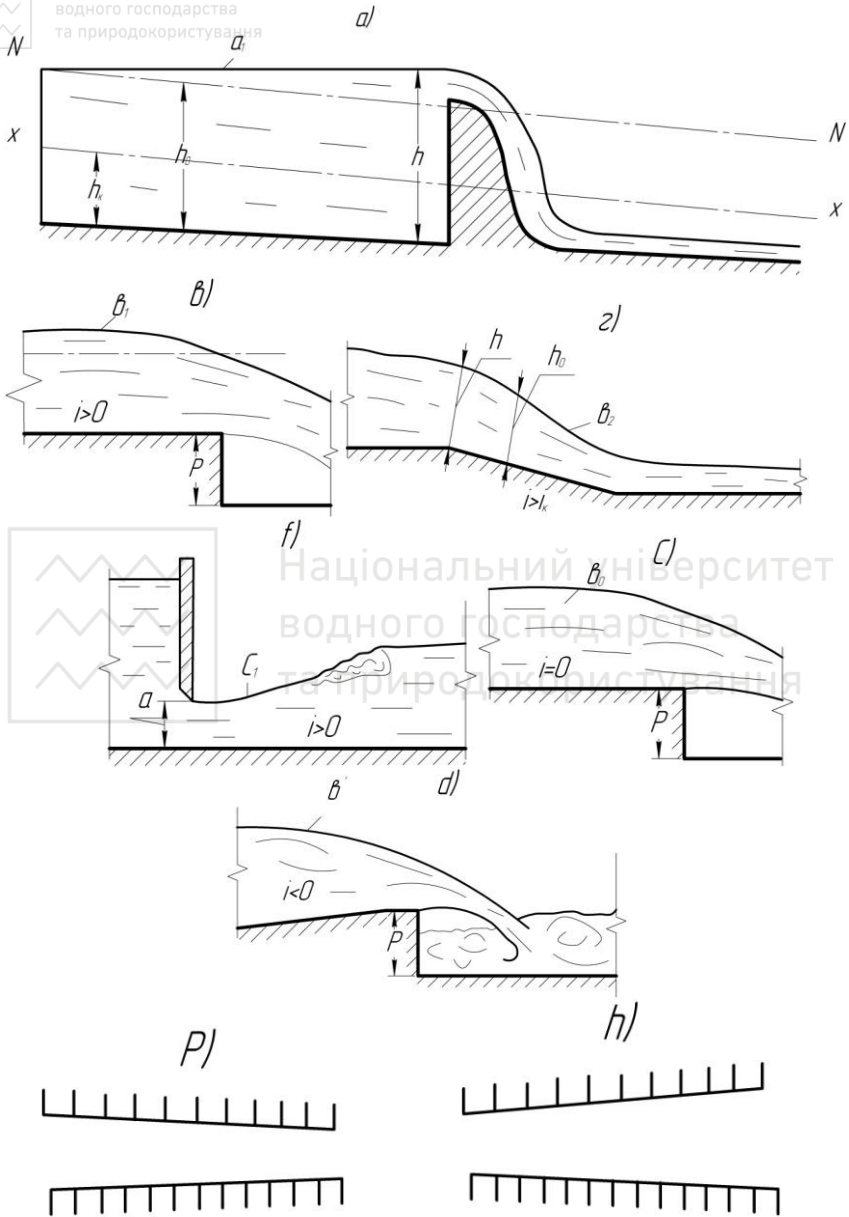


Рис. 2. Приклади споруд, які сприяють утворенню нерівномірного руху

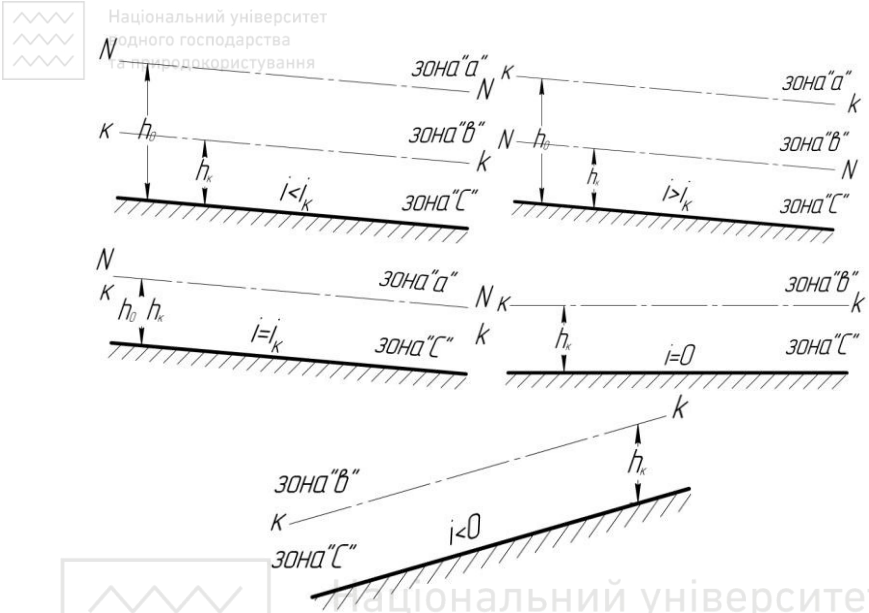


Рис. 3. Схеми розміщення нормальних N-N і критичних k-k ліній залежно від похилу дна i

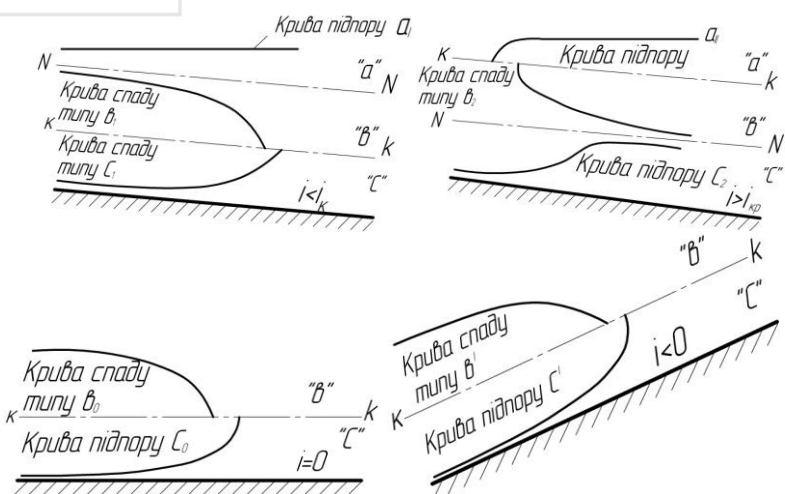


Рис. 4. Схеми кривих вільної поверхні в призматичних руслах по довжині потоку



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 м 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
$$h_{\text{кр}} = \sqrt[3]{\frac{\alpha \cdot Q^2}{g \cdot b^2}}, \quad (12.1)$$
де $\alpha = 1,05$ - коректив кінетичної енергії, Q - витрата, л/с, b - ширина лотка.
6. За співвідношенням між глибинами $h_1, h_2 / h_0, h_{\text{кр}} /$ і $h_0, h_{\text{кр}} / h_3, h_4 /$ 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 $h < h_{\text{кр}}$;
 $h > h_{\text{кр}}$?
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 $h < h_{\text{кр}}$ і при $h > h_{\text{кр}}$.



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).

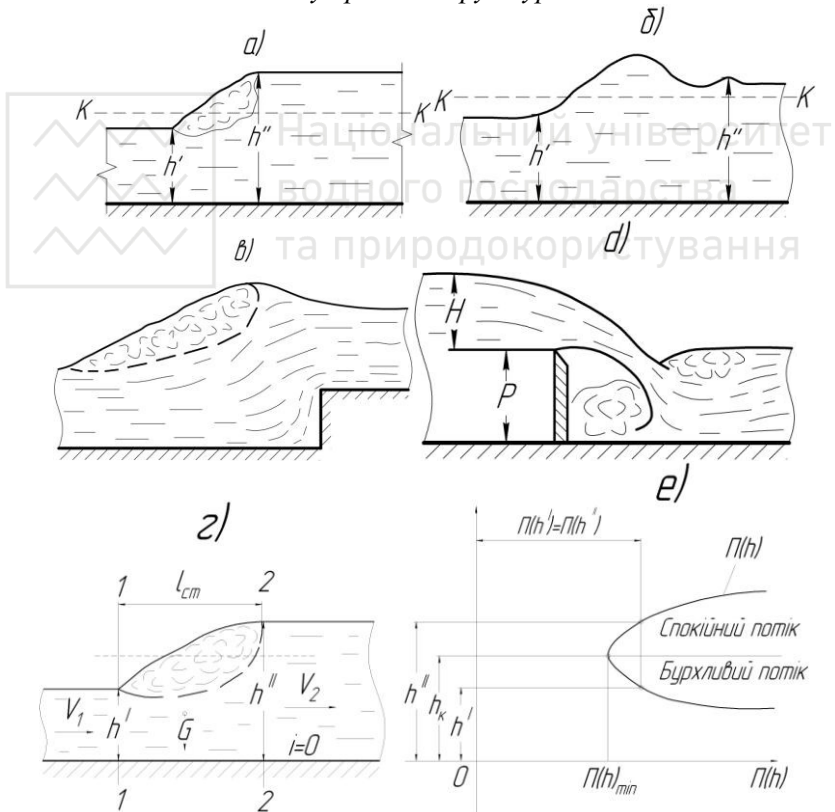
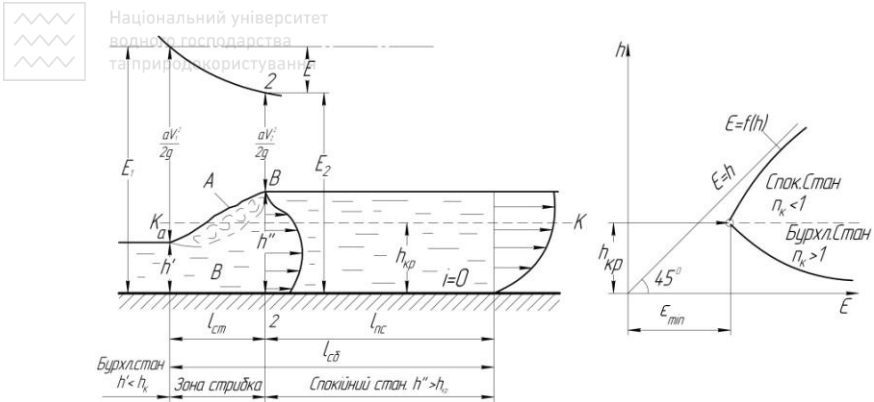
1. Зона A – це поверхневий валець з досить різким збільшенням відміток вільної поверхні.
2. Зона B – це зона транзитного потоку. Зону A можна умовно відокремити від зони B хвилястою лінією abc . Через цю поверхню відбувається інтенсивний обмін води між зонами A і B , що супроводжується підвищенням турбулентності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





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

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

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

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 $\hat{I}\hat{E}_1 < 3$.

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

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 тд.). 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:

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

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

де $h_{\text{ед}}$ - критична глибина, яка для русла прямокутної форми дорівнює

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

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

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

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

2. Формула С.К. Кузнєцова



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

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:



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

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.

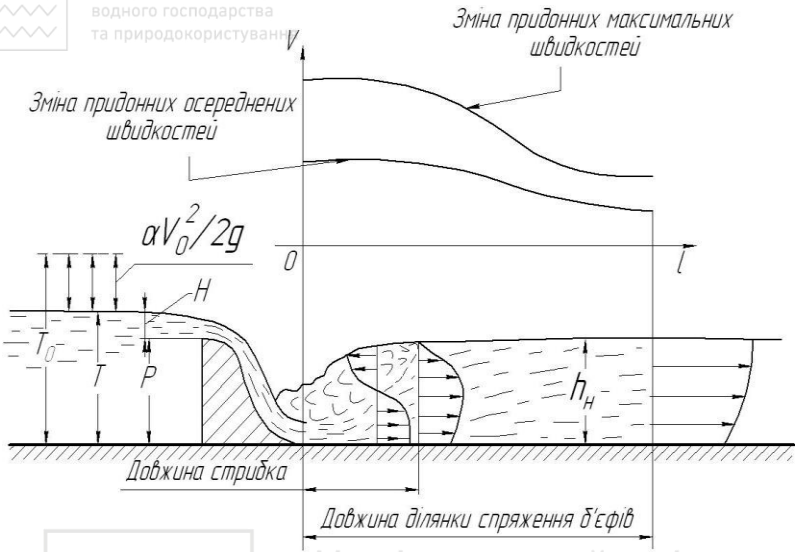


Рис. 7. Діаграма зміни швидкостей на ділянці спряження б'єфів

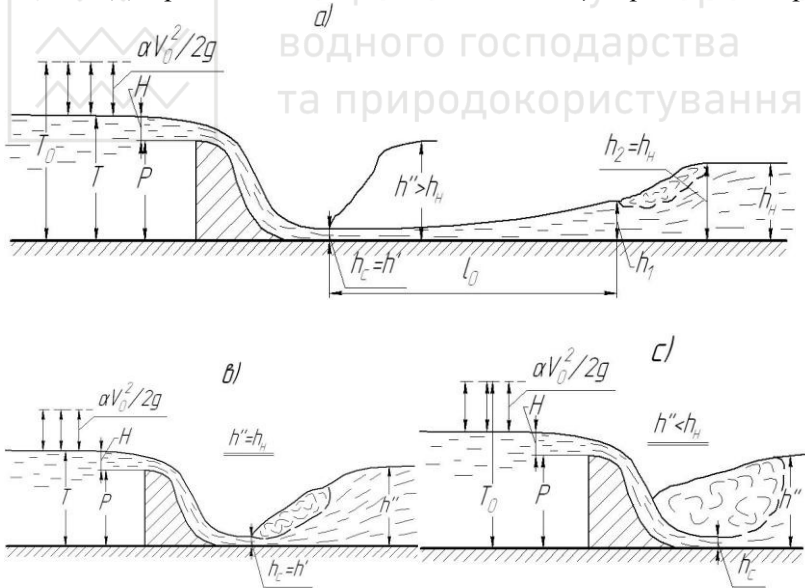


Рис. 8. Схеми форм спряження б'єфів при донному режимі спряження б'єфів



13.7. Проведення та обробка дослідів

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

6. 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

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

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

$$\Delta \dot{A} = \dot{A}_1 - \dot{A}_2 = \left(h' + \frac{\alpha \cdot V_1^2}{2 \cdot g}\right) - \left(h'' + \frac{\alpha \cdot V_2^2}{2 \cdot g}\right),$$

13. Порівнюють між собою втрати енергії обчислені за формулою

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

14. Визначають відносні втрати енергії в гідравлічному стрибку

$$\sigma_{\dot{A}} = \frac{\Delta \dot{A}_i}{\dot{A}_1} \cdot 100\%,$$



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).

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

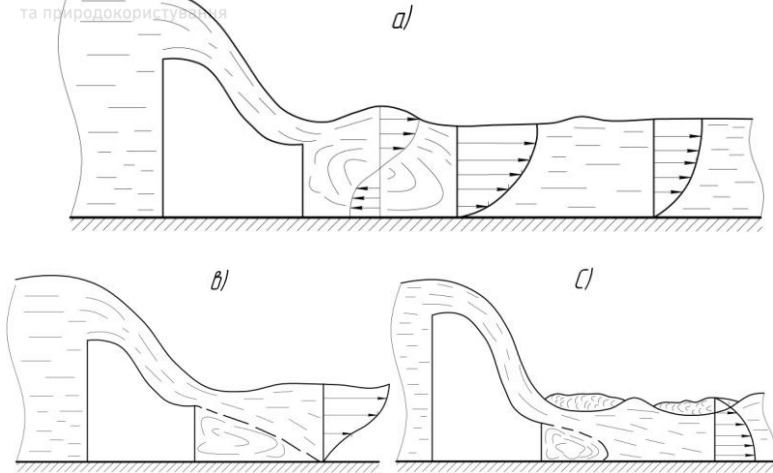


Рис. 9. Схеми розподілу швидкостей руху рідини для різних режимів спряження б'єфів

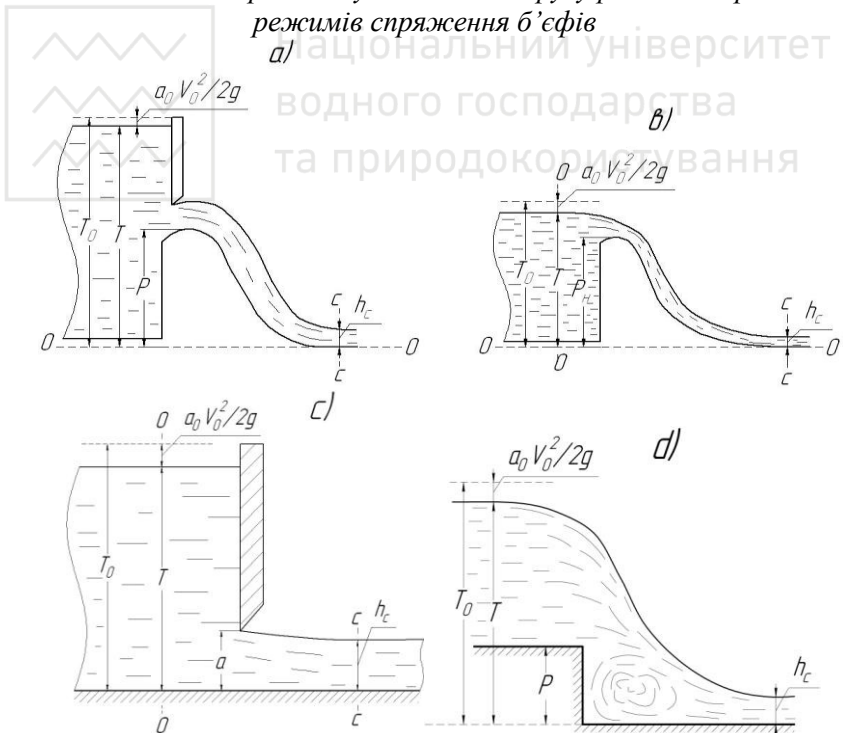


Рис. 10. Розрахункові схеми для визначення стисненої глибини за гідротехнічною спорудою



де \dot{Q} - 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:

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

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.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 18

Дослідження витікання із-під щита

18.1. Загальні відомості

Отвори водозабірних і водоскидних гідротехнічних споруд, в більшості випадків, перекриваються щитами (затворами), які можуть бути плоскими, сегментними, вальцевими і інші.

Витікання із-під щита може бути вільним і затопленим. Вільне витікання – це таке, при якому потік води в нижньому б'єфі не впливає на пропускну спроможність споруди, при заданому рівні рідини у верхньому б'єфі.

В лабораторній роботі досліджують вільне і затоплене витікання із-під щита в умовах плоскої задачі.

Струмина, яка витікає з-під щита, стискується у вертикальній площині (див. *рис. 11*) і на віддалі, приблизно, рівній висоті підняття щита a , установлюється стиснена глибина потоку h_c .

Витрату, при вільному витіканні із-під щита (*рис.11*), можна визначити за формулою

$$Q = \mu \cdot a \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot (H_0 - h_c)}, \quad (18.1)$$

де b - ширина прямокутного лотка; H_0 - повний напір (з врахуванням швидкості підходу V_0) перед щитом; $\mu = \varepsilon \cdot \varphi$ - коефіцієнт витрати; φ - коефіцієнт швидкості, котрий враховує втрати напору при витіканні із-під щита. В окремому випадку, для отвору без порогу з вертикальним щитом $\varphi = 0,95 \dots 0,97$; ε - коефіцієнт вертикального стиснення визначаємо за табл.18.1 (М.Є.Жуковський).



a/H	0,05	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
ε	0,61	0,615	0,620	0,625	0,630	0,645	0,660	0,690	0,720	0,780	1,00

Глибину в стисненому перерізі h_c можна виразити через висоту відкриття щита a : $h_c = \varepsilon \cdot a$ (18.2).

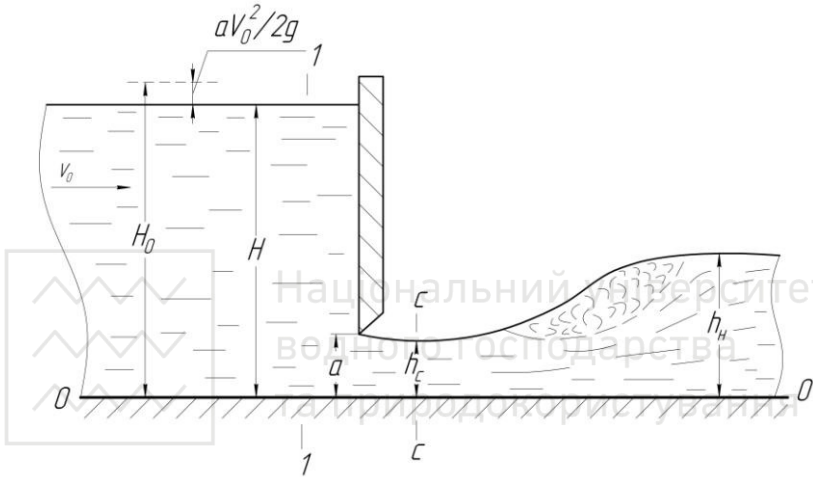


Рис. 11. Схема вільного витікання з-під щита

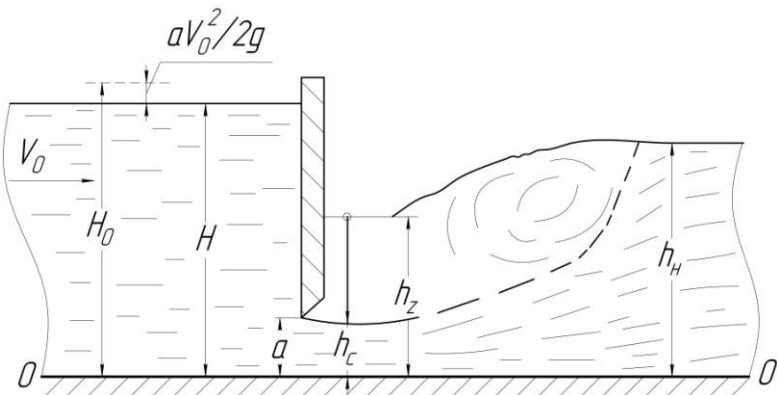


Рис. 12. Схема затопленого витікання з-під щита



Затоплене витікання із-під щита виникає у випадку утворення затопленого стрибка за щитом. В цьому випадку за щитом утворюється глибина $h_z > h_c$ (див. *рис. 12*).

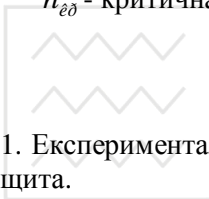
Витрата при затопленому витіканні із-під щита визначається за формулою

$$Q = \mu \cdot a \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot (I_0 - h_z)}, \quad (18.3)$$

де $\mu = \varepsilon \cdot \varphi$ - коефіцієнт витрати, який за даними експериментальних досліджень має те саме значення, що і при вільному витіканні. Глибину води h_z в прямокутному руслі можна визначити за формулою

$$h_z = \sqrt{h_i^2 - 2 \cdot h_{\text{ед}}^3 \cdot \frac{h_i - h_{\bar{n}}}{h_i \cdot h_{\bar{n}}}}, \quad (18.4)$$

$h_{\text{ед}}$ - критична глибина.



Національний університет
водного господарства
та природокористування

18.2 Склад роботи

1. Експериментально дослідити вільне і затоплене витікання із-під щита.
2. Аналітично визначити параметри потоку при витіканні із-під щита

18.3. Дослідна установка

Дослідна установка для виконання лабораторної роботи №18 складається з тих же елементів, що і установка для лабораторної роботи №12. В роботі №18 (див. *рис. 1*) встановлюють плоский затвор.

18.4. Порядок проведення роботи

1. Вимірюється висота підняття щита \dot{a} .
2. По лотку пропускається в умовах усталеного руху витрата Q .
3. За допомогою плоского затвора b (*рис. 1*), який розміщений в кінці лотка, забезпечують утворення за щитом досконалого гідравлічного стрибка, мірною голкою вимірюють глибину води



перед щитом (геометричний напір), H , глибину u стисненому перерізі h_c і глибину в нижньому б'єфі h_i .

4. За допомогою плоского затвора b утворюють затоплене витікання із-під щита. Через деякий час, коли рух буде усталеним (при усталеному русі відмітка вільної поверхні перед щитом буде постійною), знову вимірюють H , h_i , а також глибину за щитом h_z .

18.5 Обробка дослідів

Визначаємо швидкість підходу потоку до щита (при вільному і затопленому витіканні). $V_0 = \frac{Q}{b \cdot H}$;

Вираховуємо швидкісний напір $\frac{\alpha \cdot V_0^2}{2 \cdot g}$, ($\alpha = 1,1$)

Знаходимо повний напір $H_0 = H + \frac{\alpha \cdot V_0^2}{2 \cdot g}$

Використовуючи формулу (18.1), визначаємо дослідне значення коефіцієнта швидкості

$$\varphi = \frac{Q}{b \cdot h_c \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot (H_0 - h_c)}}, \quad (18.6)$$

Дослідне значення φ порівнюємо з довідниковими величинами.

Обчислюємо дослідний коефіцієнт вертикального стиснення

$$\varepsilon = \frac{h_c}{a}.$$

Знаходимо параметр \dot{a}/I .

Визначаємо теоретичне значення ε (див. таб. 18.1), яке порівнюємо з експериментальним (пункт б).

За допомогою (18.5) визначаємо критичну глибину

$$h_{ed} = \sqrt[3]{\alpha \cdot Q^2 / b^2 \cdot g}$$



За формулою (17.6) обчислюємо другу спряжену глибину стрибка, при цьому перша спряжена $h' = h_c$.

Порівнюючи h'' і h_i , переконуємося, що ті види витікання, які ми спостерігали в лотку, підтверджуються теоретично: при $h'' > h_i$ - вільне витікання і при $h'' < h_i$ - затоплене.

Для дослідних даних h_c і h_i за формулою (18.4) визначаємо теоретичне значення глибини за щитом h_z при затопленому витіканні.

У випадку затопленого витікання із формули (18.3) знаходимо дослідне значення коефіцієнта витрати.

$$\mu = \frac{Q}{a \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot (I_0 - h_z)}}, \text{ яке порівнюємо з довідниковим,}$$

тобто $\mu = \varepsilon \cdot \varphi$, де ε і φ - довідникові значення коефіцієнтів.



Контрольні запитання

1. Для яких цілей використовують затвори?
2. Яке витікання із-під щита називається вільним?
3. Яке витікання із-під щита називається затопленим?
4. Як визначається (привести формулу) витрата при вільному витіканні із-під щита?
5. Записати формулу для визначення стисненої глибини при вільному витіканні із-під щита?
6. За якою формулою визначається витрата щитового отвору при затопленому витіканні із-під щита?
7. За якою формулою визначається глибина за щитом у стисненому перерізі (h_z) при затопленому витіканні?
8. Чому виникає стиснений переріз в струмені при витіканні з під щита?



Дослідження гасіння енергії на спряжуючих спорудах

19.1. Загальні поняття

До спряжуючих споруд відносяться швидкотоки, консольні скиди, перепади і багатосходинкові перепади. Всі ці споруди проєктуються в місцях водотоків з різким падінням відміток поверхні землі.

З вище перерахованих спряжуючих споруд найбільш ефективні (в плані гасіння надлишкової енергії) є багатосходинкові перепади. На багатосходинкових перепадах гаситься 60-80% енергії потоку, яку він мав у верхньому б'єфі по відношенню до dna нижнього б'єфу.

Багатосходинковий перепад (як і кожна спрягаючи споруда) складається з таких основних частин: 1). Вхід; 2). Спряжуюча частина; 3). Вихід; 4). Рисберма. (рис. 13).

19.2. Склад розрахунку

1. Визначити коефіцієнт швидкості φ_n в перерізі з стисненою глибиною h_c на водобой нижнього б'єфу.
2. Визначити сумарні втрати енергії потоку на перепаді.

19.3. Експериментальна установка

Установка приводиться в робочий стан в такій же послідовності як це було описано в лабораторній роботі №12. дослідний лоток встановлюють в горизонтальне положення.

19.4. Проведення дослідів

1. Відкриваємо засувку 4 і добиваємось усталеного руху через модель.



2. Регулюванням глибини в нижньому б'єфі h_i добиваємося форми спряження б'єфів по типу насунутого гідравлічного стрибка, тобто $h'' = h_i$.

3. Тастером δ вимірюємо глибини h_n, h'', h_a .

4. Візьмемо тастером δ відмітку гребня входу і відмітку дна нижнього б'єфу, знаходимо загальний перепад P (див. рис. 14).

$$\bar{D} = \Delta\bar{A} - \Delta\bar{A}', \quad (19.1)$$

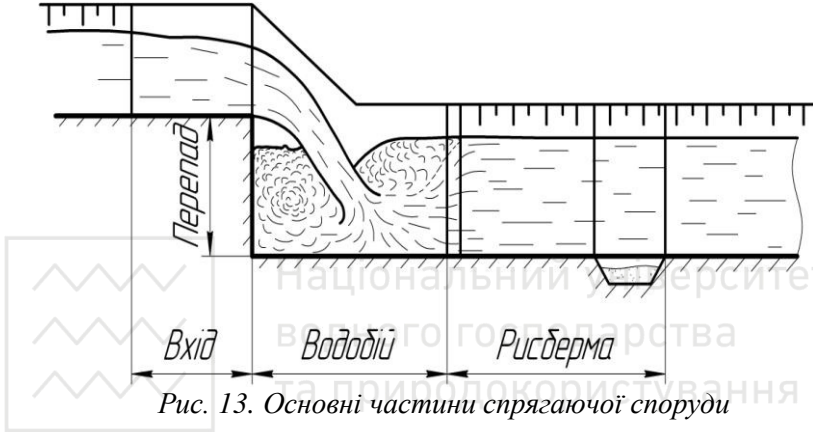


Рис. 13. Основні частини спрягаючої споруди

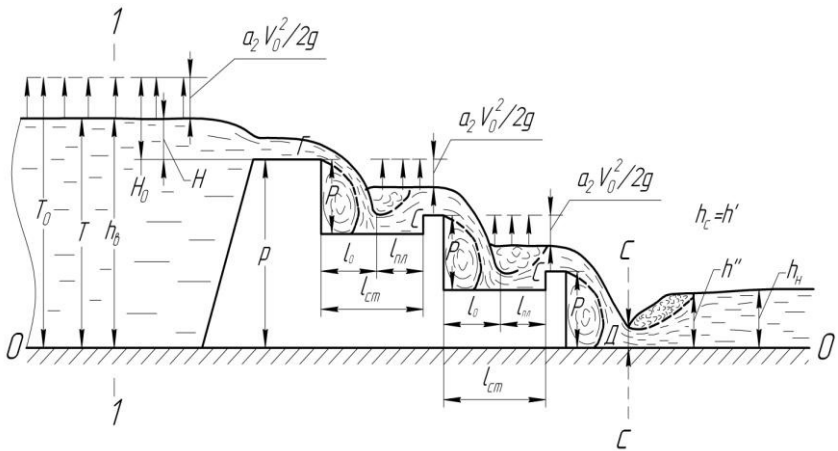


Рис. 14. Схема трьохсходинкового перепаду колодяного типу з однаковими стінками падіння



19.5. Обробка дослідів

1. Маючи напір на гребені мірного трикутного водозливу H_i і тарувальну таблицю, визначасмо витрату Q , $\left(\frac{\text{м}^3}{\text{с}}\right)$.
2. Обчислюємо критичну глибину потоку за формулою (18.5).
3. Знаходимо першу спряжену глибину стрибка

$$h' = 0,5 \cdot h'' \cdot \left(\sqrt{1 + 8 \cdot \left(\frac{h_{\text{зд}}}{h''} \right)^3} - 1 \right), \quad (19.2)$$

4. За формулою (18.6), при $\dot{I}_0 = \dot{O}_0$, вираховуємо коефіцієнт швидкості $\varphi_{\bar{n}0}$, при цьому

$$\dot{O}_0 = h_a + \frac{\alpha \cdot V_0^2}{2 \cdot g} = h_a + \frac{\alpha \cdot Q^2}{2 \cdot g \cdot (h_a \cdot b)^2}, \quad (19.3)$$

5. Вираховуємо повну питому енергію потоку в перерізі з глибиною h_c .

$$\dot{A}_{\bar{n}} = h_c + \frac{\alpha \cdot V_0^2}{2 \cdot g} = h_c + \frac{\alpha \cdot Q^2}{2 \cdot g \cdot (b \cdot h_c)^2}, \quad (19.4)$$

6. Знаходимо сумарні втрати енергії на багатосходиновому перепаді

$$\Delta \dot{A} = \dot{O}_0 - \dot{A}_{\bar{n}}, \quad (19.5)$$

7. Вираховуємо відносні втрати енергії $\Delta \dot{A}_{\%} = \frac{\Delta \dot{A}}{\dot{O}_0} \cdot 100\%$

8. Визначаємо коефіцієнт швидкості $\varphi_{\bar{n}}$ за формулою (4,5)

$$\varphi_{\bar{n}} = 0,456 - 0,009 \cdot n + (1,05 - 0,105 \cdot \sqrt{n}) \cdot \frac{h_{\text{е}}}{P}, \quad (19.6)$$

де n - кількість сходинок; P - висота перепаду.

9. Порівнюємо дослідний коефіцієнт швидкості φ_{c0} , з коефіцієнтом швидкості φ_c , який визначили за формулою (19.6).

$$\Delta \varphi_{\%} = \frac{\varphi_{\bar{n}0} - \varphi_{\bar{n}}}{\varphi_{\bar{n}}} \cdot 100\%.$$



1. Які споруди називаються спрягаючими?
2. Де будують спрягаючі споруди?
3. Яке призначення спрягаючих споруд?
4. Назвати основні частини багатосходинкових перепадів і бистротоків.
5. Назвати дільниці гасіння енергії на багатосходинкових перепадах.
6. Що дозволяє судити про достатність (не достатність) розмірів сходенок перепаду?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №20

Рух ґрунтових вод. Визначення коефіцієнтів фільтрації і проникнення ґрунтів

20.1. Загальні відомості

Розрізняють два види руху рідини в пористих середовищах: I – ламінарний і II – турбулентний. Ми будемо вивчати ламінарний рух води в пісках.

Для вивчення руху ґрунтових вод введемо деякі допущення:

- а) Фільтруючий шар ґрунту є однорідним, тобто він складається з маленьких однакових частинок;
- б) Рух води через пори, між частинками ґрунту, є рухом суцільного рідкого середовища. В цьому випадку при стаціонарному ламінарному режимі частинки рідини рухаються без переміщення і мають траєкторії, які співпадають з лініями течії.

Вперше результати досліджень руху води в пісках були узагальнені французьким вченим Дарсі.

Дарсі встановив (1856р.), що кількість рідини, яка фільтрується через піщане середовище, дорівнює

$$Q = \omega \cdot \hat{e} \cdot S, \quad (20.1)$$

або

$$V = \hat{e} \cdot S, \quad (20.2)$$



де Q - витрати, $V = \frac{Q}{\omega}$ - швидкість фільтрації, ω - площа поперечного перерізу фільтруючого шару, \hat{e} - коефіцієнт, який був названий коефіцієнтом фільтрації. Він має розмірність швидкості. 2 - гідравлічний похил.

$$^2 = \frac{\Delta \hat{l}}{\Delta L}, \quad (20.3)$$

$\Delta \hat{l}$ - втрати напору між перерізами 1-1 і 2-2, розташованими на віддалі ΔL (див. рис. 15.).

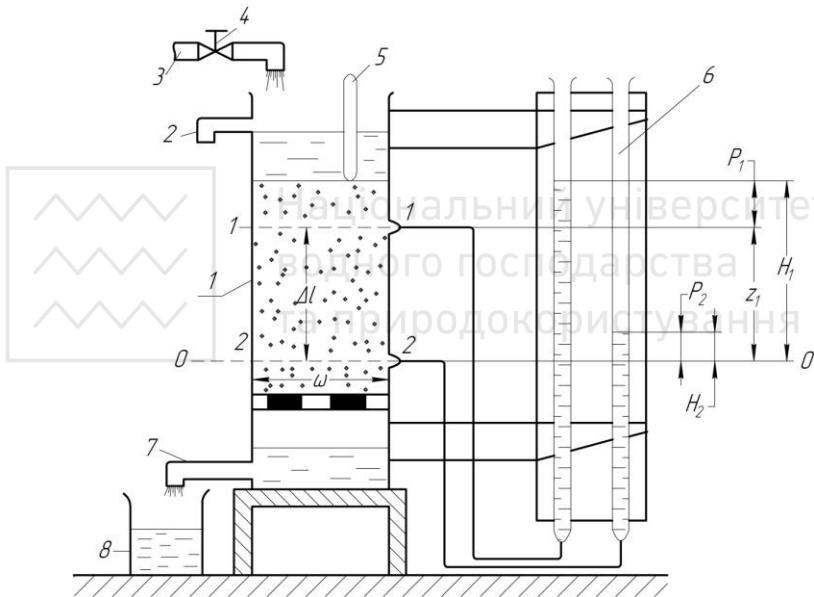


Рис. 15. Схема дослідної установки

Закон Дарсі в диференціальній формі можна записати так

$$V = -\hat{E} \frac{\Delta H}{\Delta l} = -\hat{E} \frac{dH}{dl} \quad (20.4)$$

Знак мінус перед правою частиною рівняння (20.4) означає, що градієнт напору $\frac{dH}{dl}$ є величиною від'ємною, тобто напір вздовж течії зменшується. Рухаючись через шар ґрунту (піску), рідина



зазнає значного опору. Внаслідок чого у фільтраційному потоці виникають великі втрати напору.

З рівняння Бернуллі, записаного по відношенню до площини порівняння 0-0 для перерізів 1-1 і 2-2 (рис. 15), отримаємо величину втрат на ділянці потоку довжиною Δl .

$$\Delta H = \left(z_1 + \frac{P_1}{\gamma}\right) - \left(z_2 + \frac{P_2}{\gamma}\right) + \frac{V_1^2 - V_2^2}{2 \cdot g}, \quad (20.5)$$

де P_1 і P_2 - тиск, відповідно, в перерізах 1-1 і 2-2.

z_1 і z_2 - потенціальна енергія положення частинок рідини, які проходять, відповідно, через перерізи 1-1 і 2-2.

У зв'язку із тим, що швидкості фільтрації незначні, величиною швидкісного напору можна знехтувати. Тоді втрати напору

$$\Delta H = \left(z_1 + \frac{P_1}{\gamma}\right) - \left(z_2 + \frac{P_2}{\gamma}\right), \quad (20.6)$$

або

$$\Delta H = H_1 - H_2, \quad (20.7)$$

де $H_1 = Z_1 + \frac{P_1}{\gamma}$, $H_2 = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma}$.

20.2. Коефіцієнт фільтрації і коефіцієнт проникнення

Коефіцієнт фільтрації залежить від фізико-механічних властивостей ґрунту і фізичних властивостей рідини.

З формули (20.1) можна отримати

$$\hat{E} = \frac{Q}{\omega \cdot I} = \frac{Q \cdot \Delta l}{\omega \cdot \Delta H}, \quad (20.8)$$

Коефіцієнт фільтрації K може бути виражений через коефіцієнт проникнення \hat{e} .

Проникність ґрунту – це властивість пропускати (фільтрувати) через себе рідину.

Враховуючи формулу (20.3), формула (20.2) може бути записана так:

$$V = \frac{K}{\gamma} \cdot \frac{\Delta z + \Delta P}{\Delta L} = \frac{K}{\gamma} \cdot \frac{\Delta(z + P)}{\Delta L}, \quad (20.9)$$



$$\Delta(z + P) = (z_1 + P_1) - (z_2 + P_2), \quad (20.10)$$

Якщо фільтраційний шар горизонтальний, тоді

$$V = \frac{K}{\gamma} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta l}, \quad (20.11)$$

де $\Delta P = P_1 - P_2$ - різниця тисків між перерізами 1-1 і 2-2.
Коефіцієнт проникнення дорівнює

$$k = \mu \cdot \frac{\hat{E}}{\gamma}, \quad (20.11)$$

20.3. *Склад роботи*

Визначити експериментальним шляхом коефіцієнт фільтрації піщаного ґрунту.

Визначити коефіцієнт проникнення піщаного ґрунту.

Оцінити точність дослідів.

20.4. *Дослідна установка*

Схема експериментальної установки приведена на *рис. 15*, де: 1 – колона з піском; 2 – зливна трубка; 3 – водовідвід; 4 – кран; 5 – термометр; 6 – щиток п'єзометрів; 7 – трубка для відводу фільтраційної води; 8 – мірна склянка.

20.5. *Підготовка дослідної установки*

Відкриваємо кран 4 на водопроводі 3. Необхідно слідкувати, щоб весь ґрунт в установці був змочений водою. В цьому випадку фільтруюча вода буде поступати через трубу 7 в мірну склянку 8. Дослід проводимо при усталеному русі, якого можна досягти підтримуючи постійний рівень води в колоні 7.

При цьому надлишкова кількість води скидається через трубку 2.

20.6. *Проведення та обробка дослідів*

Виконуємо 3-4 дослідів. Кожний дослід робимо в такій послідовності:



За допомогою мірної склянки Q визначаємо об'єм профільтрованої води за час t .

$$\text{Визначаємо фільтраційну витрату } Q = \frac{W}{t}.$$

$$\text{Визначаємо швидкість фільтрації } V = \frac{Q}{\omega}.$$

де ω - площа поперечного перерізу колони, яка заповнена водою.

За допомогою п'езометрів 6 визначаємо напори в перерізах $1-1$ і $2-2$.

За формулою (20.6) визначаємо втрати напору ΔH між перерізами $1-1$ і $2-2$.

Визначаємо коефіцієнт фільтрації

$$K = \frac{V}{I} = \frac{V \cdot \Delta l}{\Delta H},$$

Де Δl - віддаль між перерізами $1-1$ і $2-2$.

Визначаємо коефіцієнт проникнення

$$\kappa = K \cdot \frac{\mu}{\gamma},$$

де K - коефіцієнт фільтрації, i/\bar{n} , γ - об'ємна вага води, i/i_3 , μ - коефіцієнт динамічної в'язкості, (Пуаз).

Величину коефіцієнта динамічної в'язкості води визначаємо за табл.20.1.

Таблиця 20.1

$t^{\circ}C$	8	9	10	11	12	13	14	15
$\mu, \frac{i \cdot \bar{n}}{i^2}$	0,0013 8	0,0013 4	0,0013 0	0,0012 7	0,0012 3	0,0012 0	0,0011 7	0,0011 4

Визначаємо середнє значення коефіцієнта фільтрації

$$\bar{K} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{s=1}^{s=n} K_s$$



де n - кількість дослідів, K_i - коефіцієнт фільтрації окремих дослідів.

Визначаємо середньоквадратичне відхилення середнього значення коефіцієнта фільтрації

$$\sigma_{\bar{E}} = \sqrt{\sum_{s=1}^n \frac{(K_s - \bar{E})^2}{n \cdot (n-1)}}.$$

Контрольні запитання

1. Що таке фільтрація?
2. Які види руху рідини бувають в пористих середовищах?
3. Записати основний закон фільтрації.
4. Яка різниця між дійсною швидкістю руху рідини в пористому середовищі і швидкістю фільтрації?
5. Що називається коефіцієнтом фільтрації?
6. Що таке проникність пористого середовища і в яких одиницях її вимірюють?
7. Який зв'язок між коефіцієнтом фільтрації і коефіцієнтом проникнення?



РЕКОМЕНДОВАНА 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.
4. Справочник по гидравлическим расчетам / под ред. П. Г. Киселева. М. : Энергия, 1972. 432 с.
5. Справочник по гидравлике / под ред. Большакова В. А. К. : В. школа, 1984. 343 с.



СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

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.
4. Справочник по гидравлическим расчетам / под ред. П. Г. Киселева. М. : Энергия, 1972. 432 с.
5. Справочник по гидравлике / под ред. Большакова В. А. К. : В.школа, 1984. 343 с.