**.** **Канали та регулюючі споруди**

***6.1. Загальні відомості і класифікація каналів***

Каналами називаються відкриті штучні русла, які транспортують воду для народногосподарських потреб. За господарським призначенням канали поділяються на енергетичні, водопровідні, зрошувальні, осушувальні, судноплавні, обводнювальні, рибохідні, лісосплавні та комплексні. В залежності від призначення каналів ставляться різні вимоги до їх конструкції та режиму роботи.

Енергетичні канали підводять воду з водосховищ чи річок до дериваційних гідроелектростанцій. З метою зменшення втрат енергії їм задають мінімальні уклони. Витрати їх досягають 2000 м3/с, а довжина не перевищує 20 км.

Водопровідні канали служать для водопостачання населених пунктів та промислових підприємств. Вони повинні мати підвищену надійність, щоб забезпечити цілорічну безперервну роботу.

Зрошувальні канали подають воду на зрошувальні системи. При трасуванні їх розміщують на відмітках, які дозволяють забезпечити командування, по можливості, над більшою площею зрошувальних земель.

Осушувальні канали влаштовують для осушення заболочених територій та відведення дренажних вод в основні водоприймачі. З метою найкращого дренування території їх розміщують на найнижчих відмітках рельєфу.

Судноплавні канали входять до складу воднотранспортних магістралей. Їх розміри та режим роботи залежать від типу та габаритів суден, що проходять по каналу.

Обводнювальні канали подають воду для обводнення безводних та маловодних сільськогосподарських районів та районів тваринництва.

Рибохідні канали служать для подачі води в нерестилища та пропуску риби в обхід гідротехнічних споруд.

Лісосплавні канали служать для сплаву деревини в місцях лісорозробок.

Комплексні канали виконують одночасно кілька з вище вказаних функцій.

За способом подачі води в них канали поділяються на самопливні та машинні, вода в які подається за допомогою насосних станцій. За умовами використання канали, як і інші гідротехнічні споруди, поділяються на постійні та тимчасові, постійні можуть бути основними та другорядними.

За капітальністю постійні канали поділяються на чотири класи капітальності.

За геологічними умовами траси канали поділяються на такі, що проходять в нескельних та скельних грунтах.

За характером уклону бувають канали з прямим, зворотним та нульовим уклонами.

За технологічними умовами роботи канали бувають з безперервним та періодичним процесом роботи.

За формою живого перерізу розрізняються канали трапецієвидні, напівкруглі, полігональні, параболічні та прямокутні.

За станом потоку розрізняються канали з спокійним та бурхливим станом потоку. Часто в межах одного каналу зустрічаються ділянки з різним станом потоку.

Кожен канал в процесі експлуатації працює при різних видах руху: усталеному, неусталеному, рівномірному, нерівномірному. Переважає нерівномірний неусталений рух внаслідок взаємного впливу споруд, водорозподілу та різних випадкових чинників (втрати води, вихід грунтових вод, впадання інших водотоків.)

***6.2. Гідравлічні розрахунки каналів***

При проектуванні каналів основні розрахунки проводяться для рівномірного та нерівномірного руху. Неусталений рух враховується при вирішені задач управління технологічними процесами на каналах (водорозподіл, захист від наносів, аварійна обстановка та інше), виборі кріплення тощо.

В залежності від призначення, інженерно-геологічних, топографічних умов, способу виконання робіт, витрат води, режиму роботи, типу кріплення та інших факторів вибирається та розраховується форма і розміри поперечного перерізу каналу.

Найбільш поширена трапецієвидна форма живого перерізу каналів різного призначення. Полігональна, параболічна, напівкругла та прямокутна форми живого перерізу зустрічаються рідше, хоча вони є вигіднішими в гідравлічному відношенні, ніж трапецієвидна, але останній надається перевага за умовами виконання робіт.

Найвигіднішим перерізом каналу в гідравлічному відношенні є такий, що має найбільше значення гідравлічного радіуса. Для трапецієвидних каналів цей переріз визначається співвідношенням

 , (6.1)

де *в* – ширина каналу низом; *h* – глибина води; *т = ctgα* – коефіцієнт закладання укосу.

Але гідравлічно найвигідніші перерізи при найчастіше вживаних закладаннях укосів *т =* 1,5-3,0 мають відносно малу ширину низом та велику глибину, що не завжди доцільно, особливо при будівництві великих каналів. На практиці співвідношення *в/h* переважно приймають більшим ніж за залежністю (6.1).

Дуже важливим показником при розрахунку каналів вважається швидкість руху води, від якої залежить пропускна спроможність при заданих розмірах поперечного перерізу.

Середня швидкість води в каналах *Vm* повинна відповідати умові

 ,

де *VS* – незамулююча швидкість; *Vadm* – нерозмивна швидкість.

Нерозмивна швидкість. Якщо канал проходить в незв'язних грунтах, що близькі до неоднорідних (*d*10/*d*50 ≈ 0,2 – 0,3), то середня нерозмивна швидкість визначається за залежністю Б.І. Студеничникова

 , (6.2)

де *h* – глибина потоку, м; *d*50– середній діаметр частинок грунту ложа каналу, м; *d*10 – діаметр частинок, дрібніше яких в грунті знаходиться 10% за масою, м.

Якщо ж канал проходить в незв'язних грунтах, що близькі до однорідних (*d*10/*d*50≈ 0,67), то

 . (6.3)

Коли канал прокладається в рихлих грунтах, то нерозмивна швидкість зменшується на 15%. При наявності в потоці завислих наносів нерозмивна швидкість збільшується на коефіцієнт *К*, який дорівнює

 , (6.4)

де *ρ* – мутність потоку, кг/м3.

Нерозмивна швидкість для всіх видів грунтів (незв'язних, зв'язних та скельних) та закріплених русел визначається за таблицями в довідковій літературі.

Незамулююча швидкість. Середня незамулююча швидкість визначається за залежністю

 , (6.5)

де *е* – коефіцієнт, що визначається за рекомендацією І.І. Леві,

 ; (6.6)

*ω* – гідравлічна крупність завислих наносів діаметром *dcp*, мм/с; *dcp* – середній діаметр завислих наносів, мм; *р* – процент (за масою) завислих наносів розміром більше 0,25 мм; *п* – коефіцієнт шорсткості русла; *R* – гідравлічний радіус, м.

При проектуванні іригаційних каналів застосовується формула С. Х. Абальянца

 , (6.7)

де *ρср* – середня мутність потоку, кг/м3, *ωср* – середня гідравлічна крупність наносів, мм/с.

Середня швидкість. Середня швидкість води в каналі визначається за залежністю

 , (6.8)

де *С* – коефіцієнт Шезі; *R* – гідравлічний радіус; *І* – уклон поверхні води.

**Канали з рівномірним рухом води.** В практиці гідротехнічного та гідромеліоративного будівництва частіше всього споруджуються канали з трапецієвидною формою поперечного перерізу. Витрата води в каналі *Q* при рівномірному русі води і площі живого перерізу каналу *S* визначається за формулою Шезі

 . (6.9)

При гідравлічних розрахунках каналів вирішуються три основні задачі: 1) при відомих розмірах каналу *в, h, m* коефіцієнті шорсткості *п* і уклоні поверхні води *і* визначається середня швидкість *Vm* за залежністю (6.8) та витрата *Q* за залежністю (6.9); 2) при заданій витраті *Q*, розмірах каналу та коефіцієнті *п* визначається уклон поверхні води за формулою

 . (6.10)

Якщо необхідно знайти уклон каналу за значенням нерозмивної чи незамулюючої швидкості, то використовується формула

 , (6.11)

в яку замість *Vm* підставляють *Vadm* чи *VS*; 3) найчастіше в проектній практиці зустрічаються задачі, коли за відомими *Q*, *і*, *п* визначаються розміри каналу, тобто *в* та *h*, то одна з них задається, а інша визначається.

**Канали з нерівномірним усталеним рухом води.** В гідротехнічній практиці часто зустрічаються канали зі змінними по довжині потоку середніми швидкостями і площами живих перерізів. Крім того, в процесі їх експлуатації витрати води змінюються в часі, що пов'язано з періодичністю поливу на полях, зміною водоспоживання як в розрізі року, сезону, так і доби, різним навантаженням гідроелектростанцій, шлюзуванням суден тощо. Такі умови спричиняють до виникнення в каналах нерівномірного руху з утворенням кривих спаду чи підпору. Диференціальне рівняння усталеного нерівномірного плавнозмінного руху води в призматичних руслах, що найбільш поширені в меліоративній практиці, записується у вигляді (при *і0 >* 0 )

  (6.12)

де *h* – глибина води на ділянці нерівномірного руху; *l* – довжина нерівномірного руху; і0 – уклон дна; *К*0 – витратна характеристика рівномірного руху. ; *К* – витратна характеристика нерівномірного руху, ; *j* – фіктивний параметр кінетичності, що відповідає рівномірному руху в живому перерізі з глибиною *h* нерівномірного руху, ; *В* – ширина потоку верхом; *χ* – змочений периметр русла.

З усіх методів, які використовуються для розв’язання задач при усталеному нерівномірному русі води в каналах на підставі рівняння (6.12), найбільш точним є метод В.І. Чарномського. Цей метод ґрунтується на безпосередньому інтегруванні рівняння нерівномірного руху (6.12) з використанням методу кінцевих різниць і може використовуватись для розрахунку будь-яких русел з плавнозмінним рухом води.

**Канали з неусталеним рухом води.** Неусталений рух води в каналах виникає під час повені, при аварійних скидах з водосховищ, при різких коливаннях рівнів і витрат води, при зміні рівнів і витрат води в часі в будь-якому створі чи по всій довжині русла. Місце, де виникають первісні зміни в будь-якому створі, є джерелом збурення, джерелом виникнення хвилі чи низки хвиль, які є характерною особливістю неусталеного руху. На відміну від вітрових хвиль, хвилі збурення переносять значні маси води і тому називаються хвилями переміщення, що поширюються зі швидкістю

 , (6.13)

де *Vm* – середня швидкість потоку при рівномірному русі; *S* – площа живого перерізу каналу в місці збурення; *В* – ширина каналу верхом.

Ці хвилі поширюються як за течією – прямі хвилі (знак +), так і проти течії – зворотні хвилі (знак –), при цьому в обох випадках глибина потоку зростає або знижується в залежності від співвідношення гідравлічних параметрів потоку, які змінюються повільно як в часі, так і по довжині каналу.

Висота первісної хвилі визначається за залежністю

 , (6.14)

де *Q* – витрата води в каналі в місці збурення.

Диференціальне рівняння повільнозмінного неусталеного руху у відкритих руслах записується у вигляді

 , (6.15)

де *і*0 – уклон дна каналу; *h –* глибина води в каналі при неусталеному русі; *α* – коефіцієнт кінетичної енергії; *α*0 – коефіцієнт кількості руху. Інтегруючи рівняння (6.14), визначають параметри потоку при неусталеному русі води в каналі.

Максимальний рівень води в каналі визначається з врахуванням кривої підпору, що виникає при нерівномірному русі, і висоти хвилі, що виникає при неусталеній течії.

***6.3. Призначення та розміщення регулюючих споруд***

При експлуатації гідромеліоративних систем виникає необхідність в регулюванні кількості води, що подається в систему чи окремі її ділянки, необхідність регулювання рівнів води в каналах, а також необхідність аварійного скидання лишків води або спорожнення окремих ділянок каналів чи системи в цілому. Споруди, які влаштовуються для виконання вказаних функцій, називаються регулюючими або регуляторами (шлюзами-регуляторами). За призначенням регулюючі споруди можна поділити таким чином:

1. регулятори-водовипуски, що регулюють подачу кількості води в канал;
2. підпірні або перегороджуючі, що створюють підпір та регулюють рівні води в каналах;

3) водоскидні або регулятори-водоскиди, що скидають воду при переповненнях каналів чи аваріях на них;

4) промивні, що не допускають попадання наносів в канал, а змивають їх постійно чи періодично в нижній б'єф;

5) вододільники, що поділяють всю витрату чи її частину між декількома каналами у певному співвідношенні.

В багатьох випадках регулюючі споруди на каналах компонуються для виконання декількох задач, утворюючи при цьому вузол споруд.

Водовипуски розміщуються на початку кожного з відвідних каналів для регулювання витрати води, що надходить в той чи інший канал, чи для повного його відключення. Водопідпірні споруди на відміну від водовипусків встановлюються не на початку, а на трасах каналів. Основне їх призначення – це створення рівнів води, що забезпечують надходження у відвідні канали необхідних витрат води при мінімальних розрахункових витратах цього каналу.

Водопідпірна споруда, збільшуючи глибину, зменшує швидкість води в каналі, що може призвести до відкладання наносів перед спорудою. Щоб не допустити цього, часом поруч з водопідпірною спорудою влаштовуються промивні чи скидні споруди з таким розрахунком, щоб була можливість періодично змивати наноси в скидну мережу. Кінцеві скиди (регулятори-водоскиди) влаштовуються в кінці кожного розподільника. З їх допомогою забираються лишки води із зрошуваної території та спорожнюються канали. Іноді водоскидна споруда розміщується не в кінці каналу, а в місцях його перетину з пониженням місцевості – видолинки, балки, яри. Така споруда має спеціальний оголовок, через який зливається вода при непередбачених переповненнях каналу і називається катастрофічним водоскидом. Один з варіантів розміщення споруд показаний на рис. 6.1.

Регулятори – це масові споруди на мережі, вартість яких складає 40-60% від вартості системи. При їх спорудженні необхідно використовувати стандартне обладнання і місцеві матеріали, конструктивні елементи повинні бути доступними для огляду та ремонту, допускати заміну деталей без порушення роботи.

Рис. 6.1. Схема розміщення споруд на каналі: 1 – підпірний регулятор; 2 – промивний регулятор; 3 – бічний регулятор; 4 – автоматичний (аварійний) скид; 5 – магістральний канал

***6.4. Основні типи регуляторів та їх конструктивні***

***особливості***

За конструктивними ознаками розрізняють три типи регуляторів: відкриті, закриті або трубчасті та діафрагмові (зі забральною балкою).

**Відкриті регулятори** (рис. 6.2) складаються з флютбету, повздовжніх стінок (берегових стоянів), затворів, підйомних механізмів та мостів.

Рівень води у відкритому регуляторі доступний для замірів та спостережень, а елементи споруди – для огляду та ремонту. Відкритим регуляторам надається перевага в таких випадках: при малих глибинах в каналі та незначних коливаннях рівня верхнього б'єфа; коли максимальну витрату необхідно пропустити при незначному гідравлічному перепаді (0,1 м та менше); при необхідності пропуску в нижній б'єф плаваючих предметів; на каналах, які працюють в льодових умовах; при використанні їх, як перегороджуючих споруд; при встановленні автоматичного вододіючого затвора.



Рис. 6.2. Відкритий регулятор на каналі: 1 – понурний шпунт; 2 – понур; 3 - королевий шпунт; 4 – водобій; 5 – рисберма; 6 – зворотний фільтр; 7 – кріплення укосів плитами; 8 – кам'яна призма; 9 – службовий місток; 10 – затвор; 11 – берегові стояни

До недоліків, що збільшують вартість споруди, слід віднести необхідність влаштування службового, а іноді і проїжджого мостів, що опираються на стояни, розміри яких повинні бути визначені з врахуванням цього навантаження.

Кількість прогонів повинна бути мінімальною та непарною, щоб виключити збійність потоку в нижньому б'єфі. Розміри елементів флютбету визначаються на основі фільтраційних та гідравлічних розрахунків за умови розміщення затворів, водобійних пристроїв та мостів. Довжина берегових стоянів ув'язується з розмірами водобою. Відмітка порога регулятора, звичайно, встановлюється на рівні дна каналу.

При значних витратах та напорах влаштовується залізобетонні регулятори докової конструкції, що являють собою жорстко з'єднані бики та берегові стояни з флютбетом (донною плитою). Це дозволяє надати споруді економічних контурів. Монолітні бетонні, кам'яні, кам'яно-бутові та цегляні споруди влаштовуються, як правило, розрізної конструкції при порівняно невеликих витратах та напорах. При цьому флютбет (водобій) відділяється від берегових стоянів та биків конструктивними швами.

Водопропускні отвори відкритого регулятора перекриваються плоскими чи сегментними металевими затворами. Висота стоянів та биків при цьому повинна бути достатньою для підйому затвора на повне відкриття.

Підпірні регулятори можуть бути різних конструкцій, основним призначення яких є підтримання в каналі старшого порядку певних горизонтів води з метою забезпечення нормальної роботи молодших каналів (відводів) нижчого порядку. У верхньому б'єфі підпірного регулятора, внаслідок його специфічної роботи, утворюється підпір, який небажаний на каналах з малими уклонами дна (осушувальні системи). З метою недопущення цього небажаного явища підпірні регулятори на осушувальних системах проектуються таким чином, щоб ширина отвору регулятора була не меншою, ніж середня ширина потоку в каналі. При цьому можливий варіант, коли ширина отвору регулятора більша за ширину каналу низом і для спряження з каналом необхідно влаштовувати перехідні ділянки у вигляді косих площин. В конструктивному відношенні такі регулятори найчастіше аналогічні відкритим.

Вододільники – це відкриті регулятори, що забезпечують поділ води в певнихспіввідношеннях між двома та більше каналами. Розміщуються вони поперек підвідного каналу фронтально до потоку, як і підпірні регулятори. Для нормальної роботи володільників необхідно забезпечити однакові умови підходу потоку до кожного прогону та однакові коефіцієнти витрати. Перша вимога досягається за умовиспокійного і плавного підходу води до випусків дільників та розміщення порогів-відводів на однакових відмітках. Друга вимога забезпечується за умови вільного витікання потоку через водозливи без підтоплення та однакових конструкцій вхідних частин. Дотримання цих умов забезпечує поділ загальної витрати пропорційно ширині отвору випуску.

Розподільні вузли (вузли регуляторів) на каналах розміщуються в місцях розгалуження каналу на декілька менших відвідних каналів. До складу розподільного вузла входить підпірна споруда, що перегороджує канал старшого порядку та один або декілька бічних регуляторів-водовипусків, що живлять відвідні канали. Іноді у розподільних вузлах передбачаються промивні споруди. Для виконання головної умови – забезпечення точного регулювання параметрів потоку, всі регулятори, які входять до складу вузла, а також і ті, що працюють окремо від нього, повинні мати необхідні водомірні властивості, які досягаються шляхом забезпечення прямолінійності та ретельної очистки каналу на ділянці 150... 300 м до і після регулятора.

В практиці гідротехнічного будівництва меліоративних об'єктів використовуються дві основні схеми компонування розподільних вузлів: зближена (зблокована) та віддалена.

З точки зору затрат будівельних матеріалів та технічної експлуатації зближене компонування вигідніше. Спільний понур, короткі з'єднувальні стінки знижують вартість вузла. Недоліком такого компонування можна вважати незручність в керуванні водою, тому що близько розміщені регулятори впливають один на одного при вимірюванні витрат води (погіршується їх водомірність).

При віддаленій схемі компонування вузла регуляторів збільшується їх вартість, бо кожна споруда зводиться окремо, а тому застосовувати таку схему можна лише після відповідного техніко-економічного обґрунтування.

**Трубчасті закриті регулятори** (рис 6.3) складаються з труб, які розміщені на деякій глибині від поверхні, вхідного та вихідного оголовків, затворів з підйомниками та гасителів енергії в нижньому б'єфі. Вони застосовуються в таких випадках: коли канал проходить в глибокій виїмці; при значних коливаннях рівня верхнього б'єфа (0,5 м і більше); коли при відносно великих напорах пропускаються малі витрати (водовипуски магістральних каналів); при влаштуванні переїзду через регулятор; при використанні їх як регуляторів-водомірів. Трубчасті регулятори не рекомендується застосовувати в тих випадках, коли мінімальна витрата проходить із замулюючими швидкостями.

Основними недоліками трубчастих регуляторів є трудність профілактичного ремонту та огляду, а також зміна гідравлічних режимів, що несприятливо впливає на роботу стиків труб.

Труби можуть бути круглого, прямокутного та полігонального поперечного перерізів. Довжина трубчастої частини регулятора, який суміщено з переїздом, визначається шириною проїжджої частини. При великих напорах трубчасті регулятори влаштовуються з залізобетону, а при малих (на іригаційних системах) – з бетону. Основа під трубою повинна бути міцною (втрамбований грунт або шар щебеню чи бетону), а для попередження фільтрації вздовж труби навколо неї укладається м'ята глина чи важкий суглинок шаром не менше 0,5 м. Крім цього, іноді по довжині труби влаштовуються ребра-діафрагми висотою 0,5... 1,0 м. Окремі ланки труб з'єднуються між собою за допомогою фальцевих, розтрубних, фланцевих та муфтових з'єднань.

Число отворів (ниток) трубчастого регулятора визначається гідравлічними та техніко-економічними розрахунками, але їх кількість має бути непарною, щоб мати можливість за рахунок маневрування затворами уникнути збійності потоку в нижньому б'єфі споруди.

Затвори на трубчастих не автоматизованих регуляторах встановлюються як на вході, так і на виході з труби. Встановлення затворів на виході має ряд переваг: зручність управління, доступність огляду та ремонту, незмінність напірного режиму роботи труби. Але при цьому труба завжди знаходиться під напором, створюються умови для замулення при повному закритті затвора, виникає необхідність у влаштуванні ремонтних затворів чи пазів на вході.



Рис. 6.3. Трубчастий регулятор: 1 – пірнаюча стінка; 2 – понур; 3 – затвор; 4 – підготовка; 5 – ланка труби; 6 – водобій; 7 – водобійна стінка; 8 – кам'яна призма

**Діафрагмові регулятори** є різновидом відкритих регуляторів і відрізняються від них тим, що верхня частина отвору на вході перекрита поперечною стінкою, яка, в залежності від розмірів, називається забральною балкою чи діафрагмою, що дозволяє зменшити висоту затворів та потужність підйомників (рис. 6.4). Одночасно діафрагма служить за поперечну розпірку, збільшуючи таким чином жорсткість конструкції, що дозволяє зменшити товщину поздовжніх стінок регулятора.

Діафрагмові регулятори влаштовуються для відводів з невеликим відбором води та при значних коливаннях рівнів в каналі старшого порядку перед спорудою.

Рис. 6.4. Регулятор з діафрагмою: 1 – понур; 2 – шпунт; 3 – затвор; 4 – водобій; 5 – діафрагма; 6 – рисберма; 7 – зворотний фільтр; 8 – кам'яна призма

Вони часто використовуються як промивні та скидні регулятори, особливістю роботи яких є наявність великих швидкостей в межах споруди, а також як звичайний регулятори на каналах, що проходять в глибоких виїмках.

***6.5. Проектування та гідравлічний розрахунок регуляторів***

**Вибір споруди.** При проектуванні великих відповідальних гідротехнічних споруд для забезпечення їх нормальної роботи враховується весь комплекс техніко-економічних та експлуатаційних умов. А тому такі споруди будуються за індивідуальними проектами. Майже 95 % внутрісистемних споруд, які обслуговують окремі канали, чи їх ділянки, розраховані на невеликі витрати (до 10 м3/с) і за багатьма показниками знаходяться приблизно в однакових умовах. Це дозволяє перейти від індивідуального до типового проектування, знижуючи цим їх загальну вартість.

**Гідравлічні розрахунки регуляторів.** На основі гідравлічних розрахунків визначаються розміри отворів та труб, умови пропуску витрат та безпечні умови спряження б'єфів.

Регулятори на меліоративних системах пропускають воду в умовах вільного чи підтопленого витікання по схемі водозливу, щитового отвору чи труби.

1) Водозлив з широким порогом. Така схема пропуску витрати через регулятор має місце у випадку повного відкриття водопропускного отвору. Вибір розрахункової формули залежить від умов протікання потоку через водозлив: вільне чи підтоплене.

Критерій підтоплення визначається за залежністю

 , (6.16)

де *h* – глибина води на порозі регулятора (глибина підтоплення);

*Н*0 – глибина води перед спорудою з врахуванням швидкості підходу,

;

*α* – коефіцієнт кінетичної енергії; *V*0 – швидкість підходу.

Рис. 6.5. Витікання через водозлив з широким порогом

При *п* < 0,8 витікання вільне, водозлив непідтоплений, а при *п* ≥ 0,8 – витікання підтоплене.

а) вільне витікання

 , (6.17)

де *Q* – витрата води; *ε* – коефіцієнт бокового стиснення потоку; *m* – коефіцієнт витрати (при відсутності порога *m* = 0,38); *в* – ширина отвору споруди.

б) підтоплене витікання

 , (6.18)

де – *φ* коефіцієнт швидкості (при відсутності порога *φ* = 0,99).

1. Водозлив з тонкою стінкою (рис. 6.6). Якщо відбувається перелив через затвор чи шандорну стінку, то пропускна спроможність непідтопленого водозливу визначається за залежністю (6.17), причому, коефіцієнт витрати для тонкої стінки *т* = 0,42(для товстої *т* = 0,40). Витрата для затоплених водозливів, коли рівень води в нижньому б'єфі перевищує відмітку порога водозливу, визначається за залежністю (6.17) з врахуванням коефіцієнта затоплення *σ*3.

3) Витікання з-під щита. В процесі експлуатації можливе неповне відкриття затвора для пропуску проміжних витрат. При цьому розглядаються два випадки витікання з-під шита:

а) вільне витікання (рис. 6.7), коли рівень води в нижньому б'єфі не впливає на характер витікання

Рис. 6.6. Водозлив з тонкою стінкою

 , (6.19)

де *εв* – коефіцієнт вертикального стиснення; *hщ* - висота підняття щита.

б) затоплене витікання (рис. 6.8) має місце, коли глибина в природних умовах більша за другу спряжену, тобто витікання відбувається як через затоплений отвір



Рис. 6.7. Вільне витікання з-під щита Рис. 6.8. Затоплене витікання з-під щита

 , (6.20)

де *z*0 –різниця рівнів води верхнього та нижнього б'єфів з врахуванням швидкості підходу.

4) Труби. Трубчасті регулятори можуть працювати в безнапірному чи напірному режимі. Безнапірна труба розраховується як водозлив з широким порогом. При розрахунках напірної труби можливі два випадки (рис. 6.9):

а) затоплене витікання – рівень води в нижньому б'єфі вище центра вихідного отвору, розраховується за формулою

 , (6.21)

де *μ* – коефіцієнт витрати труби; *S* – площа поперечного перерізу труби.

б) незатоплене витікання – рівень води в нижньому б'єфі нижче центра труби, розраховується за формулою

 , (6.22)

де *Н*0 – напір над дном вихідного отвору труби з врахуванням швидкості підходу; *d* – діаметр чи висота труби.

Якщо кількість прогонів більше, одного, то при певних схемах пропуску витрат води в нижньому б'єфі може виникнути збійність потоку, що призводить до зростання швидкостей та розмивної здатності потоку на значній відстані від споруди.



Рис. 6.9. Витікання через трубу

Щоб уникнути цього небажаного явища, гасителі енергії потоку влаштовуються навіть тоді, коли за розрахунками вони не потрібні. Їх розміри визначаються конструктивно.