

Лекція 10. Загальні відомості про гідротехнічні споруди

Мета лекції: ознайомлення з класифікацією гідротехнічних споруд, усвідомлення особливостей роботи гідротехнічних споруд, засвоєння їх конструктивних особливостей, розуміння основ розрахунку фільтрації.

План

1. Поняття про гідротехнічні споруди (ГТС) та їх класифікація.
2. Особливості та умови роботи ГТС.
3. Елементи флютбетів. Задачі фільтраційних розрахунків.
4. Теоретичні методи розрахунку фільтрації.

1. **Гідротехнічні споруди (ГТС)** – це інженерні споруди, які призначені для використання водних ресурсів або для попередження шкідливої дії води на навколишнє середовище (водопілля, селі). Взагалі існує більше 100 типів ГТС.

За місцем розташування ГТС розділяються на річкові, морські озерні, ставкові, підземні, внутрішні системи.

За характером функцій, що виконуються, розрізняються наступні види ГТС: водонапірні – для створення напору води (греблі, дамби); водозабірні – для забору води з водотоків та водойм; водопровідні – для подачі води до місця її споживання (тунелі, лотки, канали); водоскидні – для корисних пропусків у нижній б'єф, для скидання надлишкової води (глибинні і сифонні водоскиди); регуляційні – для регулювання дії хвиль та течій на береги водойм, для укріплення берегів, регулювання взаємодії річкового потоку з руслом (струминонапрямні дамби, шпори).

За умовами використання ГТС у відповідності із нормами [1] діляться на постійні і тимчасові. Постійні використовуються при постійній експлуатації об'єкта, тимчасові лише в період його будівництва або ремонту. Постійні ГТС поділяються на основні та другорядні. До основних відносяться ГТС, ремонт або аварія яких призводить до повної зупинки об'єкта (канали, греблі, водоскиди, будівлі гідроелектростанцій), а до другорядних – ГТС, та їх частини, зупинення яких не веде до важких наслідків (службові містки, ремонтні затвори).

За цільовим призначенням ГТС поділяються на дві групи: загального призначення і спеціальні. Споруди загального призначення використовуються для потреб різних галузей водного господарства, до таких споруд відносяться водопровідні, водонапірні, регуляційні споруди.

Спеціальні ГТС використовуються для потреб будь-якої однієї галузі. Розрізняють спеціальні ГТС: водно-транспортні (шлюзи, канали, хвилеломи); меліоративні (насосні станції, канали, які призначені для обводнення і осушення земель); лісосплавні (запані, бони, колодоспуски); рибогосподарські (рибоводні ставки, рибоходи); для водопостачання та водовідведення (водозабори, очисні споруди); для створення шламонакопичувачів та хвостовищ (водоскиди, дамби); для боротьби з повенями, селями, ерозією ґрунтів (зливоспуски, захисні дамби); водноенергетичні (будівлі гідроелектростанцій).

За капітальністю всі постійні ГТС діляться на 4 класи, а тимчасові відносяться до V класу. Клас капітальності споруд встановлюється в залежності від їх народногосподарського значення з врахуванням наслідків аварії на них чи порушень експлуатації.

Окремі типи ГТС класифікуються по висоті і за конструктивними прикметами. ГТС розділяються також за основним матеріалом, який використовується для будівництва (земляні, кам'яні, бетонні, сталеві, дерев'яні).

2. Вода чинить на ГТС механічну, фізико-хімічну і біологічну дію.

Механічна дія проявляється у вигляді статичних і механічних навантажень, що повинно враховуватись при будівництві, в першу чергу, підпірних ГТС, які після заповнення водосховища опиняються під тиском води (гідростатичний тиск, діючий в горизонтальному напрямку, намагається зсунути або перекинути споруду). Природний режим руслового потоку та ґрунтових вод змінюється у верхньому та нижньому б'єфах. Так швидкість течії у водосховищі значно зменшується із збільшенням глибини, але на підході до водоскидних споруд вона збільшується і може викликати розмиви дна у верхньому б'єфі (наприклад, така ситуація може виникнути при пропусканні води через донні отвори), що потребує влаштування кріплень перед спорудою. Динамічні навантаження виникають при проходженні потоку з великими швидкостями (20-30 м/с) через водозлив: в нижньому б'єфі енергія потоку може викликати розмиви ґрунтів основи. В таких випадках необхідні захисні заходи: влаштування водобою, рисберми. Динамічні навантаження виникають також при ударі хвиль, при русі фільтраційного потоку у тілі споруди, під час землетрусу. В зимовий період статичні навантаження можуть виникнути при термічному розширенні суцільного крижаного покриву, при навалі крижаних полів під дією вітру і течії. При фільтрації води в основі споруди виникає так званий протитиск – фільтраційний тиск, направлений знизу вверх, який зменшує опір зсуву

споруди.

Фізико-хімічна дія води викликає руйнування металевих елементів внаслідок корозії; кавітацію яка може виникати в зонах, де потік обтікає споруду з великими швидкостями і утворюється вакуум; хімічну суфозію в ґрунтах, які містять легкорозчинні речовини.

Біологічна дія води зумовлена життєдіяльністю різних мікроорганізмів, що в ній існують. В результаті може відбуватися гниття дерев'яних елементів, заростання трубопроводів, тощо.

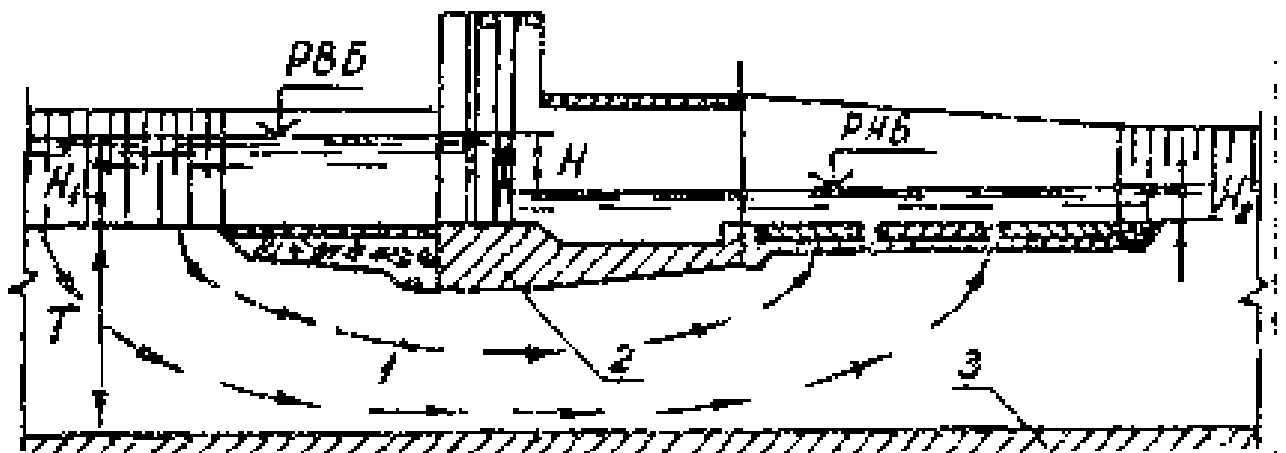
Будівництво ГТС суттєво впливає на природні умови навколишніх територій. Поява великих водосховищ, розповсюдження підпору від гідровузлів на десятки кілометрів вгору за течією змінюють рослинний та тваринний світ і навіть клімат.

Аварія великої споруди може привести до значних негативних наслідків. Відомі аварії ГТС різного типу були викликані в основному наступними причинами: переливом води через гребінь; хімічною суфозією; деформацією і сповзанням укосів гребель; зосередженою фільтрацією крізь тіло споруди чи основу.

ГТС мають ряд особливостей, пов'язаних з виконанням робіт при їх спорудженні. Це пов'язується з великим вантажообігом. Гідротехнічне будівництво відрізняється масовістю основних робіт: земельно-скельні, бетонні роботи за вартістю і трудомісткістю складають до 80% від загального об'єму робіт.

3. ГТС, яка створює різницю рівнів в б'єфах і має водопроникну основу, викликає рух ґрунтового потоку, як в основі споруди, так і в її обхід.

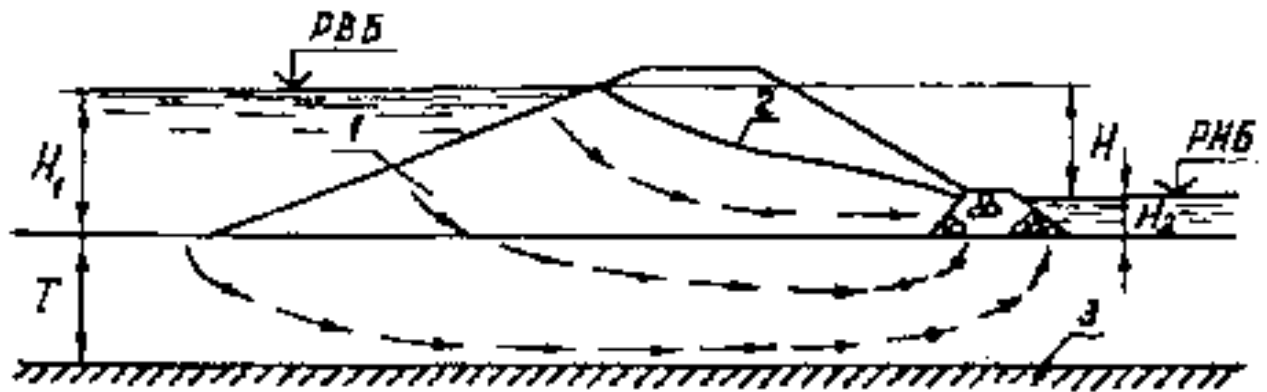
Якщо споруда водонепроникна (з бетону або залізобетону), а ґрунт, на якому вона розташована, легкопроникний, то ґрунтовий потік не має вільної поверхні і буде напірним (рис. 1.1.1).



1 – область фільтрації, 2 – підшва споруди, 3 – водоупор.

Рисунок 1. – Напірний рух фільтраційного потоку в основі споруди

Якщо споруда фільтруюча (земляна гребля, дамба), то в такому випадку вода проходить через тіло споруди, при цьому виникає вільна поверхня ґрунтового потоку і рух буде безнапірний (рис. 1.1.2).



1 – область фільтрації, 2 – крива депресії, 3 – водоупор.

Рисунок 2 – Безнапірний рух фільтраційного потоку

Флютбет складає частину ГТС, призначену для створення штучного русла для відкритого потоку і для гасіння напору фільтраційного потоку.

В річкових спорудах складовими частинами флютбету є понур, тіло греблі, водобій, рисберма і кінцева частина кріплення (рис. 1.1.3).

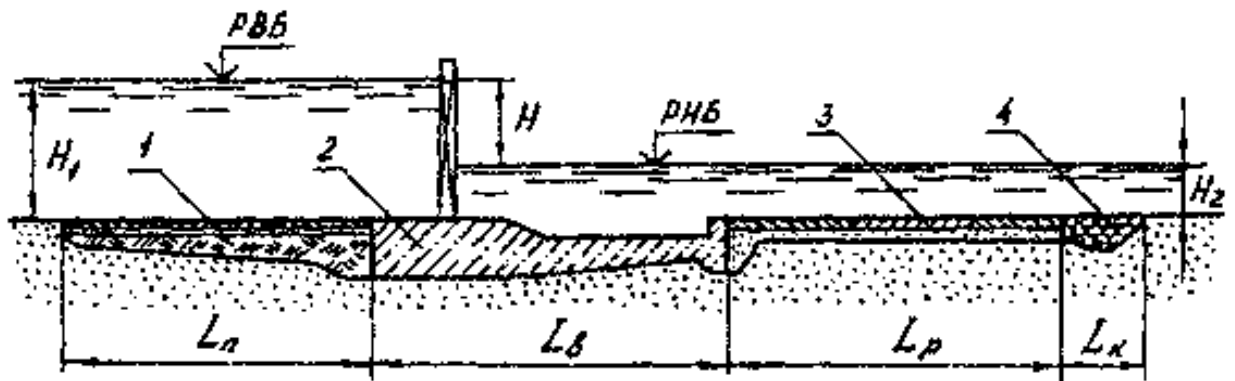


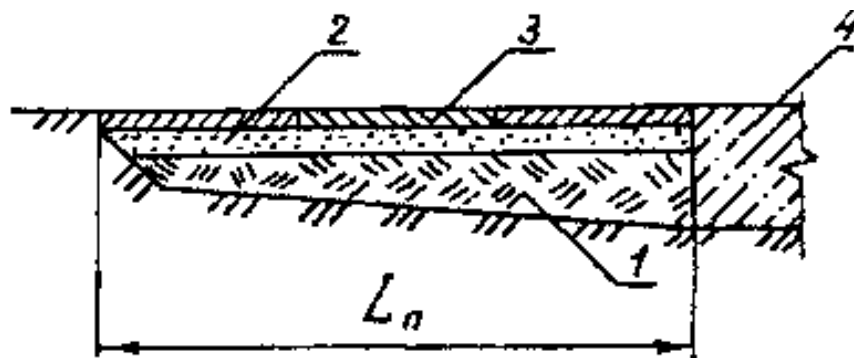
Рисунок 3 – Складові частини флютбету низьконапірної гідротехнічної споруди на каналі:

1 – понур; 2 – водобій; 3 – рисберма; 4 – кінцева частина.

Лінія поверхні води в ґрунтовому тілі споруди називається депресійною кривою або кривою депресії.

В більшості ГТС водозливний поріг і водобій об'єднуються в одну масивну плиту (вважається, що флютбет складається з понура, водобою, рисберми, кінцевої частини кріплення). В окремих спорудах тіло греблі може бути відсутнє, і замість нього тільки низький поріг.

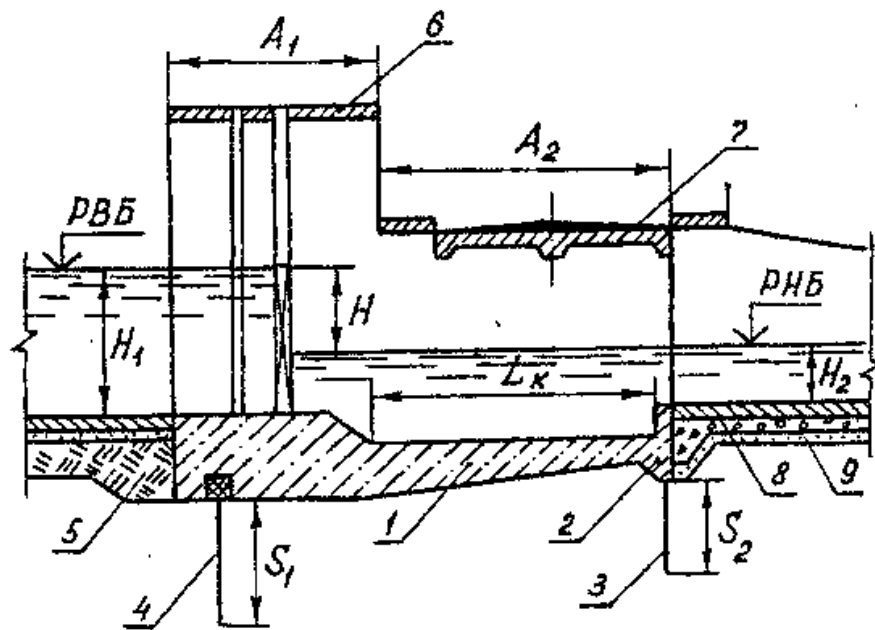
Понур – це елемент флютбета, який за рахунок збільшення шляху фільтраційного потоку гасить частину діючого напору. В низьконапірних спорудах влаштовується з ґрунтових матеріалів, а в більш відповідальних – з бетону, залізобетону, полімерних матеріалів. Довжина понура при попередньому компонуванні флютбету вибирається з умови погашення частини фільтраційного напору. Для попередження розливу ґрунтовий понур покривається зверху бетонними (залізобетонними) плитами. Товщина понура приймається конструктивно, потім уточнюється фільтраційними розрахунками.



1 – ущільнений ґрунт; 2 – шар піску; 3 – залізобетонні плити; 4 – водобій

Рисунок 4 – Конструкція понура

Водобій – основний елемент флотбету, який створює безпечні умови протіканні води через споруду при підвищених швидкостях в зоні стрибкового спряження б'єфів і гасить напір фільтраційного потоку. В конструктивному відношенні це досить масивна водонепроникна плита. На початку і в кінці водобійної плити влаштовуються потовщення (верхові та низові зуб'я) для збільшення довжини підземного контуру і зменшення градієнтів фільтраційного потоку. Збільшення довжини підземного контуру досягається влаштуванням шпунтових рядів, відстань між ними приймається не менше суми їх глибини занурення.



- 1 – водобійна плита; 2 – низовий зуб; 3 – вихідний шпунт;
 4 – королевий шпунт; 5 – понур; 6 – службовий міст;
 7 – проїжджий міст; 8 – рисберма; 9 – зворотний фільтр.

Рисунок 5 – Конструкція водобією

Рисберма – необхідна для вирішення наступних задач:

- 1) створення вільного виходу фільтраційного потоку (вона повинна бути водонепроникною);
- 2) захищати русло за водобієм від розмиву поверхневим потоком;
- 3) гальмувати придонні швидкості поверхневого потоку;
- 4) захищати ґрунт, на якому вона розташована, від розмиву підземних потоком.

Виконується з бетонних та залізобетонних плит. Довжина рисберми повинна бути достатньою для гасіння швидкостей вихідного потоку до

безпечних величин на розмив у відповідному руслі.

Підземний контур споруди – це лінія контакту (поверхня контакту) всієї підземної частини флютбету з ґрунтом основи. У відповідності з призначенням підземний контур має водонепроникні і водопроникні частини. В спорудах середнього і високого напору водонепроникними частинами є понур і тіло греблі, а водобій та рисберма з кінцем кріпленням – водопроникні. Водонепроникними частинами в низьконапірних спорудах (де тіло греблі може бути відсутнім) є понур та водобій, а водопроникними – рисберма з кінцевим кріпленням.

Проектування підземного контуру виконується таким чином, щоб він міг зменшити фільтраційну витрату під спорудою, знизити вихідну швидкість фільтрації і зменшити розрахункові значення тиску на флютбет до безпечних величин.

4. При розгляді теоретичних методів розрахунку М.М. Павловським [2] прийняті такі положення і обмеження:

- 1) водопроникна основа однорідна і фільтрація в ній підкоряється закону Дарсі;
- 2) рух фільтраційного потоку усталений і розглядається двомірна задача.

Ґрунтовий потік характеризується сімейством ліній течії S , виберемо елементарну струминку і запишемо вираз для п'єзометричного напору:

$$h = p_a / \rho g - y_a , \quad (1.1.1)$$

де y_a – вертикальна ордината центра ваги струминки;

p_a - тиск в точці.

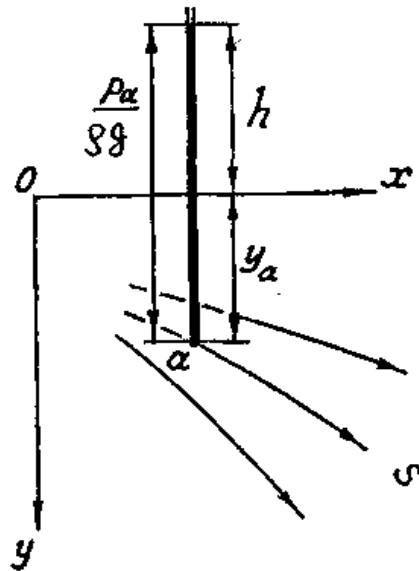


Рисунок 6 – Плоска картина руху ґрунтового потоку

$h=f(x;y)$ - напір h в загальному випадку неоднаковий в різних точках області фільтрації. Тому величину h називають напірною функцією. Для вибраної точки п'єзометричний ухил при плоскому усталеному русі потоку уздовж осі O_x буде:

$$J_x = - \partial h / \partial x \quad (1.1.2)$$

а вздовж осі O_y :

$$J_y = - \partial h / \partial y, \quad (1.1.3)$$

Компоненти швидкості відповідно до закону Дарсі у вибраній точці будуть:

$$U_x = - k J_x, \quad U_y = - k J_y, \quad (1.1.4)$$

де k – коефіцієнт фільтрації ґрунту основи.

$$U_x = - k \frac{\partial h}{\partial x}, \quad U_y = - k \frac{\partial h}{\partial y}. \quad (1.1.5)$$

Якщо продиференціювати вирази (1.1.5) в частинних прохідних, то отримаємо:

$$\frac{\partial U_x}{\partial x} = -k \frac{\partial^2 h}{\partial x^2}; \quad \frac{\partial U_y}{\partial y} = -k \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} \quad (1.1.6)$$

Підставивши в рівняння нерозривності

$$\frac{\partial U_x}{\partial x} + \frac{\partial U_y}{\partial y} = 0 \quad (1.1.7)$$

складові з рівняння (1.1.6) і скоротив величину k, отримаємо

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = 0 \quad (1.1.8)$$

Рівняння виду (1.1.8) називають рівнянням Лапласа.

Таким чином, в усіх точках області фільтрації сума других частинних похідних від h по X і по Y повинна дорівнювати нулю. Функція, яка має таку властивість, називається гармонічною.

Введемо позначення:

$$\varphi = -k h, \quad (1.1.9)$$

то φ , як і h залежить від координат:

$$\varphi = \varphi(x, y) \quad (1.1.10)$$

Користуючись (1.1.9) рівнянням (1.5) можна записати:

$$U_x = \frac{\partial \varphi}{\partial x}; \quad U_y = \frac{\partial \varphi}{\partial y}. \quad (1.1.11)$$

Тобто U_x , U_y є частинними похідними по відповідних координатах функції φ , яка залежить тільки від координат. Висновок: ламінарний рух ґрунтових вод є рухом потенціальним (безвихоревим).

Рівняння $\varphi(x, y) = \text{const}$ дає криву, у всіх точках якої потенціал швидкості однаковий, $\varphi = \text{const}$. Така крива називається лінією рівного потенціалу або еквіпотенціаллю.

Якщо вибрати спряжену з φ функцією ψ , то вона теж є гармонічною в області фільтрації, тобто

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = 0 \quad (1.1.12)$$

це рівняння

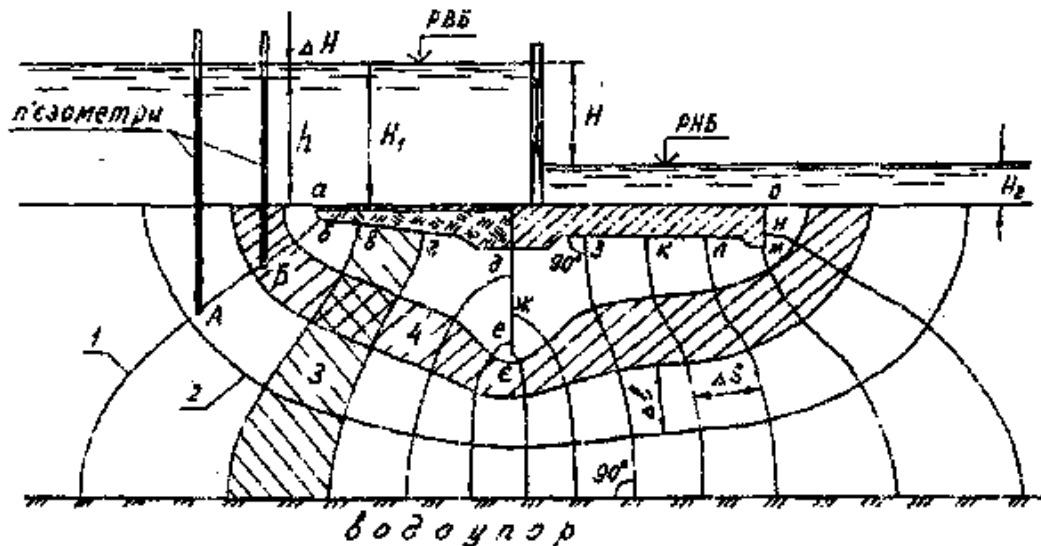
$$\Psi(x,y) = \text{const} \quad (1.1.13)$$

дає криву, яка називається лінією течії.

Функції Φ і Ψ , виражені графічно, утворюють взаємно ортогональну сітку, яка називається гідродинамічною сіткою.

Вона складається з двох систем ліній: еквіпотенціалей (ліній рівних напорів) і ліній течій, які при усталеній фільтрації є траєкторіями руху частинок рідини.

Сукупність ліній рівного напору проходить від підземного контуру до водоупору, а сукупність ліній течії – від поверхні дна верхнього б'єфа до поверхні дна нижнього б'єфа. При цьому підземний контур є першою лінією течії, а водоупор останньою (рис. 1.1.7).



1 – лінія рівного напору; 2 – лінія течії; 3 – пояс тиску; 4 – стрічка витрати.

Рисунок 7 – Гідродинамічна сітка

За допомогою гідродинамічної сітки можна визначити всі параметри фільтраційного потоку.

Лінія рівного напору розраховується за залежністю:

$$h_x = H - n \frac{H}{r} \quad (1.1.14)$$

де Π – порядковий номер ліній рівного напору.

Потім будується епюра фільтраційних напорів на підземний контур споруди. На проекції підземного контуру знаходяться точки перетину ліній рівного напору з підземним контуром споруди і відкладаються значення відповідних ординат напорів (рис. 1.1.8). Напір в будь-якій точці визначається шляхом інтерполяції між відмінними лініями рівних напорів.

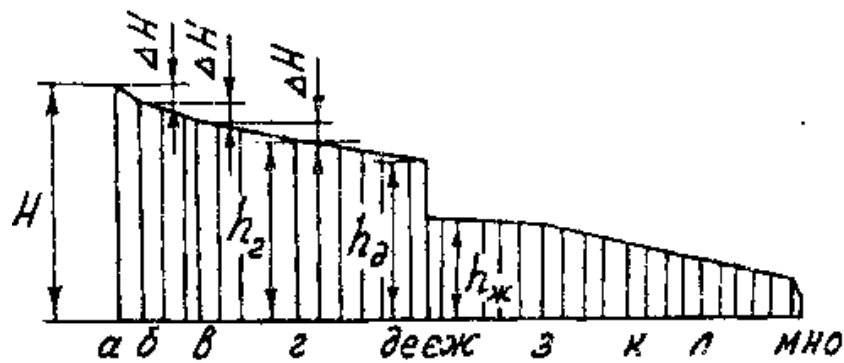


Рисунок 8 – Епюра фільтраційних напорів на флутбет, побудована за допомогою гідродинамічної сітки

Для визначення градієнта напору в довільно вибраній точці M через неї проводиться допоміжна лінія течії (аб) довжиною ΔS . Значення градієнта напору визначається за залежністю:

$$J_M = \frac{(h + \Delta h) - h}{\Delta S} = \frac{\Delta h}{\Delta S}, \quad (1.1.15)$$

де $h + \Delta h$ і h – значення напорів на лініях рівних напорів, найближчих до т.М.

Швидкість фільтрації:

$$v_M = k J_M = k \frac{\Delta h}{\Delta S}, \quad (1.1.16)$$

де k – коефіцієнт фільтрації ґрунту основи.

Для визначення швидкостей на лінії дна нижнього б'єфа будується епюра вихідних градієнтів.

Для визначення фільтраційної витрат вибирається криволінійний квадрат гідродинамічної сітки розмірами ΔS_1 і ΔS_2 на лініях течій і розмірами Δl_1 і Δl_2 на лініях рівного напору (рис. 1.1.9).

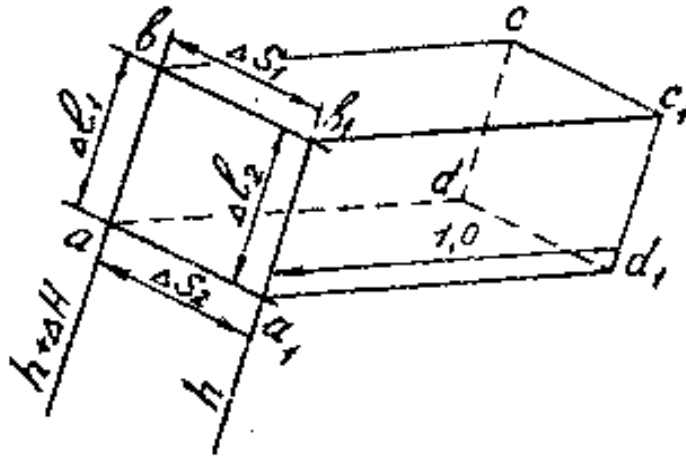


Рисунок 9 – Схема для визначення фільтраційної витрати

Витрата дорівнює:

$$q = S_{cp} v_{cp} , \quad (1.1.17)$$

де S_{cp} – середнє значення площі поперечного перерізу;

v_{cp} – середнє значення швидкості руху.

Значення S_{cp} і v_{cp} визначається за залежностями:

$$S_{cp} = \frac{\Delta l_1 + \Delta l_2}{2} \cdot 1 = \Delta l_{cp} \cdot 1 \quad (1.1.18)$$

$$v_{cp} = k J_{cp} = k \frac{\Delta H}{\Delta S_{cp}} \quad (1.1.19)$$

$$\Delta S_{cp} = \frac{\Delta S_1 + \Delta S_2}{2} \quad (1.1.20)$$

$$q = k \Delta H \frac{\Delta l_{cp}}{\Delta S_{cp}} \quad (1.1.21)$$

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. За якими ознаками класифікують ГТС?
2. Які наслідки впливу дії води на ГТС?
3. Назвіть складові частини флютбету.
4. Які припущення допускаються для теоретичних методів розрахунку фільтрації?
5. Що таке екіпотенціаль?
6. З якою метою складається гідродинамічна сітка?
7. Як визначити фільтраційну витрату?