

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Збірник методичних вказівок до практичних занять «Розрахунки втрат і об'ємів поливної води, швидкості її руху та пропускної спроможності каналів і трубопроводів» з дисципліни «Експлуатаційна гідрометрія»**

**для студентів IV курсу гідрометеорологічного факультету спеціальність «Гідрологія та гідрохімія» спеціалізація «Економіко-правові основи використання водних ресурсів»**

**Затверджено  
на засіданні методичної комісії  
гідрометеорологічного інституту  
протокол № \_\_\_ від \_\_\_\_\_ 2010 р.**

**Одеса – 2010**

Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Експлуатаційна гідрометрія» для студентів IV курсу гідрометеорологічного інституту спеціальності «Гідрологія та гідрохімія», спеціалізації «Економіко-правові основи використання водних ресурсів» / Укладачі Кулібабін О.Г., Кічук Н.С. – Одеса:ОДЕКУ, 2010. – 40 с., укр. мова.

## Зміст

Вступ

Загальна частина

1. Основні теоретичні засади для виконання практичних занять

1.1 Гідрометричні пости на гідромеліоративних системах

1.2 Облік витрати води гідрометричним методом

1.3 Витрата води, виміряна млинком

1.4 Облік води спеціальними водомірними пристроями.  
Їхня класифікація

2.1 ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 1

Виконання вимірювань

при водообліку із застосуванням водомірних властивостей споруд перемінного напору (рівня) води

2.2 ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 2.

Виконання розрахунків

водообліку із застосуванням водомірних властивостей споруд перемінного напору (рівня) води.

2.3 ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 3.

Виконання розрахунків

обліку води на зрошувальних системах за допомогою водомірних лотків та трубчастого водовипуску

Література

## ВСТУП

**Мета методичних вказівок** - закріплення студентам денної форми навчання знань при вивченні теми «Гідравліка відкритих русел, каналів і трубопроводів»

У результаті вивченні теми «Гідравліка відкритих русел, каналів і трубопроводів» студент повинен отримати такі **знання**:

- поняття вимірювання витрат та втрат води з гідротехнічних споруд;
- розуміння елементів гідравлічних параметрів каналів і трубопроводів.

та **вміння**:

- виконувати розрахунки водообліку із застосуванням водомірних властивостей споруд перемінного напору (рівня) води.
- вимірювати витрати та втрати води на зрошувальних системах.

Згідно з програмою дисципліни «Експлуатаційна гідрометрія» на вивчення теми «Гідравліка відкритих русел, каналів і трубопроводів», що включає такі питання: засоби вимірювання витрат,гідрометричний млинок, обчислення витрат води гідрометричним млинком, розрахунки витрат води водозливами та насадками, вимірювання витрат води в каналах-лотках, відводиться 8 годин лекційних та 15 годин практичних занять.

Форма поточного контролю- модульні контрольні роботи,атестація; підсумкового контролю – залік.

## ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

Облік води - найважливіший організаційно-технічний захід експлуатаційної служби гідромеліоративних систем. На його основі виконується диспетчерське управління водозабором і водорозподілом на зрошувальних системах, регулювання водного режиму на осушуваних, а також спостереження і контроль за технічною експлуатацією окремих споруд і систем в цілому. Крім того, облік води необхідний і для вивчення меліоративного стану земель, вдосконалення меліоративних систем і підвищення їх ефективності.

В сучасних умовах організацію системи водообліку при зрошенні потрібно вести в таких напрямках:

- організувати кваліфіковану гідрометричну службу при управліннях зрошуваних систем, у перелік завдань якої входилиб технологічний водооблік для забезпечення міжгосподарського водорозподілу, комерційний водооблік для одержання від водокористувачів платні за подану воду,
- налагодити державний контроль за раціональним використанням води при зрошенні та метрологічний контроль пунктів водообліку за їхнім обладнанням;
- створити на великих магістральних каналах автоматизовані системи водообліку, якіб діяли за замкненим балансовим принципом і вирішували одночасно з обліком завдання міжсистемного оперативного водорозподілу;
- поширити системи обліку води на дренажно-скидний стік, атмосферні опади, ґрунтову вологу.

Позитивним зрушенням у водообліку можна вважати розроблену в Інституті гідротехніки і меліорації УААН і атестовану Украгростандартом методику обліку води за витратами електроенергії. Цю методику можна застосовувати на зрошувальних насосних станціях з метою технологічного і комерційного обліку.

# 1 СНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ ДЛЯ ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНИХ РОБІТ

## ОБЛІК ВОДИ НА ГІДРОМЕЛІОРАТИВНИХ СИСТЕМАХ

### 1.1 Гідрометричні пости на гідромеліоративних системах

Облік води на гідромеліоративних системах здійснюється на гідрометричних постах. Місцерозташування їх вибирають у створах, що забезпечують контроль водозабору або скиду, регулювання подачі води до різних точок системи. Створи повинні відповідати основним технічним вимогам, що ставляться до виконання гідрометричних робіт. Гідрометричні пости зрошувальних систем поділяються на такі групи (рис. 1.1).

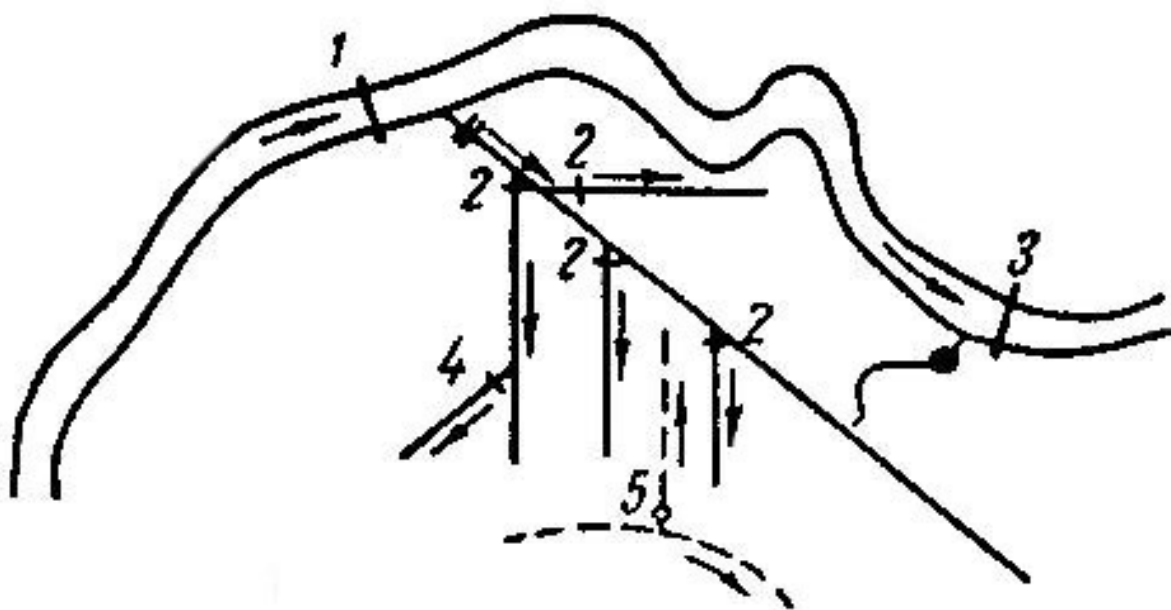


Рисунок 1.1 – Розташування гідрометричних постів на зрошувальній системі

1 – опорний пост; 2 – головні пости; 3 - балансові пости; 4 - пост у точці виділення води водокористувачеві; 5 – пост виділення на водоскидному каналі.

1) **Опорні пости** (1 на рис.1.1) використовуються для вивчення водоносності джерела зрошування в різні періоди року. Розташовують їх на вододжерелі вище за водозабірний вузол.

2) **Головні пости** (2, рис.1.1) використовуються для обліку води, що надходить у головні канали (магістральний і розподільники старшого порядку); їх встановлюють у голові каналів.

3) Балансові пости (3, рис.1.1) будують на вододжерелі нижче за місце впадіння в нього скидних каналів. Такі ж пости іноді встановлюють на головних каналах. Для обліку об'єму скидних вод на окремих ділянках балансові пости влаштовують і на скидній і на водозабірній мережі системи.

Облік води здійснюється і на внутрішньогосподарчій зрошувальній мережі. Для цього гідрометричними постами 4 обладнують всі точки виділення води водокористувачам, включаючи і водовипуски в тимчасові зрошувачі.

**Облік води на гідромеліоративних системах здійснюється:**

- 1) в руслі;
- 2) на наявних гідротехнічних спорудах з попереднім їх таруванням;
- 3) на спеціальних водомірних приладах.

Вибір методу обліку води залежить від місця знаходження пункту, величини витрати води, стійкості русла, впливу підпору з боку розташованих нижче споруд тощо.

У першу чергу слід використовувати гідротехнічні споруди, які після тарування можуть служити водомірними пристроями. Споруди підбирають найпростішої конструкції з постійним гідравлічним режимом роботи. Зручніше застосовувати споруди з вільним витокком.

При русловому методі обліку води слід звернути особливу увагу на вибір стійкої і безпідірної ділянки річки. Іноді створ доводиться розмішувати вище або нижче за бажаний пункт обліку. В цьому випадку необхідно перевірити, чи немає на цій ділянці (зміщення створу) припливу або скиду води. Русловий метод непридатний при малих глибинах і витратах води.

Спеціальні водомірні пристрої звичайно використовують на каналах міжгосподарської і внутрішньогосподарської мережі. На постійних каналах малої пропускної спроможності і на тимчасових зрошувачах набули поширення описані вище переносні водомірні пристрої.

**Для вибору того або іншого типу водомірного пристрою необхідно:**

- 1) забезпечити пропуск проектної витрати;
- 2) не порушувати нормального режиму потоку;
- 3) дотримувати водомірність за будь-яких умов роботи;
- 4) суміщати простоту конструкції водоміра з невисокою його вартістю;
- 5) за можливістю забезпечити безперервний облік і автоматизацію регулювання витрат.

Гідрометричні роботи (русловими методами), тарування споруд, обробку матеріалів спостережень, воднобалансові розрахунки і нагляд за станом постів і створів виконує гідрометричний персонал управліннь водного господарства.

З метою налагодження дієвого контролю за обсягами наданої та використаної поливної води в водогосподарських організаціях використовуються також такі сучасні засоби водообліку:

мікромлинки ГМЦ-90, прилади "Взльот-Прем'єр", прилади "ІРКА", прилад "Ехо" та ін.

Також щорічно складається план гідрометричних робіт, до якого входять:

- ремонт ГМ та ГЛ постів, ремонт колодязів під УЗР-В, ремонт водооблікових приладів;
- будівництво нових ГМ та ГЛ постів;
- монтаж та нівелювання гідрометричних рейок;
- наладка и технічне обслуговування водооблікових приладів;
- державна та відомча повірка водооблікових приладів;
- плани всіх вимірів (витрат води, ККД, тарировка каналів, продуктивність насосних агрегатів);
- оновлення паспортів гідрометричних та гідрологічних постів, точок водовиділу а також придбання нових приладів для роботи гідрометричних служб.

## 1.2 Облік витрати води гідрометричним методом

Величину стоку або витрати води визначають декількома методами, основні вимоги до яких - точність, надійність, простота обладнання приладів водообліку.

На кожній зрошувальній системі враховуватися і розподілятися вода повинна з урахуванням придатності методу для конкретних умов.

**Суть гідрометричного методу** полягає у визначенні витрати безпосередньо в руслі за вимірюваннями живого перерізу і середньої швидкості потоку.

Перелік робіт при русловому методі обліку складається з паралельних вимірювань у створі русла витрат і рівнів води для визначення залежності  $Q=f(H)$ , подальших контрольних вимірювань для уточнення й виправлення знайденої залежності. Отже, вимірювання витрати зводиться до визначення площі живого перерізу і швидкостей течії в різних його точках з подальшим визначенням середньої швидкості.

При вимірюванні витрати води весь комплекс робіт щодо організації гідрометричних спостережень складається з вибору ділянки каналу й організації на ньому постійного створу для вимірювань витрат води і спостережень за її рівнем. Ділянка каналу, на якому організують пост, повинна правильно відображати гідравлічний режим потоку й задовольняти такі вимоги:

- дно і укоси каналу повинні бути стійкими. Їх бажано зміцнити залізобетонними плитами або кам'яним вимощенням;
- не повинно бути впливу підпору на режим потоку, незалежно від причин його виникнення, оскільки останній може порушити зв'язок між витратами і рівнями води;
- ділянка повинна бути прямолінійною, завдовжки не менше за п'ятиразову ширину каналу по верху при найбільшому його наповненні;



- пост повинен бути обладнаний гідрометричним містком відповідних розмірів або гідрометричною люлькою на великих каналах;
- вибране місце постійного робочого створу закріплюють на обох берегах спеціальними реперами і переносять на них висотні позначки.

Найбільш прості за своїм обладнанням рейкові пости. Для спостереження за рівнями води використовують водомірні рейки, встановлювані в руслі каналу або в спеціально влаштованому місці з вільним до них доступом (береговий колодязь), де рівень води однаковий з рівнем потоку в каналі. Їх виготовляють металевими, дерев'яними, залізобетонними і пластмасовими з ціною поділки 2 см.

Похилі рейки встановлюють на ділянках каналів, що мають штучне кріплення. Ці рейки розмічають на поділки, які дорівнюють:

$$\frac{2}{\sin \alpha}, \quad (1.1)$$

де  $\alpha$  - кут нахилу рейки до горизонту. В цьому випадку ціна поділки похилої рейки відповідає 2 см вертикальної рейки.

Для **вимірювання** швидкостей течії води по перерізу потоку необхідно одержати по кожній вертикалі питому витрату, що визначається добутком середньої швидкості по вертикалі на її глибину.

Глибину на вертикалі і відстань визначають відповідними вимірюваннями, а середні швидкості на вертикалі - вимірюванням швидкостей у декількох характерних точках.

У експлуатаційній гідрометрії середня швидкість на вертикалі може бути визначена двоточковим методом, який потребує при вимірюванні витрат води якнайменших витрат часу:

$$V_{cp} = \frac{V_{0.2h} + V_{0.8h}}{2}. \quad (1.2)$$

При двоточковому способі швидкості вимірюють на 0.2 і 0.8 h. Середня швидкість розраховується як середнє арифметичне цих швидкостей. Практика показала, що точність вимірювань, або можлива помилка не перевищує  $\pm 2\%$ .

Під час вимірювання швидкості в одній точці середня швидкість визначається як

$$V_{сер} = V_{0.5h}. \quad (1.3)$$

Імовірність похибки визначення середньої швидкості при цьому методі не перевищує  $\pm 3-4\%$ . При визначенні середньої швидкості за поверхневою швидкістю потоку необхідно користуватися поправковими коефіцієнтами K:

$$V_{сер} = KV_{нов} \cdot \quad (1.4)$$

Багатьма вимірюваннями в експлуатаційній практиці було встановлено, що коефіцієнт К коливається від 0.75 до 0.95 і досить стійкі значення має в межах від 0.82 до 0.88, а отже, на практиці його слід брати рівним 0.85, і середня швидкість на вертикалі для каналів в земляному руслі дорівнює:

$$V_{сер} = 0.85V_{нов} \cdot \quad (1.5)$$

Для вимірювання швидкості течії води використовують: поплавці різних конструкцій, гідрометричні млинки, гідрометричні трубки, засновані на зв'язку між швидкістю потоку і гідродинамічним тиском, гідродинамічні флюгери, гідродинамічні динамометри, побудовані на залежності швидкості від степені згину тензометричної пружини під впливом динамічного тиску, ультразвукові вимірники швидкості і радіоактивні вимірники швидкості із застосуванням різних ізотопів.

Основним приладом для визначення швидкостей течії в різних точках живого перерізу потоку в експлуатаційній гідрометрії в польових умовах на зрошувальних каналах є гідрометричний млинок - найточніший вимірювальний прилад.

Типи й конструкції гідрометричних млиноків різні. Млинок складається з ходової частини з лопатевим гвинтом і контактним механізмом, корпусу млинка, стабілізатора напряму й сигнального пристрою.

Найбільш надійні і зручні в роботі в різних умовах млинки системи Н.Є.Жестовського і П.Н.Бурцева.

Гідрометричні млинки ГР-21 і ГР-21М - це вдосконалені млинки Н.Є.Жестовського. Вони придатні для вимірювання швидкості течії води водотоку в діапазонах від 0.15 до 5.0 м/с. Точніші показання спостерігаються при швидкостях від 0.2 до 2.0 м/с. Похибка вимірювань швидкостей при цьому складає  $\pm 2\%$ . При інших діапазонах швидкостей ця похибка збільшується до  $\pm 4-6\%$ .

Млинки ГР-21 і ГР-21М надійні в роботі і стійкі до спрацювання. Але їхні лопатеві гвинти мають значні моменти інерції, тому вони мало придатні для вимірювання швидкостей в потоках з великою турбулентністю.

Гідрометричний млинок ГР-55 за конструкцією схожий з вертушкою ГР-21, але за рахунок малого розміру лопатевого гвинта значно менший за млинок ГР-21 і називається малогабаритним. Його застосовують при малих глибинах потоку.

Гідрометричний млинок ГР-11М системи П.Н.Бурцева істотно відрізняється від описаних вище. Лопатевий гвинт млинка має малий момент інерції, що дозволяє застосовувати його в потоках з великою турбулентністю. Замикання контактів через один оберт гвинта й можливість запису на стрічці хронографа дозволяють використовувати його для вивчення пульсації швидкості.

Кожен млинок після циклу вимірювань слід очистити, витерти насухо й упакувати в ящик.

Правильність показань млинка багато в чому залежить від ретельного догляду за ним як під час роботи, перевезення, зберігання, так і від своєчасного тарування. Навіть новітні типи млиноків, на яких проведено більше ніж 10 вимірювань витрат з невеликою каламутністю незалежно від їхнього стану, відправляють на тарування.

Для обчислення швидкостей течії води при вимірюванні їх гідрометричним млинком необхідно знати залежність між кількістю обертів лопатей  $n$  і швидкістю води в каналі. Для кожного млинка ця залежність різна й записується у вигляді графіка залежності, в свідочстві про тарування, яке додається до млинка.

Для зручності користування графіком для кожного млинка складають тарувальні таблиці (рис. 1.2).

Порядок складання тарувальних таблиць наступний: у першому вертикальному стовпці таблиці дають значення кількості обертів  $n$  з точністю до десятих часток, а у верхньому рядку - величину  $n$  з точністю до сотих. У тарувальну таблицю спочатку вписують початкову швидкість млинка, яку знімають безпосередньо з графіка і вписують на перетині першого рядка і першого стовпця таблиці. Для визначення малих значень швидкості служить нижня ділянка графіка, побудована в збільшеному масштабі. Цю ділянку залежно від крутизни кривої розбивають ординатами на таку кількість відрізків, щоб їх можна було взяти як відрізки прямої. В точках перетину ординат з графіком, тобто на межах відрізків, знімають безпосередньо значення швидкості і вписують у відповідну клітинку таблиці, а проміжні значення швидкості обчислюють за інтерполяцією через соту частину оберту.

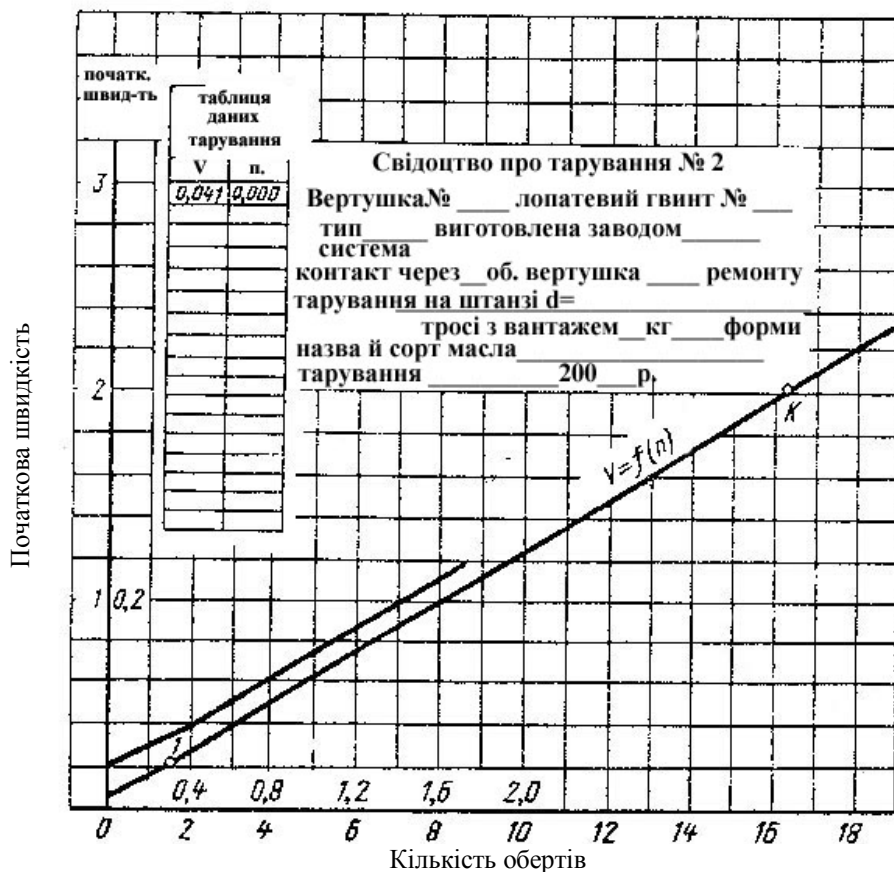


Рисунок 1.2 – Тарувальна таблиця млинка

Значення швидкості, що виходить за межі ділянки графіка збільшеного масштабу, визначають з урахуванням прямої, побудованої в дрібнішому масштабі. Для цього безпосередньо на графіку прямої вибирають дві точки: одну якнайближче до її верхнього кінця, а другу внизу, там, де пряма лінія переходить в криву. Потім знаходять значення  $V$  і  $n$  для цих точок. Після цього обчислюють середні прирости швидкості, які відповідають приросту кількості обертів на 0.01 за рівнянням:

$$\Delta V = \frac{V_k - V_1}{n_k - n_1} 0.01, \quad (1.6)$$

де  $n_k, V_k$  - значення кількості обертів і швидкості для верхньої точки;  $n_1, V_1$  - значення кількості обертів і швидкості для нижньої точки.

Перше значення  $V_k$  для прямої беруть таким, яким воно вийшло для нижньої точки. Наступне значення швидкості (через 0.01) одержують послідовним підсумовуванням. Остаточні значення  $V$  округлюють до трьох знаків після коми, якщо  $V < 1.0$  м/с, і двох знаків, якщо  $V \geq 1.0$  м/с.

Обчислені значення швидкості перевіряють на вибірку за графіком через 0.5 оберта.

Після організації й обладнання гідрометричних постів, а також після перевірки готовності до обліку води розпочинають періодичні вимірювання витрат води на посту для визначення залежності між  $Q$  і  $H$  і для щоденного спостереження за рівнями води.

Швидкість течії вимірюють у точках на вибраних швидкісних вертикалях, кількість яких визначають залежно від ширини каналу й глибини води в ньому. В практиці експлуатаційної гідрометрії найбільш оптимальною кількістю вертикалей для зрошувальних каналів є така:

при ширині каналу менше 5 м	глибині менше 1 м - 3
при ширині каналу 5 - 10 м	глибині більше 1 м - 5
при ширині каналу 5 - 10 м	глибині менше 1 м - 7
при ширині каналу 5 - 10 м	глибині більше 1 м - 7
при ширині каналу 10 - 20 м	глибині менше 1 м - 9
при ширині каналу більше 20 м	глибині більше 2 м - 10

Середня вертикаль розташовується по осі каналу. Відстані між іншими швидкісними вертикалями, як правило, повинні бути рівними між собою. При чотирьох і більше вертикалях дві вертикалі повинні обов'язково розташовуватися біля підосви укосів (трапецеїдального перерізу каналу).

Якщо необхідно уточнити величину витрати в створі або при роботах, пов'язаних із детальним вивченням розподілу швидкостей по вертикалі, застосовують багатоточковий або триточковий спосіб вимірювання швидкості. При багатоточковому способі при абсолютно вільному руслі беруть точки на вертикалі 0.2; 0.6; 0.8  $h$  (поверхня; дно).

При триточковому способі (русло, що заросло травою) приймають точки 0.15, 0.5, 0.85 $h$ ; при вільному руслі – 0.2, 0.6, 0.8 $h$ .

Тривалість знаходження вертушки в кожній точці визначають такими правилами:

- при надходженні чотирьох і більше сигналів з хорошою пульсацією можна припиняти вимірювання через 100- 120 с;
- якщо протягом 100-120 с надійшов лише один сигнал, то при нормальній пульсації спостереження продовжують до четвертого сигналу;
- при більш рідкісному надходженні сигналів або при поганій пульсації в графі хронометражу записують «початкова швидкість».

Пульсація вважається нормальною, якщо при чіткій кількості сигналів час першої його половини відрізняється від часу другої не більше ніж на 10%. Секундомір вмикають не відразу, а пропустивши два-три перші сигнали.

Після вимірювання швидкостей течії води розпочинають обробку польових даних. Витрати води можна визначити аналітичним, графічним і графоаналітичним способами. У практиці експлуатаційної гідрометрії застосовують в основному аналітичний, як найпростіший і менше тривалий.

При ідеальному розподілі швидкостей течії в потоці він дає задовільну точність.

### 1.3 Витрата води, виміряна млинком

Витрату води, виміряну млинком, обчислюють у певній послідовності. Для кожної точки вимірювань на вертикалі за раніше одержаними польовими даними кількості обертів лопатей вертушки  $N$  і тривалості спостережень  $T$  обчислюють кількість обертів лопатей за 1 с:

$$n = \frac{N}{T}. \quad (1.7)$$

Величину  $n$  обчислюють з точністю до 0.01 оберта. За кількістю обертів у даній точці за таблицею визначають швидкість течії. Середню швидкість течії на швидкісній вертикалі розраховують за загальновідомими формулами. Підсумовуючи часткові витрати, обчислюють загальну витрату в створі:

$$Q = kV_1\omega_1 + \frac{V_1 + V_2}{2}\omega_2 + \dots + \frac{V_{n-1} + V_n}{2}\omega_n + kV_n\omega_{n+1}, \quad (1.8)$$

где  $V_1, V_2, \dots, V_n$  - середні швидкості на вертикалях;

$\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$  - площі водного перерізу між вертикалями;

$k$  - коефіцієнт для швидкостей на прибережних вертикалях, що приймається рівним 0.7 при пологому березі, 0.8 - при обривистому, 0.9 - при гладкій бетонній стінці.

При стійкому руслі з незмінною шорсткістю і рівномірному режимі витрата є функцією напору. У звичних умовах взаємозв'язок між  $Q$  і  $H$  лише наближається до того або іншого ступеня строгої математичної залежності. На руслах, що проходять у природних ґрунтах, стійких ідеальних ділянок не буває. Навіть при розташуванні створу на такій ділянці зв'язок між  $Q$  і  $H$  може впливати нестійкість режиму нижче за ділянку і вплив змінного ухилу.

Під час побудови кривих витрат у перші дні роботи каналу, як правило, проводять не менше п'яти-семи вимірювань витрат при рівнях від мінімального до максимального в термін  $k$  від п'яти до десяти днів.

Протягом зрошувального сезону проводять контрольні вимірювання витрат для перевірки одержаної в перші дні роботи каналу залежності. Частота контрольних вимірювань залежить від ступеня деформації русла каналу. За наявності стійкого русла ці вимірювання проводять один раз за декаду. У земляних каналах з явними процесами деформації і зарослих руслах контрольні вимірювання витрат необхідно проводити два-три рази за декаду.

Для побудови кривої залежності, що встановлює зв'язок між витратами й рівнями води, звичайно користуються графічним способом, причому за вісь рівнів приймають вертикальну вісь, за вісь витрат - горизонтальну. Масштаб рівнів повинен відповідати масштабу витрат так, щоб крива витрат мала нахил до осей під кутом у межах  $45^\circ$ .

Для подальшого аналізу виміряних витрат у взаємозв'язку з іншими гідравлічними характеристиками будують три кривих (рис.1.3): криву витрат води  $Q=f(H)$ , криву площ поперечних перерізів  $F=f(H)$  і криву середніх швидкостей  $V_{cp}=f(H)$ .

Залежність середньої швидкості  $V_{cp}$  менш визначена, оскільки на величину швидкості впливає шорсткість русла, поздовжній ухил водної поверхні й гідравлічний радіус.

Русловий метод обліку води на зрошувальних каналах при загальній схемі організації спостережень, як зазначалося вище, передбачає стійку ділянку русла відносно її геометричних форм, постійність висотного положення, постійність закладень укосів і уклону, збереження однорідності коефіцієнта шорсткості.

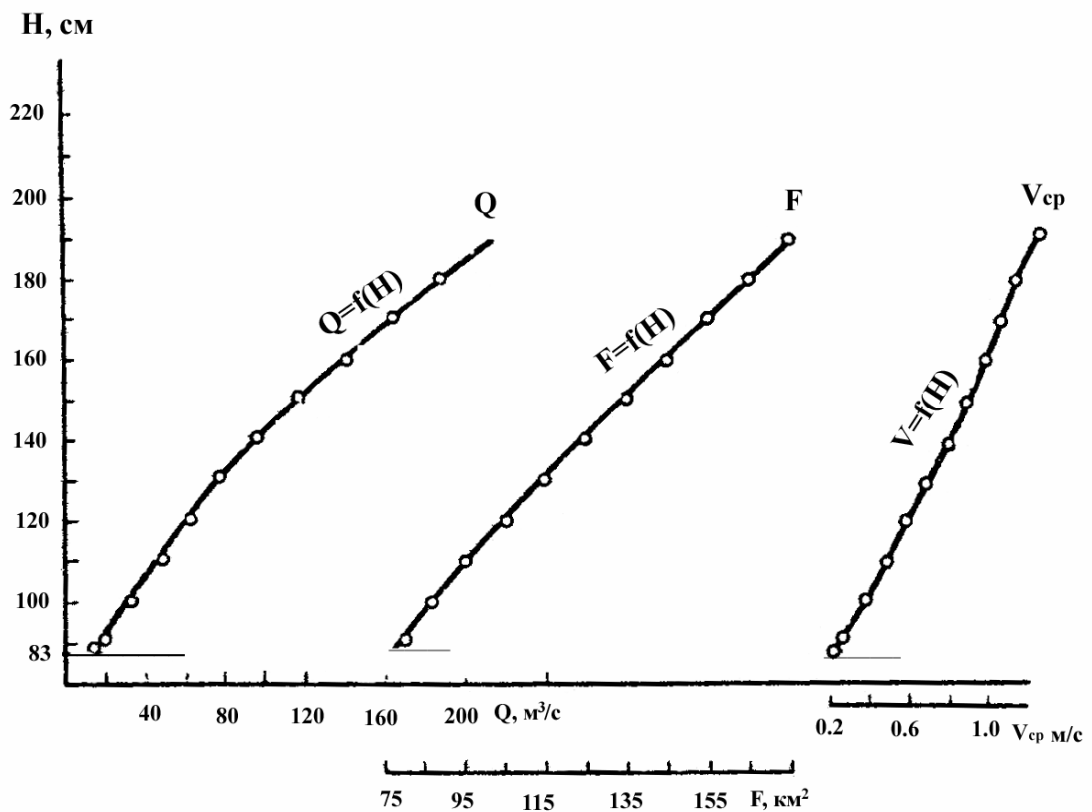


Рисунок 1.3 – Криві залежностей  $Q=f(H)$ ,  $F=f(H)$  і  $V_{cp}=f(H)$ .

## 1.4 Облік води спеціальними водомірними пристроями. Їхня класифікація

Водомірні пристрої за своїм призначенням поділяють на три основні групи:

- 1) споруди тільки для обліку води,
- 2) водоміри-водовипуски для обліку води і її регулювання,
- 3) водоміри-автомати, що пропускають визначену, наперед задану витрату води.

Різні водоміри і в конструктивному відношенні - водозливи, насадки, лотки тощо.

Значного поширення набули водозливи в тонкій стінці (водозливи з гострими ребрами). За формою вирізу отворів водозливи бувають: трапецеїдальні, трикутні і прямокутні.

**Трапецеїдальний водозлив (Чиполетті)** має виріз, що звужується донизу, з нахилом бічних сторін 1:1/4 (рис.1.4). Витрата води крізь водозлив з шириною порогу, що дорівнює (3-4) Н, при напорі  $H = 0.05-1.0$  м і за відсутності швидкості підходу, визначають за формулою:

$$Q = 1.86bH^{2/3}, \quad (1.9)$$

де  $Q$ - витрата,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$b$  - ширина порогу, м;

$H$  - висота шару (напір), що переливається, виміряна перед водозливом поза кривою спаду струменя, м.

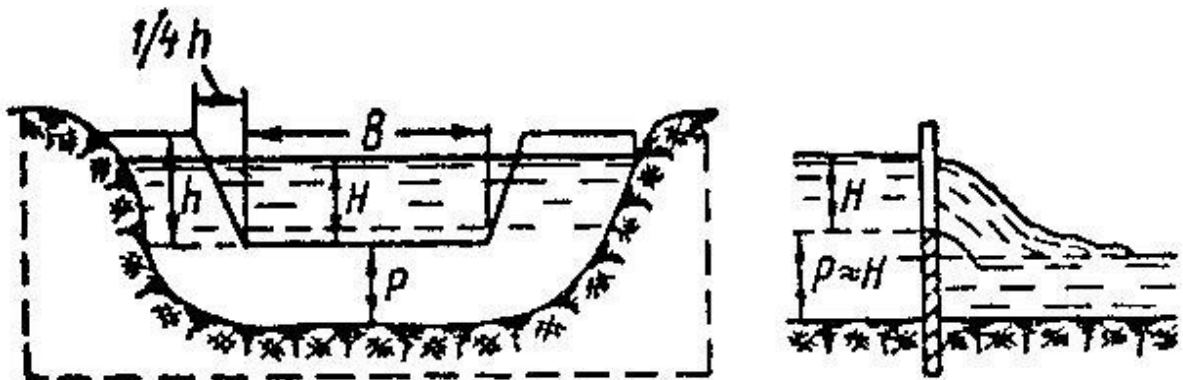


Рисунок 1.4 – Схема трапецеїдального водозливу

При  $b = 1.0$  м

$$q = 1.86H^{3/2}, \quad (1.10)$$

Трапецеїдальний водозлив можна використовувати як точний прилад, якщо дотримуються наступні умови:



- відстань  $p$  від порогу до дна і бічних граней (до укосів каналу) повинна бути не меншою за максимально можливий шар води, що переливається;
- поріг водозливу не повинен бути підтоплений знизу, тобто поріг повинен розташовуватися вище за рівень у нижньому б'єфі;
- висота шару води, що переливається, повинна бути в межах від 1/10 до 1/3 ширини порогу;
- ширина порогу повинна бути в межах 0.2-1.5 м. При більшій ширині водозлив потрібно тарувати.

Трапецеїдальний водозлив будують з металевого листа з ребрами жорсткості з кутика або швелера. Можна його збудувати й із дерев'яного щита. В останньому випадку кромку вирізу загострюють одностороннім зрізом зі сторони нижнього б'єфа. Кромку отвору дерев'яного щита закріплюють листовим залізом зі сторони верхнього б'єфа. Поріг водозливу встановлюють горизонтально за допомогою рівня або нівеліра. Рейку (для відліку напору) прикріплюють з боку верхнього б'єфа на кілочок, спеціально для цього забитий у ґрунт, або безпосередньо на щиті. Нуль рейки повинен бути на одному рівні з порогом водозливу.

Водозлив розташовують нормально до потоку і чітко прямовисно. Вісь вирізу водозливу повинна співпадати з віссю потоку.

Описаний водомір має високу точність. Імовірна помилка вимірювання витрати  $\pm 2\%$ . Водозлив застосовують для вимірювання витрат не більше 650 л/с.

**Трапецеїдальний водозлив з вирізом, що звужується донизу, і нахилом бічних сторін 1:1 (конструкція А.І.Іванова)** може працювати при вільному і затопленому витіканні витрат від 5.2 до 7.35 м<sup>3</sup>/с. Ширину порогу приймають від 0.25 до 3 м. Напір води над порогом водозливу не повинен перевищувати  $0.33b$ , де  $b$  - ширина порогу водозливу.

Витрати води визначають для водозливу:

а) незатопленого

$$Q = 1000\mu b H^{3/2}, \text{ л/с} \quad (1.11)$$

де  $H$  - висота шару води (напір) у верхньому б'єфі над порогом водозливу,  $b$  - ширина порогу, м:

$$\mu = 1.86 \frac{b + H}{b + 0.25H}, \quad (1.12)$$

б) затопленого

$$Q_3 = Q - q, \quad (1.13)$$

де  $Q$ - витрата води крізь незатоплений водозлив за формулою (3.18);  
 $q$  - витрата води, на яку зменшується пропускна здатність водозливу при його підтопленні з боку нижнього б'єфа:

$$q = 0.67bh^{1.585}, \quad (1.14)$$

де  $h$  - висота шару води в нижньому б'єфі над порогом водозливу (см); причому  $h/H$  не повинно перевищувати 0.8.

Помилка вимірювання водозливом Іванова складає  $\pm 3\%$ .

**Трикутний водозлив (Томсона)** призначений для вимірювання малих витрат води. Умови його роботи аналогічні до роботи трапецеїдального водозливу.

Найчастіше застосовують трикутний водозлив з прямим кутом біля вершини, тобто  $\alpha = 90^\circ$  (рис. 3.5). Розрахункова формула має вигляд:

$$Q = 1.4H^{5/2}. \quad (1.15)$$

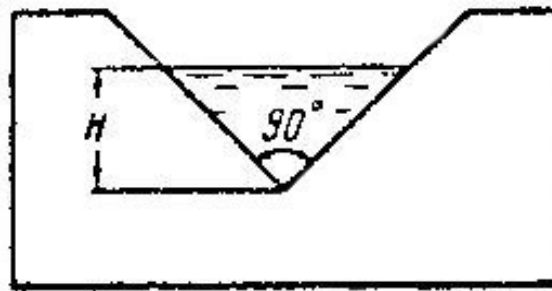


Рисунок 1.5 – Схема трикутного водозливу

Величина напору  $H$  повинна бути не меншою 0.05 м. Імовірна похибка вимірювання витрати води трикутним водозливом з прямим кутом біля вершини не більше 2%.

Трикутний водозлив без бічного стиснення має поріг на всю ширину каналу. Поріг водозливу підвищується над дном каналу не менше за найбільшу величину напору, а при малих напорах - не менше 0.2 м.

Витрату води визначають за загальною витратною формулою:

$$Q = m_0 b \sqrt{2gH^{3/2}}, \quad (1.16)$$

де  $m_0$  - коефіцієнт витрати водозливу з урахуванням швидкості підходу.

**Водомірні насадки** мають меншу точність вимірювання води (помилка  $\pm 3\%$ ) порівняно з водозливами. Але вони створюють менший підпір води. Цей водомірний пристрій складається із стінки, що перегороджує русло каналу, і насадки, що сходиться в ній, закріпленій у отворі. Поперечний переріз насадки може бути круглим, квадратним або прямокутним (рис. 1.5).

Насадки працюють як водоміри за дотримання наступних умов:

- розташування щита - перпендикулярно до осі потоку;
- отвір насадки з боку нижнього б'єфа над рівнем води не менше 5 см;
- пропускна здатність насадки повинна відповідати пропускній здатності каналу, забезпечуючи затоплення насадки і напір не вище 0.3 м..

витратні формули для різних типів перерізу насадок:  
круглого:

$$Q = 3.2d^2 \sqrt{z}, \quad (1.17)$$

прямокутного

$$Q = 4.1ab\sqrt{z}, \quad (1.18)$$

квадратного

$$Q = 4.1a^2 \sqrt{z}, \quad (1.19)$$

де  $z$  – різниця рівнів верхнього і нижнього б'єфів;  
 $d$ ,  $a$ ,  $b$ , - показані на рис.1.6.

Спостереження проводять по двох рейках, встановлених з боку верхнього і нижнього б'єфів. За нуль рейок приймають вісь насадки.

**Водомірні лотки** широко використовуються для обліку води на зрошувальних системах і невеликих природних водотоках (у балках і ярах). Лотки складаються (рис.1.7) з приймального і відвідного розтрубів і горловини. Приймальний розтруб звужується у бік руху води. Дно в приймальному розтрубі горизонтальне. Дно горловини з ухилом 0.375 у бік течії води. Дно відвідного розтруба має зворотний ухил 1: 6.

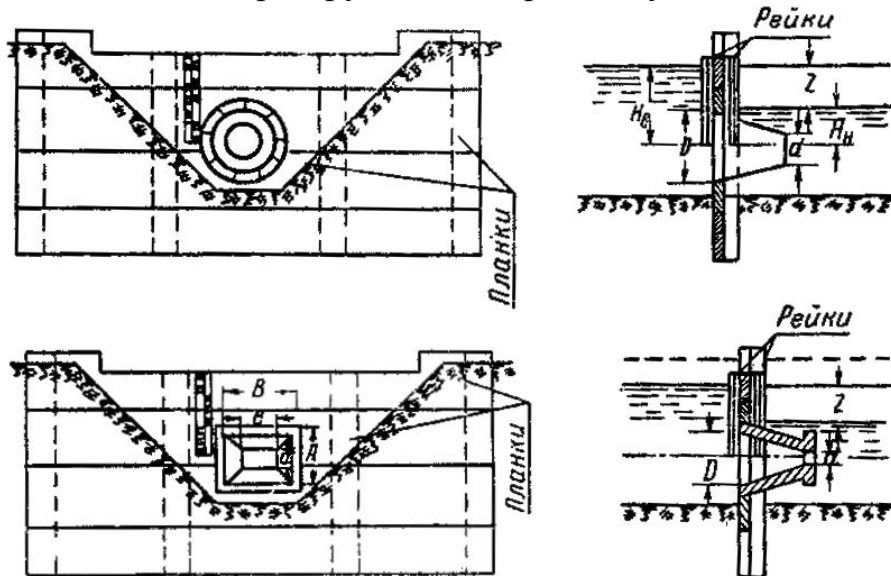


Рисунок 1.6 – Насадки – водоміри

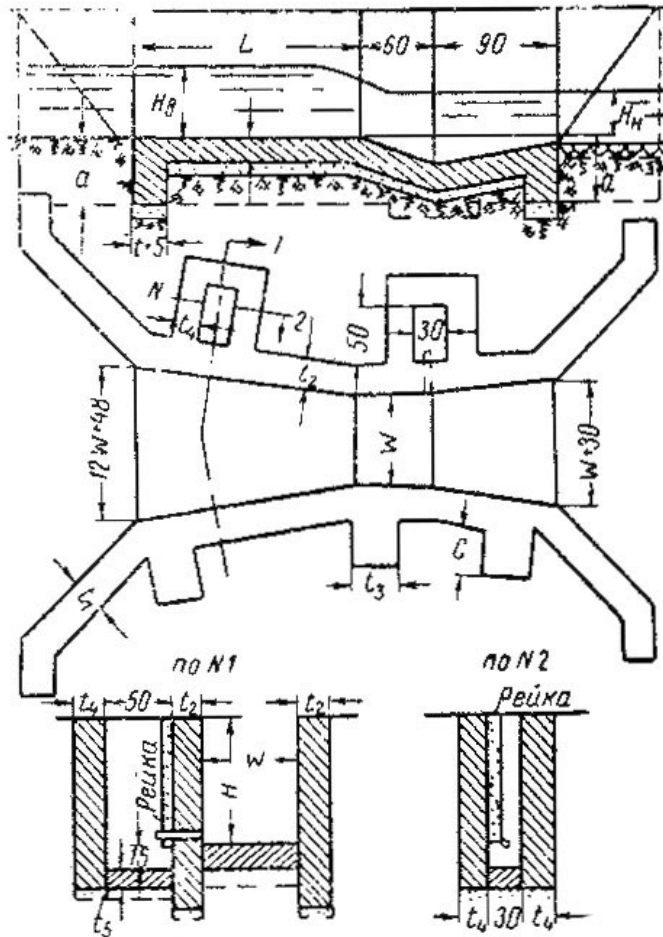


Рисунок 1.7 – Бетонний водомір – лоток  
вгорі – поздовжній розріз; внизу – план

Бічні стінки лотків виконують вертикальними. Стандартними лотками можна вимірювати витрати води від 0.006 до 6.99 м<sup>3</sup>/с.

Спостереження за рівнями верхнього і нижнього б'єфів проводять у спеціально влаштованих колодязях, які з'єднуються з лотком трубами, закладеними в стіні. Колодязі розташовані: у приймальному розтрубі на відстані 2/3 від початку горловини або на відстані 5 см від початку вихідного розтруба у бік горловини. Нуль рейок встановлюють на рівні порога.

Якість лотка полягає в тому, що ним можна визначати витрату як при вільному витіканні, так і в умовах затоплення. Вільне витікання

буває за умови  $k = \frac{H_n}{H_b} < 0.7$ , де  $H_n$  і  $H_b$  - напори з боку верхнього і нижнього

б'єфів. При вільному витіканні витрату визначають за наступною формулою:

$$Q_b = 0.372\omega \left( \frac{H_b}{0.305} \right)^S, \text{ м}^3/\text{с} \quad (1.20)$$

де  $\omega$  - ширина горловини, м.

Значення  $s$  наведені в таблиці 1.1 залежно від величини  $\omega$ . Якщо лоток затоплений, тобто  $k = \frac{H_H}{H_B} > 0.7$ , то

$$Q_{\text{зат}} = Q_B - C, \quad (1.21)$$

де  $Q_B$  - витрата при вільному витіканні,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  
 $C$  - поправка на затоплення ( $\text{м}^3/\text{с}$ ), залежить від  $H_B$  і  $k$ ;

$k = \frac{H_H}{H_B}$  - ступінь затоплення струменя.

При затопленні до  $> 0.95$  точність обліку води різко зменшується.

Ширина горловини стандартизована в межах від 0.25 до 3.00 м через кожні 0.25 м. Для полегшення розрахунку витрат води складені спеціальні таблиці, які охоплюють всі стандартні типи лотків з вільним витіканням і в умовах затоплення.

Таблиця 1.1 – Значення параметра  $s$  у формулі (1.20)  
 залежно від  $\omega$

$\omega$ , м	0.25	0.50	1.00	1.50	2.00	3.00
$s$	1.444	1.505	1.569	1.607	1.635	1.677

**Водомірні щитоподібні водовипуски** відносять до регулюючих споруд, що одночасно забезпечують облік води. Прикладом може бути водовипуск (СБ-47), запропонований М.Б.Бутиріним (рис.1.8). Його встановлюють у головах розподільної мережі і на господарських водовиділах при витратах 1.5-2.0  $\text{м}^3/\text{с}$  і рекомендують до роботи тільки при витіканні з-під щита. Коефіцієнт витрати близький до одиниці. Тому в розрахункових формулах витрати вказаний коефіцієнт відсутній.

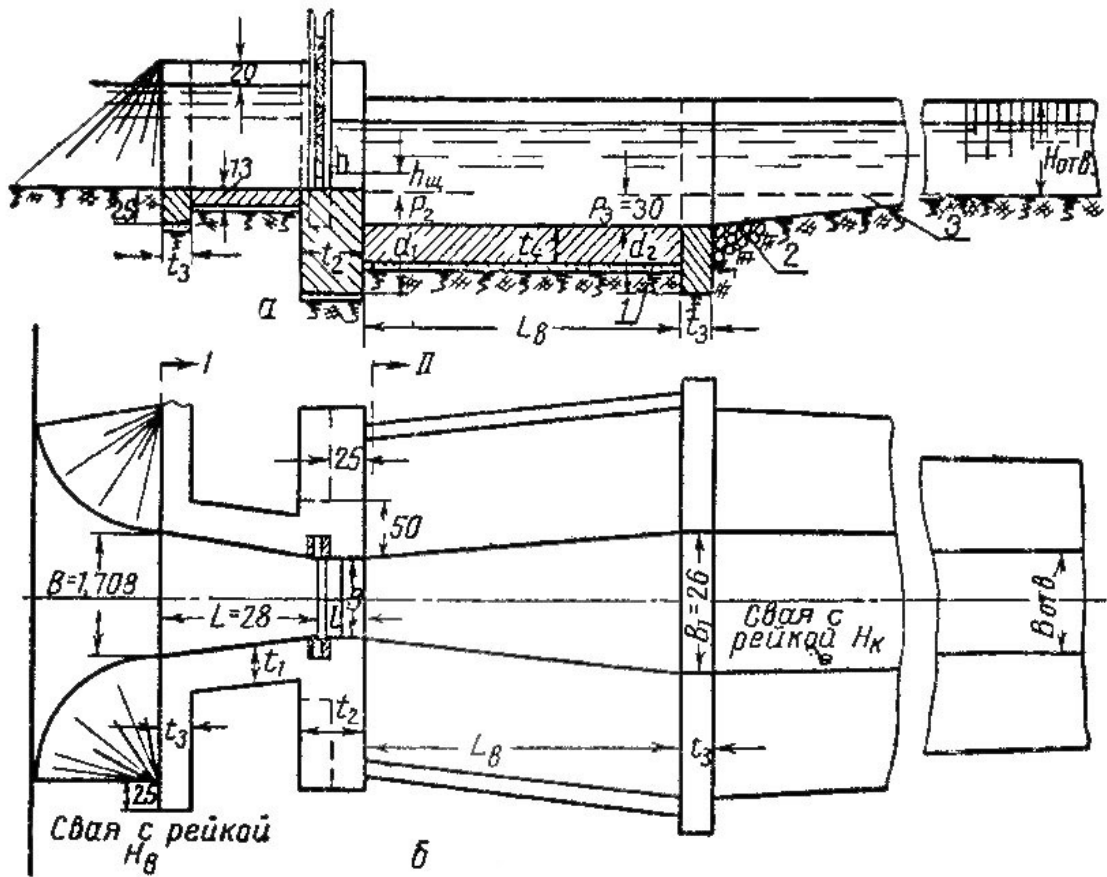


Рисунок 1.8 – Водомір-водовипуск (С-47)  
 а – поздовжній розріз; б – план; 1 – гравійна підготовка;  
 2 - зворотний уклон; 3 – дно відводу

Витратні формули мають наступний вигляд:

а) при вільному витіканні

$$Q = bh_{щ} \sqrt{2g(H_в - h_{щ})}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (1.22)$$

б) в умовах затоплення

$$Q = bh_{щ} \sqrt{2g(H_в - H_н)}, \quad (1.23)$$

де  $b$  - ширина щитового отвору, м;

$h_{щ}$  - висота відкриття щита, м;

$H_в$  - відлік по верхній рейці, м;

$H_н$  - відлік по нижній рейці, м

Нулі рейок встановлюють на рівні порогу водозливу. Тут ведуться спостереження за рівнями верхнього і нижнього б'єфів і висотою підняття щита.

## 2. ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 1

### Виконання вимірювань при водообліку із застосуванням водомірних властивостей споруд перемінного напору (рівня) води

Вимірювання проводяться при облікових операціях з визначенням об'єму води, поданої юридичним і фізичним особам із зрошувальних каналів, у гідрометричних створах транзитних ділянок руслу, обладнаних трапецеїдальними водозливами Чиполетті та Іванова, трикутним водозливом Томсона, водомірним порогом та у відсутності підпірних явищ, на полив зрошуваних або зволоження осушених земель, промислові і комунальні потреби, для поливу городів, садів і богарних земель.

Необхідно враховувати те, що водозливи та пороги є нестандартними з двох причин – фактичне затоплення нижнього б'єфу часто більше припустимого, розміри елементів водозливу чи порогу та їхнє співвідношення не відповідають нормам, внаслідок чого кожна водомірна споруда потребує індивідуального градування.

Підтоплення нижнього б'єфу визначається нівелюванням дна каналу верхнього та нижнього б'єфу та порогу водозливу, а також водної поверхні перед спорудою та за нею при максимальній, середній та мінімальній витратах води.

#### 1. МЕТОД ВИМІРЮВАНЬ

1.1 Метод вимірювання витрати за допомогою споруд перемінного напору (рівня) води є непрямим. Витрата при вільному витіканні води залежить від напору води над порогом водозливу і апроксимується за формулою:

$$Q = E_o A_o \sqrt{2gh} . \quad (1)$$

1.2 Площа поперечного перетину потоку  $A_o$  в отворі споруди залежить від ширини порогу чи горловини та від напору, тому рівняння (1) набуває наступного вигляду:

$$Q = E_o C \sqrt{2gbh^k} , \quad (2)$$

де  $E_o$  та  $k$  залежать від форми отвору водозливу чи горловини споруди.

1.3 Витрата води вимірюється із застосуванням гідрометричної вертушки детальним способом, тобто у трьох точках /0,2, 0,4 і 0,8 глибини/ на кожній швидкісній вертикалі, з аналітичною обробкою результатів.

1.4 Кількість вимірів у всьому діапазоні витрати води від  $Q_{min}$  до  $Q_{max}$  повинна бути не менше 10.

## 2.ВИКОНАННЯ ВИМІРЮВАНЬ

2.1 За 1-2 години до вимірювань та під час самих вимірювань, припиняють будь-які перерегулювання гідротехнічних споруд, що розташовані вище, нижче та безпосередньо на ділянці каналу з водомірною спорудою. Коливання рівнів води у б'єфах водомірної споруди не повинні перевищувати 0,02 м за годину.

2.2. Під час ведення обліку через певний інтервал часу  $\Delta t$ , починаючи з 0 годин, знімають показання рівнів води  $h_B, h_H$  по водомірних рейках у верхньому та нижньому б'єфах і реєструють у журналі установленної форми /додаток А/.

2.3 Тривалість часу між вимірюваннями рівня води залежить від інтенсивності його зміни і скорочується зі збільшенням останньої. Як правило, вона становить 1–4 години, може бути однаковою протягом доби, але може і змінюватись.

## 3 ОБРОБЛЕННЯ ТА ОФОРМЛЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ

3.1 Результати градуювання гідрометричного посту з фіксованим руслом оформлюють протоколом довільної форми, який підписують представники водопостачальника, водокористувача та територіального органу Держспоживстандарту. Отримані за протоколом результати заносять до оформленого належним чином акту градуювання, який затверджують водопостачальник та водокористувач.

3.2 Градуювання із оформленням протоколу і акта необхідно проводити не менше одного разу на три роки, або після кожного випадку проведення ремонтних чи інших робіт, які можуть призвести до зміни гідравлічних та геометричних параметрів гідротехнічної споруди.

3.3 За результатами вимірювань витрат та рівнів води, будується крива залежності  $Q = f(h)$ , яка потім переводиться у табличну форму /додатки В, Г/. Таблиця є невід'ємною частиною журналу водообліку. 3.4 За формулою (3) розраховується відносна середньоквадратична похибка  $\delta$ , яка не повинна перевищувати  $\pm 6\%$ .

3.4 У журналі водообліку /додаток А/ до кожного значення рівнів води за допомогою таблиць, що в додатках В та Г, наводять витрати води.

3.5 Об'єм стоку води за добу обчислюють за формулою:

$$V_{\text{доб}} = 1,8 \left[ (Q_1 + Q_2) \Delta t_1 + (Q_2 + Q_3) \Delta t_2 \dots + (Q_{k-1} + Q_k) \Delta t_k \right], \text{ тис. м}^3 \text{ (3)}$$

де  $Q_1 \dots Q_k$  – витрати води на термін вимірювання,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$\Delta t_1 \dots \Delta t_k$  – інтервал часу між вимірюваннями, год.

У журналі водообліку добовий об'єм води обчислюють шляхом множення кінцевого значення витрати води наростаючим підсумком за добу на 1,8, в результаті чого одержують добовий об'єм стоку води у тис.  $\text{м}^3$ .



## 4. КОНТРОЛЬ ПОХИБОК РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ

4.1 Відносна похибка водообліку  $\delta$  для конкретного поста складається з відносної похибки  $\delta_c$  сумісних вимірювань рівнів води над порогом водозливу та витрат  $\delta_Q$  води у гідрометричному створі при встановленні залежності  $Q = f(h)$  і визначається за формулами:

$$\delta = \sqrt{\delta_c^2 + \delta_Q^2}, \quad (4)$$

$$\delta_c = 100 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{\phi i} - Q_{pi})^2}{(n-1)(Q_{\max} - Q_{\min})^2}}, \% \quad (5)$$

де  $Q_{\phi}$  – вимірювана витрата води при певному  $h$ ;

$Q_{pi}$  – розрахункова при цих рівнях витрата води;

$n$  – кількість вимірювань для побудування залежностей  $Q = f(h)$ .

4.2 Норма похибки водообліку  $\delta_c$  повинна становити  $\pm 3 \dots 5\%$  і зменшуватися зі збільшенням кількості вимірів витрат води при градуюванні водовипускної споруди.

4.3 Границі допустимої відносної похибки вимірювання витрати води за допомогою водозливів та порогів при градуюванні у випадку застосування приладів визначають за формулою:

$$\delta_Q = K_t \left[ \delta_o^2 + \delta_b^2 + \delta_{\alpha}^2 + (\kappa \delta_h)^2 + (\kappa \delta_{\nabla})^2 \right]^{1/2}, \quad (6)$$

де  $K_t$  – коефіцієнт, який враховує взаємну кореляцію невиключених систематичних складових похибки і приймається рівним 1,1 при довірчій вірогідності  $P=0,95$ ;

$\delta_o$  – відносна похибка визначення коефіцієнту витрати, %;

$\delta_b$  – відносна похибка вимірювання ширини порогу споруди, %;

$\delta_{\alpha}$  – відносна похибка вимірювання кута нахилу бокових стінок (граней) споруди в зжатому перетині, %;

$\delta_h$  – відносна похибка вимірювання рівня води, %;

$\delta_{\nabla}$  – відносна похибка прив'язки початку шкали рівнеміру до відмітки порогу споруди, %;

$k$  – показник ступеню при значенні напору у рівнянні витрати;

4.4 Норма похибки вимірювання витрати води  $\delta_Q$  за допомогою перемінного напору (рівня) води складає від 1% до 3 %.

4.5 Значення похибки визначення коефіцієнту витрати для конкретних споруд наведені у табл. 1.

4.6 Значення похибок визначення ширини порогу чи горловини, а також кута нахилу бокових стінок (граней) встановлюються при первинних та періодичних перевірках споруд.

За результатами не менше ніж п'ятикратних вимірювань значення  $\delta_b$  та  $\delta_a$  не повинні перевищувати  $\pm 0,2\%$ .

4.7 В якості похибки вимірювання рівня води  $\delta_h$  приймають похибку засобу вимірювання рівня, вказану в експлуатаційній документації на прилад. У випадку, коли паспортна похибка приладу нормована значенням основної абсолютної похибки  $\Delta$  (м), тоді приведена похибка розраховується за формулою:

$$\delta_h = \frac{\Delta}{h} 100\% . \quad (7)$$

**Таблиця 1**

<b>Найменування споруди</b>	<b>Відносна похибка визначення коефіцієнту витрати <math>\delta_o</math>, %</b>
Трикутний водозлив з тонкою стінкою	1,0
Прямокутний водозлив з тонкою стінкою	1,5 при $h/P < 1,0$ 2,0 при $h/P = 1,0-1,5$ 2,5 при $h/P > 1,5$
Трапецеїдальний водозлив з тонкою стінкою	2,5
Водозлив з широким порогом трикутного профілю	1,0
Водозлив з широким порогом трикутного профілю з трикутним вирізом	2,3 при $m_b = 10$ 2,8 при $m_b = 20$
Водозлив з широким порогом прямокутного профілю із закругленим вхідним ребром	2,0
Водозлив з широким порогом трапецеїдального профілю	1,5

Додаток А

**ДЕРЖВОДГОСП УКРАЇНИ**

**ЖУРНАЛ ВОДООБЛІКУ**

\_\_\_\_\_  
(найменування водовиділу)

на 20\_\_ р.

\_\_\_\_\_  
(найменування системи)

\_\_\_\_\_  
(найменування експлуатаційної організації)

\_\_\_\_\_  
(місцезнаходження водовиділу)

Рік введення в експлуатацію \_\_\_\_\_

**ТЕХНІЧНІ ДАНІ**

Максимальна пропускна спроможність \_\_\_\_\_ м<sup>3</sup>/с

Мінімальна пропускна спроможність \_\_\_\_\_ м<sup>3</sup>/с

Водооблік здійснюється за МВУ 03 - 003 - 04

Представник водопостачальника

\_\_\_\_\_  
посада

\_\_\_\_\_  
підпис

\_\_\_\_\_  
прізвище

Представник водокористувача

\_\_\_\_\_  
посада

\_\_\_\_\_  
підпис

\_\_\_\_\_  
прізвище

## Додаток Б

(Приклад розрахунку добового об'єму води із застосуванням водомірних властивостей споруд перемінного рівня води)

### ДОБОВА ВІДОМІСТЬ РОБОТИ ВОДОВИДІЛУ

Дата і час вимірювання рівнів води та напору над порогом	Рівні води на водомірних рейках, м		Напір над порогом, м	Витрата води, м <sup>3</sup> /с	Інтервал часу вимірювань, год	Сумарна витрата води за час спостереження, м <sup>3</sup> /с	Витрата води за інтервал часу, м <sup>3</sup> /с	Витрата води нарастаючим підсумком, м <sup>3</sup> /с	Підпис особи, що провела вимірювання
	верхнього б'єфа	нижнього б'єфа							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
20.06.03									
0	10,1	10,0	0,5	4					
4	10,12	10,0	0,5	4,2	4	8,2	32,8	32,8	
8	10,25	10,03	0,5	5,4	4	9,6	38,4	71,2	
10	10,25	10,05	0,6	5,6	2	11	22	93,2	
12	10,35	10,0	0,65	5,65	2	11,25	22,5	115,7	
14	10,35	10,0	0,7	6,3	2	11,95	23,9	139,6	
16	10,35	10,05	0,75	6,6	2	12,9	25,8	165,4	
18	10,3	10,15	0,65	5,4	2	12	24	189,4	
20	10,25	10,05	0,5	5,2	2	10,6	21,2	210,6	
24	10,12	10,0	0,5	4,2	4	9,4	37,6	248,2	
V <sub>доб</sub> = 1,8 * 248,2 = 446,76 тис. м <sup>3</sup>									

#### Поданий об'єм води

Період	Всього, тис. м <sup>3</sup>
За добу	446,76
З початку місяця	
З початку сезону	

Розпорядження диспетчера, зауваження про роботу водовиділу та причини його простою \_\_\_\_\_

Гідротехнік /представник/

господарства водокористувача \_\_\_\_\_

підпис

прізвище

\*Примітка: значення графи 5 відповідають градуювальній таблиці

## Додаток В

### ГРАДУЮВАЛЬНА ТАБЛИЦЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ВИТРАТ ВОДИ ВІД НАПОРУ НАД ПОРОГОМ ВОДОЗЛИВУ ПРИ ВІЛЬНОМУ ВИТІКАННІ

(приклад)

Напір води над порогом, м	Витрата води, м <sup>3</sup> /с	Напір води над порогом, м	Витрати води, м <sup>3</sup> /с
1	2	1	2
0,10	4,00	0,22	5,40
0,12	4,20	0,24	5,60
...	...	...	...
...	...	...	...
...	...	...	...
0,20	5,20	0,34	6,60
...	...	...	...
...	...	...	...
...	...	...	...
0,10	5,20	0,22	6,60
0,12	5,40	0,24	6,80
...	...	...	...
...	...	...	...
0,20	6,40	0,34	7,80

Гідротехнік експлуатаційної  
організації

\_\_\_\_\_

підпис

\_\_\_\_\_

прізвище

Гідротехнік /представник/  
господарства водокористувача

\_\_\_\_\_

підпис

\_\_\_\_\_

прізвище

Представник територіального  
органу Держспоживстандарту

\_\_\_\_\_

підпис

\_\_\_\_\_

прізвище

Додаток Г

ГРАДУЮВАЛЬНА ТАБЛИЦЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ВИТРАТ ВОДИ ВІД НАПОРУ  
НАД ПОРОГОМ ВОДОЗЛИВУ ПРИ ЗАТОПЛЕНОМУ ВИТІКАННІ

(приклад)

Перепад рівнів води у б'єфах ( $h_B - h_H$ ), м	Витрата води, м <sup>3</sup> /с	Перепад рівнів води у б'єфах ( $h_B - h_H$ ), м	Витрати води, м <sup>3</sup> /с
1	2	1	2
Напір води над порогом $h = 0,50$ м			
0,10	4,00	0,22	5,40
0,12	4,20	0,24	5,60
...	...	...	...
...	...	...	...
...	...	...	...
0,20	5,20	0,34	6,60
$h = \dots$ м			
...	...	...	...
...	...	...	...
...	...	...	...
$h = 0,80$ м			
0,10	5,20	0,22	6,60
0,12	5,40	0,24	6,80
...	...	...	...
...	...	...	...
0,20	6,40	0,34	7,80

Гідротехнік експлуатаційної  
організації

\_\_\_\_\_

підпис

\_\_\_\_\_

прізвище

Гідротехнік /представник/  
господарства водокористувача

\_\_\_\_\_

підпис

\_\_\_\_\_

прізвище

Представник територіального  
органу Держспоживстандарту

\_\_\_\_\_

підпис

\_\_\_\_\_

прізвище

## 2.2 ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 2.

### Виконання розрахунків

#### водообліку із застосуванням водомірних властивостей споруд перемінного напору (рівня) води.

Облік води - найважливіший організаційно-технічний захід експлуатаційної служби гідромеліоративних систем. На його основі виконується диспетчерське управління водозабором і водорозподілом на зрошувальних системах, регулювання водного режиму на осушних, а також спостереження і контроль за технічною експлуатацією окремих споруд і систем в цілому. Крім того, облік води необхідний і для вивчення меліоративного стану земель, вдосконалення меліоративних систем і підвищення їх ефективності.

Облік води існуючими гідротехнічними спорудами здійснюється за гідравлічними формулами. Для цього вимірюють всі величини, що входять до складу цих формул, окрім коефіцієнтів витрати ( $m$  і  $\mu$ ) і коефіцієнта швидкості ( $\varphi$ ). Наприклад, для незатопленого водозливу з широким порогом  $Q = mbH^{3/2} \sqrt{2g}$ . Безпосередніми вимірюваннями визначають  $b$  і  $H$ . Використання рекомендованих довідниками значень  $m$  може привести до значних помилок при визначенні витрат води. Тому гідротехнічні споруди тарують, тобто коефіцієнти  $m$  визначають дослідним шляхом. Для цього під час пропуску води через споруду за допомогою гідрометричних приладів вимірюють напор і витрати. Потім з розрахункових формул визначають невідомі коефіцієнти. Знаючи  $Q$ ,  $b$  і  $H$ , знаходять  $m$ , а саме:

$$m = \frac{Q}{bH^{3/2} \sqrt{2g}} \quad (2.1)$$

Для зручності робіт складають таблиці витрат для кожної споруди.

Гідротехнічна споруда, призначена для обліку води, повинна бути технічно справною, мати правильні форми і плавний підхід води до отвору. Виток води через споруду (вільний або затоплений) повинен бути завжди постійним.

**Ціль завдання:** Обчислити витрату води, виміряну в зрошувальному каналі.

**Порядок виконання роботи.** За наведеними схемами обладнання гідрометричного поста з різними водозливами та водомірним порогом використовуючи дані отримані при виконанні практичної роботи №1 та на прикладі розрахунків, наведених нижче обчислити витрату води, виміряну в зрошувальному каналі різними водозливами та насадками.

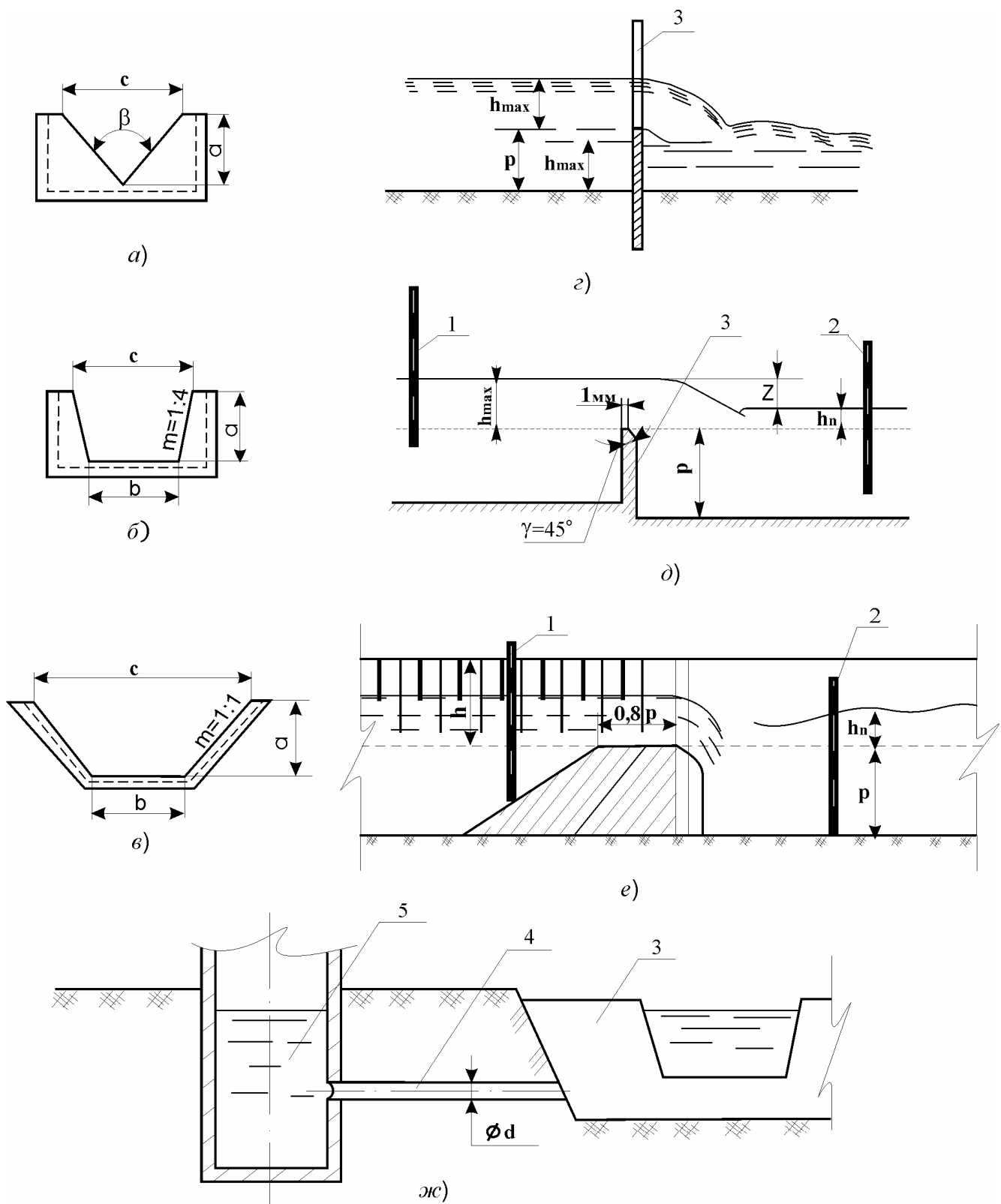


Рис. 1. Схеми обладнання гідрометричного поста з водозливами та водомірним порогом:  
*a* - трикутний; *б* - трапецеїдальний (Чіполетті); *в* - трапецеїдальний (Іванова);  
*г* - з вільним витіканням; *д* - з затопленим витіканням: 1 - верхня рейка; 2 - нижня рейка;  
*е* - водомірний поріг; *ж* - заспокійливий пристрій: 3 - водозлив;  
 4 - з'єднувальна труба; 5 - заспокійливий колодязь



**Завдання 1.** Обчислити витрату води, виміряну в зрошувальному каналі **трикутним водозливом**. Кут при вершині  $\alpha = 90^\circ$ ; напір на порозі водозливу  $H = 0.36$  м (рис. 1.а).

*Розв'язок:* підставляючи у формулу (1.21)  $H=0.36$  м, одержуємо:

$$Q = 1.40 \cdot 0.36^{5/2} = 0.108 \text{ м}^3 / \text{с} = 108 \text{ л/с.}$$

**Завдання 2.** Обчислити витрату води, виміряну **трапецеїдальним водозливом**, що звужується донизу, з нахилом бічних стінок 1:1/4 в тонкій стінці, якщо ширина його  $b=1.25$  м, а напір на порозі водозливу  $H= 0.35$  м (рис.1.б).

*Розв'язок.* Підставляючи у формулу (1.9) ширину водозливу  $H=1.25$  м і напір  $H= 0.35$  м, обчислюємо витрату води:

$$Q = 1.86 \cdot 1.25 \cdot 0.35^{5/2} = 0.480 \text{ м}^3/\text{с.}$$

**Завдання 3.** Обчислити витрату води, виміряну незатопленим **прямокутним водозливом** в тонкій стінці без бічного стиснення.

Дано: ширина водозливу  $b=1.5$  м, напір на порозі водозливу  $H=0.40$  м. Поріг водозливу розташований на висоті  $p=0.5$  м над дном каналу з боку верхнього б'єфа.

*Розв'язок.* Витрату води обчислюємо за формулою:

$$Q = mb\sqrt{2g}H^{3/2}$$

Знаходимо величину коефіцієнта витрати водозливу за табл.1.2. При  $H=0.40$  м і  $p=0.50$  м коефіцієнт витрати  $m=0.457$ . Підставивши у формулу значення розрахункових величин  $m=0.457$ ,  $b=1.5$  м,  $H=0.40$  м (без урахування швидкості підходу), одержимо витрату води:

$$Q = 0.457 \cdot 1.5 \sqrt{2 \cdot 9.81} \cdot 0.4^{3/2} = 0.768 \text{ м}^3/\text{с} = 768 \text{ л/с.}$$

Таблиця 1.2 – Значення коефіцієнта витрати  $m$  для прямокутного водозливу

H, м	При $p_1$ , м								
	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0.05	0.476	0.470	0.468	0.467	0.467	0.466	0.466	0.466	0.465
0.10	0.462	0.450	0.445	0.441	0.440	0.438	0.437	0.437	0.437
0.15	0.468	0.452	0.443	0.437	0.435	0.432	0.431	0.430	0.429
0.20	0.478	0.457	0.446	0.438	0.435	0.431	0.430	0.428	0.427
0.25	0.489	0.456	0.451	0.443	0.438	0.433	0.431	0.427	0.427
0.30	0.497	0.472	0.457	0.450	0.441	0.435	0.432	0.430	0.427
0.35		0.480	0.464	0.453	0.445	0.439	0.435	0.432	0.429
0.40		0.488	0.470	0.457	0.449	0.443	0.438	0.435	0.431
0.45			0.476	0.463	0.454	0.447	0.441	0.438	0.434
0.50			0.482	0.467	0.458	0.451	0.445	0.440	0.436
0.55				0.472	0.462	0.453	0.448	0.443	0.438
0.60				0.477	0.467	0.457	0.451	0.446	0.441
0.65				0.482	0.471	0.462	0.455	0.450	0.444
0.70					0.475	0.466	0.458	0.453	0.447
0.75					0.479	0.469	0.462	0.456	0.450
0.80						0.473	0.465	0.459	0.453
0.85						0.477	0.468	0.462	0.456
0.90						0.480	0.471	0.464	0.459
0.95							0.474	0.467	0.462
1.00							0.477	0.470	0.464

**Завдання 4.** Визначити витрату води  $Q$ , виміряну насадкою круглого перерізу, що конічно сходиться.

Дано: діаметр вихідного отвору насадки  $d=20$  см, показання водомірних рейок, прикріплених до верхової і низової сторін щита, відповідно дорівнюють:  $H_v=52$  см і  $H_n=26$  см (рис.1.6).

Витрату води в насадці-водомірі круглого перерізу визначаємо за формулою (1.17). Різницю рівнів знаходимо за різницею показань рейок:  $z=H_v - H_n=52-26=26\text{см} = 0.26$  м. Підставивши у формулу (1.17) значення  $z$  і  $d$ , одержимо

$$Q = 3.2 \cdot 0.2^2 \sqrt{0.26} = 0.065 \text{ м}^3/\text{с} = 65 \text{ л/с}.$$

**Завдання 5.** Визначити витрату води, виміряну насадкою, квадратного перерізу що сходиться.

Дано: кут конусності насадки  $\alpha=13^\circ$ , сторона вихідного перерізу  $\alpha=25$  см, показання водомірних рейок  $H_n=30$  см,  $H_v=55$  см (рис.1.6).

Витрату води визначаємо за формулою (1.19). Різниця рівнів води:  $z=H_v - H_n = 55-30=25\text{см} = 0.25$  м. Підставивши у формулу (1.19) значення  $\alpha$  і  $z$ , одержимо:

$$Q = 4.1 \cdot 0.25^2 \sqrt{0.25} = 0.128 \text{ м}^3/\text{с} = 128 \text{ л/с.}$$

## 2.3 ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 3.

### Виконання розрахунків

обліку води на зрошувальних системах за допомогою водомірних лотків та трубчастого водовипуску

*Водомірні лотки* широко використовуються для обліку води на зрошувальних системах і невеликих природних водотоках (у балках і ярах). Лотки складаються (рис.1.1) з приймального і відвідного розтрубів і горловини. Приймальний розтруб звужується у бік руху води. Дно в приймальному розтрубі горизонтальне. Дно горловини з ухилом 0.375 у бік течії води. Дно відвідного розтруба має зворотний ухил 1: 6.

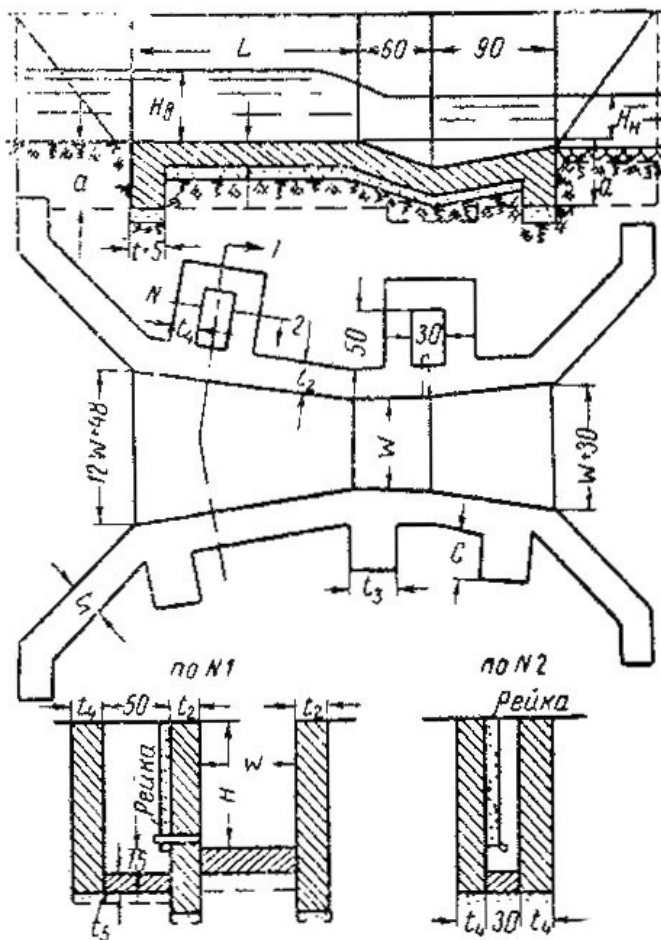


Рисунок 1.1 – Бетонний водомір – лоток  
вгорі – поздовжній розріз; внизу – план

Бічні стінки лотків виконують вертикальними. Стандартними лотками можна вимірювати витрати води від 0.006 до 6.99 м<sup>3</sup>/с.

**Водомірні щитовидні водовипуски** відносяться до регулюючих споруд, що забезпечують одночасно і облік води. Прикладом може служити водовипуск СБ-47, запропонований М.Б.Бутиріним (рис.1.2). Його встановлюють в головах розподільної мережі і на господарських водовиділах при витратах 1.5-2.0 м<sup>3</sup>/с і рекомендують до роботи тільки при витокі з-під щита. Коефіцієнт витрати близький до одиниці. Тому в розрахункових формулах витрати вказаний коефіцієнт відсутній.

**Ціль завдання:** Обчислити витрату води, виміряну в зрошувальному каналі.

**Порядок виконання роботи.** За наведеними схемами обладнання гідрометричного поста з різними водозливами та водомірним порогом використовуючи дані отримані при виконанні практичної роботи №1 та на прикладі розрахунків, наведених нижче обчислити витрату води, виміряну в зрошувальному каналі різними водозливами та насадками.

**Завдання 1.** Обчислити витрату води, що протікає крізь **стандартний гідрометричний лоток** з шириною горловини  $W=2.0$  м. Висоти рівня води над дном приймального розтруба з боку верхнього і нижнього б'єфів відповідно складають:  $H_n = 0.24$  м і  $H_b = 0.12$  м (рис.1.1).

З'ясовуємо режим витікання крізь гідрометричний лоток. Оскільки  $k = \frac{H_n}{H_b} = \frac{0.12}{0.24} = 0.50 < 0.7$ , значить витікання вільне. При цьому, згідно з формулою (1.26):

$$Q_b = 0.372 \cdot 2 \left( \frac{0.240}{0.305} \right)^s = 0.744 \cdot 0.787^s.$$

Згідно з таблицею 1.1, при  $\omega=2.0$  м,  $s=1.635$ . Таким чином,  $Q=0.744 \cdot 0.787^{1.635} = 0.503$  м<sup>3</sup>/с.

**Завдання 2.** Обчислити коефіцієнт витрати  $\mu$  **трубчастого водовипуску** на зрошувальному каналі, що працює в умовах затопленого витікання (рис.1.2).

Значення витрат  $Q$ , і рівнів верхнього  $H_b$  і нижнього  $H_n$  б'єфів, виміряних у польових умовах при таруванні, наведені в таблиці 2.2.

**Розв'язок:** Коефіцієнти витрати  $\mu$  обчислюємо за формулою:

$$\mu = \frac{Q}{\omega \sqrt{2g(H_b - H_n)}}$$

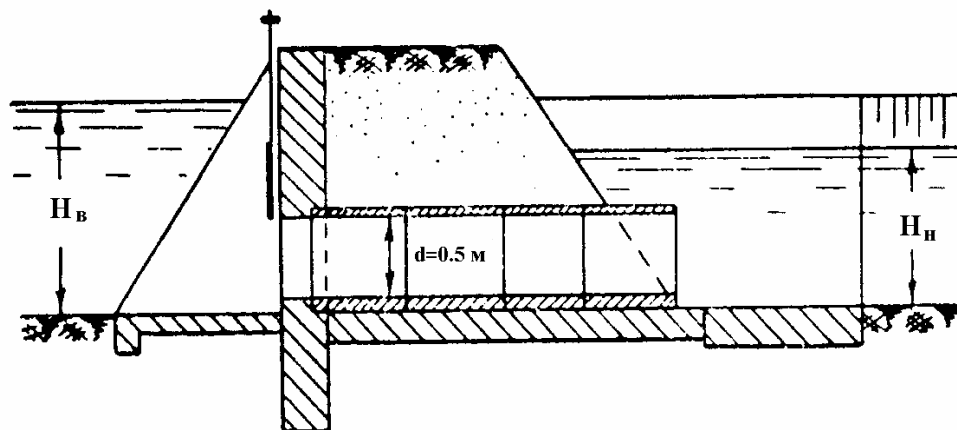


Рисунок 1.2 – Трубчастий водовипуск

Таблиця 1.1 – Виміряні в натурі витрати Q і рівні H води

Показники	Номер тарування									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Витрата води, м <sup>3</sup> /с	0.510	0.558	0.586	0.607	0.635	0.467	0.366	0.419	0.526	0.298
Рівень H <sub>B</sub> , см	144	157	168	175	182	132	105	120	149	86
Рівень H <sub>H</sub> , см	84	87	88	90	92	82	75	80	85	66

Розрахунки виконуємо в таблиці 1.2, прийнявши:

$$\omega = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3.14 \cdot 0.5^2}{4} = 0.196 \text{ м}^2; \quad \sqrt{2g} = 4.43.$$

Середнє значення  $\mu_{\text{сер}}$  дорівнює:

$$\mu_{\text{сер}} = \frac{7.635}{10} = 0.764$$

Таблиця 1. 2 – Обчислення коефіцієнта витрати  $\mu$ 

№ тару- вання	$\text{м}^3/\text{с}$	$H_B,$ м	$H_H,$ м	$H_B-H_H,$ м	$\sqrt{H_B - H_H}$	$\omega = \sqrt{2g(H_B - H_H)}$	$\mu$
1	0.510	1.44	0.84	0.60	0.77	0.668	0.764
2	0.558	1.57	0.87	0.70	0.84	0.729	0.766
3	0.586	1.68	0.88	0.80	0.89	0.772	0.760
4	0.607	1.75	0.90	0.85	0.92	0.798	0.761
5	0.635	1.82	0.92	0.90	0.95	0.825	0.770
6	0.467	1.32	0.82	0.50	0.71	0.616	0.758
7	0.366	1.05	0.75	0.30	0.55	0.477	0.768
8	0.419	1.20	0.80	0.40	0.63	0.547	0.767
9	0.526	1.49	0.85	0.64	0.80	0.694	0.758
10	0.298	0.86	0.66	0.20	0.45	0.391	0.763
						Разом	7.635

## Список рекомендованої літератури

1. Справочник по гидрологическим расчетам (П.Г.Киселев, А.Д.Альтшуль, Н.В.Данильченко – М.Энергия, 1972 – 312 с)
2. Чугаев Р.Р. Гидравлика – 4е изд. – Л.: Энергоиздат, 1982
3. Ю.М.константинов Гидравлика. Киев «Вища школа» 1988
4. Ю.М. Ольгаренко «Эксплуатация оросительных систем» М. Россельхозиздат – 1986
5. Скрипчинская Л.В., Янголь А.М., Гончаров С.М. «Сельскохозяйственные гидротехнические мелиорации. К. Вища школа 1978 г.
6. Кулибабин А.Г. Экономический анализ современных проектных решений оптимизации водоподачи и водораспределения в орошении. НАНУкранины, Институт проблем рынка и экономико-экологических исследований – Одесса, 1997 – 79 с.