

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

Т. О. Шевченко

СПЕЦІАЛЬНІ ПИТАННЯ ГІДРАВЛІКИ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

*(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
всіх форм навчання спеціальності
194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології)*

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2022

Шевченко Т. О. Спеціальні питання гідравліки : конспект лекцій для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм навчання спеціальності 194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології. / Т. О. Шевченко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2022. – 105 с.

Автор канд. техн. наук, доц. Т. О. Шевченко

Рецензент

І. М. Чуб, кандидат технічних наук, доцент кафедри водопостачання, водовідведення і очищення вод Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

Рекомендовано кафедрою водопостачання, водовідведення і очищення вод, протокол № 1 від 01.09.2021.

© Т. О. Шевченко, 2022

© ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2022

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 Гідравлічний розрахунок деяких гідротехнічних споруд.....	6
Тема 1 Рівномірний рух води у відкритих руслах.....	6
1.1 Розрахункові швидкості води в каналі.....	9
1.2 Гідравлічно найвигідніший переріз каналу.....	11
Тема 2 Водозливи, ливневипуски і випуски.....	13
2.1 Основні типи водозливів і форми струменя.....	13
2.2 Гідравлічний розрахунок водозливу.....	16
Тема 3 Гідравлічний стрибок. спряження б'єфів.....	21
3.1 Визначення довжини гідравлічного стрибка. Геометричні розміри хвильового стрибка.....	23
3.2 Визначення найменшої глибини за спорудою у нижньому б'єфі.....	26
3.3 Гідравлічний розрахунок водобійної стінки.....	28
3.4 Гідравлічний розрахунок водобійного колодязя.....	31
Тема 4 Основи проєктування та розрахунку греблі.....	36
4.1 Класифікація та призначення гребель.....	36
4.2 Основи проєктування гребель.....	40
4.3 Експлуатаційні спостереження за станом гребель.....	43
Тема 5 Мости, труби та трубчасті споруди.....	47
5.1 Малі мости.....	47
5.2 Розрахунок отворів малих мостів і труб з урахуванням акумуляції.....	49
5.3 Мости – водоскиди.....	50
5.4 Водопропускні (дорожні) труби.....	51
5.5 Трубчасті водоскиди.....	53
2 Основи гідравлічного розрахунку деяких споруд систем водопостачання та водовідведення.....	55
Тема 6 Принципи гідравлічного розрахунку споруд механічного очищення стічних вод.....	55
6.1 Принципи гідравлічного розрахунку піскоуловлювачів.....	56
6.2 Принципи розрахунку відстійників.....	59
6.3 Принципи гідравлічного розрахунку гідроциклонів.....	64
Тема 7 Принцип розрахунку ковшового водозабору.....	66
7.1 Ковшові водозабірні споруди.....	66
Тема 8 Принципи влаштування та особливості гідравлічного розрахунку споруд для перекачування води.....	71
Тема 9 Основи проєктування регуляційних гідротехнічних споруд.....	79
9.1 Регулювання русла малих річок.....	83
9.2 Регулювання русла річки біля водозабору.....	86
Тема 10 Принцип дії та призначення іригаційних гідротехнічних споруд.....	89
10.1 Зрошувальні системи.....	91

10.2 Крапельне зрошення.....	94
10.3 Наслідки застосування систем іригації.....	96
10.4 Оптимізація землеробства та іригаційних систем.....	99
Список рекомендованих джерел.....	103

ВСТУП

Проектування гідротехнічних споруд різноманітного призначення, очисних споруд систем водопостачання та водовідведення в основному базується на врахуванні гідравлічних закономірностей руху відкритих потоків рідини. Дисципліна «Спеціальні питання гідравліки» вивчає методи розрахунку водопропускних і водорозбірних споруд, гідравлічні розрахунки дамб та окремих елементів очисних споруд з очистки природних та стічних вод [1].

Найголовніші завдання дисципліни «Спеціальні питання гідравліки»:

- вивчення особливостей проектування гідротехнічних споруд з урахуванням дії рідини, що рухається, на запроєктовані споруди;
- вивчення гідравлічних особливостей роботи окремих елементів споруд, призначених для очистки природних та стічних вод.

Мета вивчення дисципліни:

- 1) вивчення спеціальних гідравлічних розрахунків гідротехнічних споруд та елементів окремих очисних споруд систем водопостачання та водовідведення;
- 2) підготовка фахівця, який володітиме знаннями, пов'язаними з вирішенням питань проектування у галузі гідротехніки, систем водопостачання, водовідведення.

Предметом вивчення дисципліни є спеціальні гідравлічні розрахунки різноманітних гідротехнічних споруд, під час виконання яких в значній мірі розглядаються питання проектування цих споруд, а також вивчення питань, пов'язаних з гідравлічним розрахунком елементів очисних споруд систем водопостачання та водовідведення.

Необхідним елементом успішного засвоєння навчального матеріалу дисципліни є самостійна робота студентів з літературою, довідниками та державними нормами і правилами щодо роботи систем водопостачання та водовідведення.

Програмою дисципліни передбачено вивчення таких основних тем:

- рівномірний рух рідини у штучних відкритих руслах;
- водозливи, ливневипуски та випуски;
- гідравлічний стрибок, гасителі енергії;
- основи гідравлічного розрахунку деяких споруд систем водопостачання та водовідведення;
- принцип розрахунку ковшового водозабору.
- принципи влаштування та особливості гідравлічного розрахунку споруд для перекачування води;
- основи проектування регуляційних гідротехнічних споруд;
- принцип дії та призначення іригаційних гідротехнічних споруд.

1 ГІДРАВЛІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ДЕЯКИХ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД

ТЕМА 1 РІВНОМІРНИЙ РУХ ВОДИ У ВІДКРИТИХ РУСЛАХ

Безнапірним рухом являється рух рідини з вільною поверхнею у відкритих руслах, а також у трубопроводах з частковим заповненням перерізу, який відбувається під дією сили тяжіння. Рух рідини у відкритих руслах може бути усталеним та неусталеним. В свою чергу усталений рух буває рівномірним та нерівномірним (рис. 1.1) [2, 3].

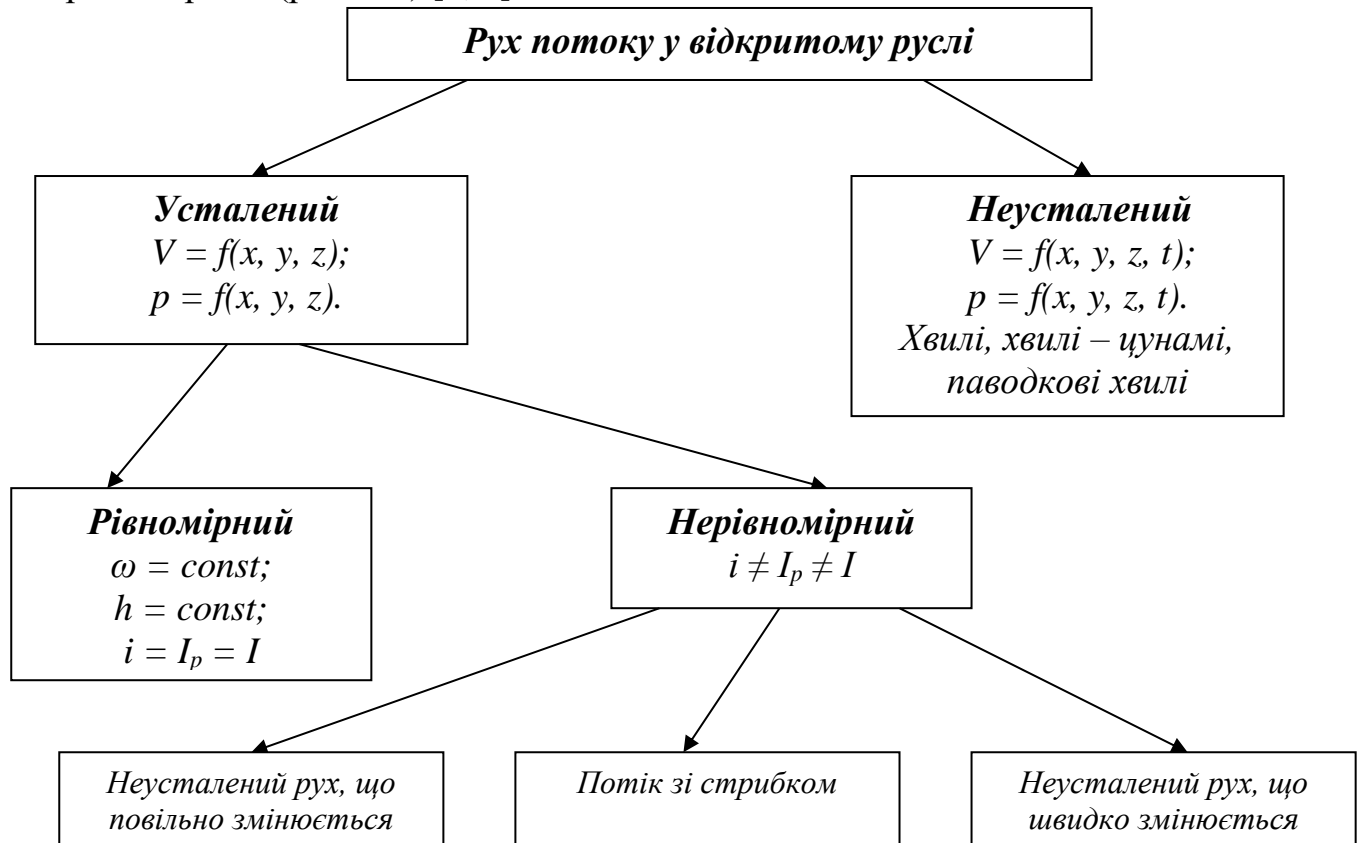


Рисунок 1.1 – Види руху рідини у відкритих руслах

Усі відкриті русла поділяються на природні та штучні водотоки. До **природних** русел належать річки, струмки, скиди за тальвегами та балками і ін. **Штучні** русла – це канали, лотки, тунелі, дренажні та інші труби, тобто більшість споруд, які застосовують у гідротехнічній та гідромеліоративній практиці.

Для відкритих русел використовують таку класифікацію:

1. За параметрами, які визначають зміну площі живого перерізу за довжиною потоку, на непрямокутні та прямокутні (і циліндричні).

У **непрямокутних руслах** форма і (або) геометричні розміри поперечного профілю змінюються за довжиною русла. Тому площа живого перерізу потоку являється функцією довжини русла і глибини потоку уздовж русла. В такому руслі рух нерівномірний.

У *призматичних руслах* форма та розміри елементів поперечного профілю за довжиною зберігаються незмінними. Площа живого перерізу потоку може змінюватися тільки у зв'язку зі зміною глибини потоку.

2. За формою профілю поперечного перерізу русла можуть бути правильної та неправильної форми (рисунок 1.2).

Призматичні русла мають *правильну* форму. Вони можуть бути прямокутні, трикутні, трапецієвидні (рис. 1.2, а, б, в). Якщо поперечний профіль русла правильної форми окреслений кривою лінією, колом (рис. 1.2, г) або параболою (рис. 1.2, з), що визначається вздовж всього русла одним рівнянням, то таке русло називається *циліндричним* (рис. 1.2, з, д).

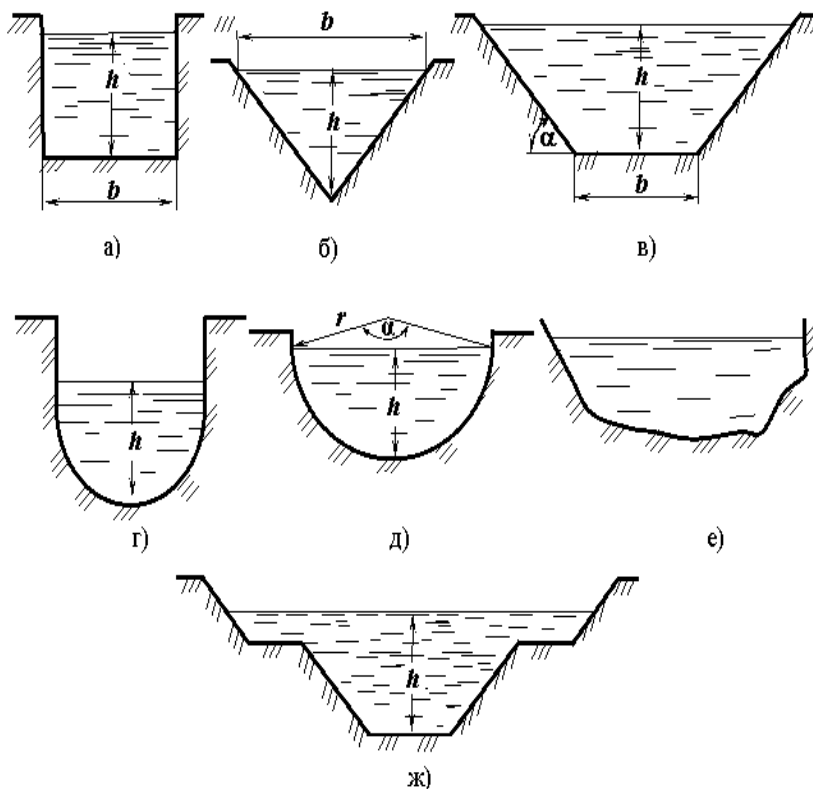


Рисунок 1.2 – Види поперечного перерізу відкритих русел:
 а – прямокутний; б – трикутний; в – трапецієвидний; з – параболічний;
 д – напівколо; е – неправильної форми (природне русло);
 ж – полігональний (складний) переріз

Правильну форму найчастіше мають штучні русла. До русел неправильної форми належать полігональні (складні) русла (рис. 1.2, ж) та русла природних потоків (рис. 1.2, е) [2–4].

Відкриті русла залежно від повздовжнього нахилу дна поділяються на:

- русла з *позитивним (прямим)* геометричним нахилом $i > 0$, коли дно русла знижується в напрямку руху потоку;
- *горизонтальні* русла за $i = 0$;
- русла з *негативним (зворотнім)* нахилом дна $i < 0$, коли дно русла підвищується в напрямку руху рідини.

Умовою рівномірного руху у відкритому руслі є такий вираз:

$$I_p = i = I_c, \quad (1.1)$$

де I_p – п'єзометричний нахил;
 i – гідравлічний нахил;
 I_c – нахил вільної поверхні рідини.

Рівномірний рух рідини характеризується прямими паралельними лініями потоків (траєкторіями), а також постійністю місцевої осередненої у часі швидкості уздовж кожної лінії току. Отже, для існування рівномірного руху необхідне виконання ряду умов.

На вільній поверхні безнапірних потоків встановлюється постійний, як правило, атмосферний тиск. Тому п'єзометричний ухил I_p для таких потоків відповідає ухилу вільної поверхні I_c , тобто $I_p = I_c$.

Для цього необхідно, щоб величина швидкісного напору уздовж потоку також залишалась би постійною. Це спричиняє дотримання таких умов:

- русло – призматичне;
- витрата води – постійна ($Q = const$);
- глибина уздовж русла – постійна;
- лінія дна не має переламів, тобто $i = \sin \beta = const$, при цьому $i > 0$;
- шорсткість дна і стінок постійна уздовж всього русла;
- місцеві опори у руслі відсутні.

Повністю задовольнити всі вище названі умови можуть тільки штучні русла. **Штучні водотоки** об'єднують групи каналів наступного призначення:

1) *водопровідні* для транспортування води з джерела водопостачання до місця споживання (рудники, збагачувальні фабрики, населені пункти та ін.);

2) *водовідвідні* для перекиду річок з одного басейну в інший з метою попередження обводнення;

3) *нагірні, або канали, призначені для обгородження*, вони слугують для відведення поверхневих вод з зовнішніх водозборів від родовищ корисних копалин.

Особливістю водопровідних каналів першої групи, які слугують для водопостачання гірничих підприємств, являється постійність розрахункових витрат води в них ($Q = const$). В каналах другої та третьої груп витрати можуть бути непостійними залежно від режиму річок зовнішнього водозбору.

Природні русла майже завжди непризматичні, рівномірний рух в них у чистому вигляді існувати не може, будь-які відхилення завжди мають місце. Тому практично на окремих ділянках під час невеликих змін форми і розмірів поперечних перерізів, ухилу та шорсткості дна й відкосів, у періоди, коли витрата залишається постійною, розглядають «умовний» рівномірний рух, замінюючи справжні значення параметрів деякими середніми значеннями на даній ділянці.

1.1 Розрахункові швидкості води в каналі

Розрахункова швидкість відповідає максимальній витраті води в каналі, за нею визначаються розміри перерізу. Розрахункові швидкості не повинні бути більше допустимих. В якості допустимих приймаються швидкості, які **не розмивають** ґрунт або одяг (укріплення відкосів і дна) каналів. Значення їх залежить від глибини і матеріалу, з якого складені стінки каналів.

Допустимі середні у перерізі швидкості, що не розмивають, $V_{\text{доп}}$ залежать від характеру ґрунту або типу укріплення русла та глибини водотоку (довідникові дані [5]).

Допустимі незамулюючі середні в перерізі швидкості протікання води V_{min} залежать від кількості завислих речовин, їх розмірів, витрати та глибини течії. Для визначення цих швидкостей існує ряд залежностей та таблиць.

Якщо насиченість потоку наносами з діаметром часток більше 0,25 мм не перевищує 0,01 % за вагою, то

$$V_{\text{min}} = a\sqrt{R}, \quad (1.2)$$

де R – гідравлічний радіус, м;

a – множник, що залежить від середнього діаметра часток, що переважає у масі зважених наносів (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Значення множника a залежно від середнього діаметра часток

$d_{\text{cp}}, \text{мм}$	$a, \text{м}^{1/2}/\text{с}$	$d_{\text{cp}}, \text{мм}$	$a, \text{м}^{1/2}/\text{с}$	$d_{\text{cp}}, \text{мм}$	$a, \text{м}^{1/2}/\text{с}$
0,1	0,22	0,8	0,90	1,6	1,05
0,2	0,45	1,0	0,95	1,8	1,07
0,4	0,67	1,2	1,00	2,0	1,10
0,6	0,82	1,4	1,02	3,0	1,11

Мінімальна припустима швидкість може бути визначена згідно до залежності:

$$V_{\text{min}} = \alpha h^{0,64}, \quad (1.3)$$

де α – коефіцієнт, що залежить від характеристики наносів; для великих піщаних мулистих наносів $\alpha = 0,63$, для середніх піщано-мулистих наносів $\alpha = 0,56$.

Припустима незамулююча швидкість може бути також визначена за залежністю А. С. Гіршкана

$$V_{\text{min}} = AQ^{0,2}, \quad (1.4)$$

де Q – витрата, м³/с;

A – коефіцієнт, що залежить від гідравлічної крупності наносів м³/сек. (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 – Залежність коефіцієнта А від гідравлічної крупності наносів

Гідравлічна крупність, мм/с	А
< 1,5	0,33
1,5–2,5	0,44
> 2,5	0,55

Гідравлічна крупність – це швидкість рівномірного падіння частки у нерухомій воді. Для попередження заростання каналу достатньо підтримувати в ньому середню швидкість течії води не нижче 0,5 м/с.

У трубах дощової й загальносплавної каналізації за періоду повторюваності розрахункового дощу $P = 0,5$ допускається значення самоочищувальної швидкості, $V_{min} = 0,6$ м/с. Під час руху стічних вод у дюкері $V_{min} = 0,9$ м/с.

Найменші розрахункові швидкості руху мулу V_{min} у напірних мулопроводах наведені у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Найменші розрахункові швидкості руху мулу V_{min} у напірних мулопроводах

Вміст води в мулі, %	V_{min} , м/с
98	0,7–0,8
95	1,0–1,1
90	1,5–1,6

У звичайних водопровідних каналах розрахункові швидкості знаходяться в межах 0,5–3 м/с залежно від типу ґрунтів або одежі каналу.

В умовах зимнього режиму великою небезпекою на каналах може бути глибинний лід – шуга. Основна причина появи в каналі шуги – переохолодження води.

Після утворення льодяного покриву подальше зниження температури повітря викликає лише збільшення товщини льоду, а не виділення шуги. Для швидкого утворення поверхневого льоду необхідно швидкості течії води у каналах на цей період зменшити до 0,5 м/с. Для запобігання розмиву льоду нормальні швидкості під ним не повинні перевищувати 1,2–1,5 м/с. Якщо швидкості будуть більше 2,25 м/с, поверхневий лід в каналах не утворюється.

Вибір допустимих швидкостей має велике економічне значення під час проектування та експлуатації штучних водотоків [2–4].

Для визначення середньої швидкості безнапірного рівномірного потоку отримана формула Шезі, в якій враховується геометричний нахил:

$$V = C \cdot \sqrt{R \cdot i}, \quad (1.5)$$

де С – коефіцієнт Шезі, розрахований за формулами Маннінга, М. М. Павловського та ін. (Гангільє-Куттера, І. І. Агроськіна та ін.):

– формула М. М. Павловського

$$C = \frac{1}{n} R^y, \quad (1.6)$$

де n – коефіцієнт шорсткості, визначається за довідниковими даними;
 y – змінний показник ступеня:

$$y = 2,5\sqrt{n} - 0,13 - 0,75\sqrt{R}(\sqrt{n} - 0,1). \quad (1.7)$$

Для спрощення розрахунку показнику ступеня формула (1.7) скорочується залежно від величини гідравлічного радіуса:

– якщо $R < 1$ м $y = 1,5\sqrt{n}$,

– якщо $R > 1$ м $y = 1,3\sqrt{n}$.

– формула Маннінга:

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6}. \quad (1.8)$$

Витрата у перерізі русла визначається за формулою

$$Q = \omega \cdot c \cdot \sqrt{R \cdot i} = K \cdot \sqrt{i}, \quad (1.9)$$

де K – модуль витрати або витратна характеристика.

1.2 Гідравлічно найвигідніший переріз каналу

Гідравлічно найвигіднішим перерізом каналу являється переріз, що здатний за заданої площі забезпечити максимальну пропускну здатність.

Як відомо з геометрії, найменшим периметром (з усіх можливих) володіє коло, і *гідравлічно найвигіднішим перерізом для відкритих каналів був би переріз, який має форму півкола.*

Далі за заданою площею меншими периметрами володіють правильні багатокутники, довжина їх периметра буде тим менше, чим більше число сторін.

На практиці найбільш часто зустрічаються канали **трапецієвидного перерізу** з наступними елементами гідравлічної характеристики (рис. 1.3):

– площа змоченого перерізу

$$\omega = (b + mh)h, \quad (1.10)$$

– змочений периметр

$$X = b + 2h\sqrt{1 + m^2}, \quad (1.11)$$

– гідравлічний радіус

$$R = \frac{\omega}{X}, \quad (1.12)$$

де b – ширина каналу по дну, м;
 m – коефіцієнт закладення відкосів, $m = \text{ctg}\beta$;
 h – глибина каналу, м;
 B – ширина каналу по вільній поверхні, м.

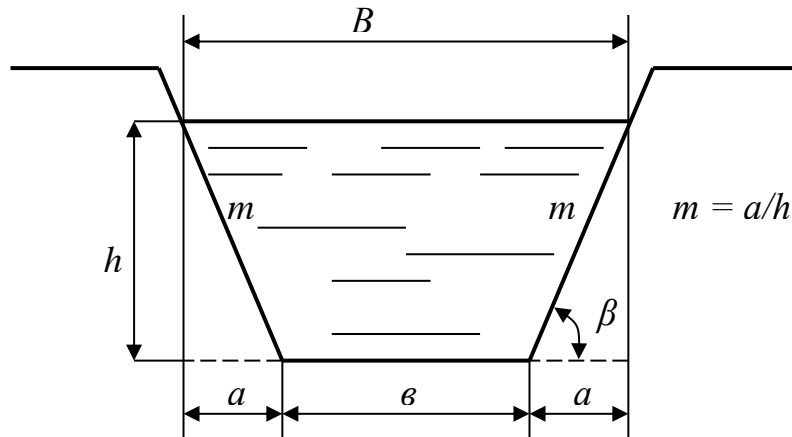


Рисунок 1.3 – Основні елементи трапецієподібного перерізу відкритого каналу

Контрольні питання

1. Дайте визначення рівномірного руху рідини у відкритих руслах. Чим такий рух характеризується?
2. Наведіть класифікацію відкритих русел за формою профілю поперечного перерізу. Дайте пояснення до неї.
3. Наведіть умови для того, щоб величина швидкісного напору уздовж потоку залишалась постійною. В яких руслах можливо дотримуватися цих умов?
4. За якими формулами визначають допустимі незамулюючі середні в перерізі швидкості?
5. За якою формулою визначають середню швидкість безнапірного рівномірного потоку? Дайте пояснення до неї.
6. Дайте визначення гідравлічно найвигіднішого перерізу каналу. Русла з якою формою поперечного перерізу належать до гідравлічно найвигідніших?

ТЕМА 2 ВОДОЗЛИВИ, ЛИВНЕВИПУСКИ І ВИПУСКИ

2.1 Основні типи водозливів і форми струменя

Водозливом називають безнапірний отвір (виріз у стінці), через який протікає рідина [2–4, 7].

Класифікують водозливи за багатьма ознаками. Ось деякі ознаки, за якими розділяють водозливи:

1) за геометричною формою водозливи бувають:

- прямокутні;
- трикутні;
- трапецієвидні;
- кругові;
- параболічні;
- з нахиленим гребенем;

2) за окресленням водозливної стінки у плані водозливи поділяють на:

- з прямолінійним у плані гребенем: нормальні або лобові, косі, бокові;
- з непрямолінійним у плані гребенем: полігональні або ломані, криволінійні, замкнені (кільцеві);

3) за товщиною поперечного перерізу стінки розрізняють:

- водозливи з тонкою стінкою – $0,1-0,5H$;
- водозливи з широким порогом – $2-8H$;
- водозливи з стінкою практичного профілю.

Область потоку перед водозливом називається *верхнім б'єфом*, а за ним – *нижнім б'єфом*. Верхня кромка водозливу називається *гребенем*. Перевищення рівня води у верхньому б'єфі над гребенем – *геометричним напором H* . Він зазвичай фіксується перед водозливом на відстані приблизно $(3-5)H$ від гребня.

Глибина води у нижньому б'єфі називається *побутовою глибиною h_b* .

Водозлив з тонкою стінкою зазвичай слугує для вимірювання витрат і стабілізації рівня рідини в резервуарах. Стінка називається *тонкою*, якщо товщина її $\delta < 0,5H$ або стінка має гостру вхідну кромку. При цьому струмінь торкається тільки її вхідної кромки (рис. 2.1).

На рисунку 2.2 показані типи струменя під час витікання води через водозлив з тонкою стінкою. *Вільним струменем* називають такий струмінь, при якому повітря вільно надходить з усіх боків, в результаті чого тиск під струменем дорівнює атмосферному (рис. 2.2, а).

Якщо припинити доступ повітря під струмінь, то наявне там повітря поступово буде відсмоктуватися струменем і під ним утвориться вакуум. У результаті струмінь віджимається до стінки водозливу, а рівень води під ним підвищується. Такий струмінь називається *віджатым* (рис. 2.2, б).

Якщо весь простір під струменем заповнюється водою, він стає *підтопленим* знизу (рис. 2.2, в).

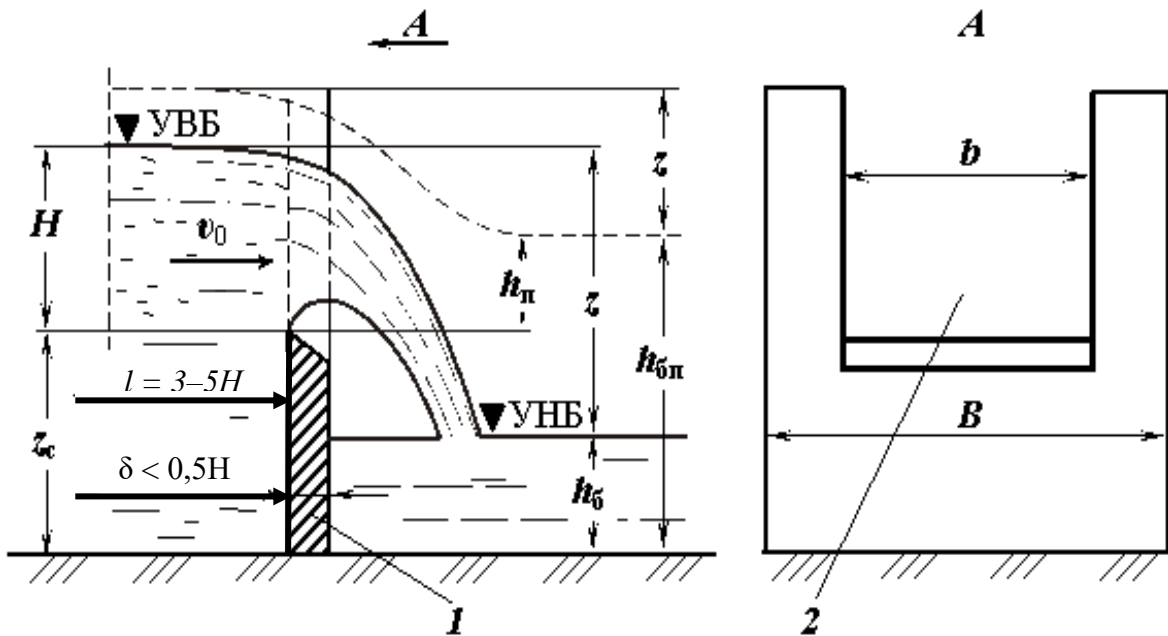


Рисунок 2.1 – Схема витікання води через водозлив з тонкою стінкою:
 1 – водозливна стінка; 2 – водозливний отвір; УВБ – рівень верхнього б'єфу;
 УНБ – рівень нижнього б'єфу

Прилиплий (притиснутий) струмінь утворюється з віджатою або підтопленою знизу, коли він повністю прижимається до стінки водозливу. Такий тип струменя дуже нестійкий.

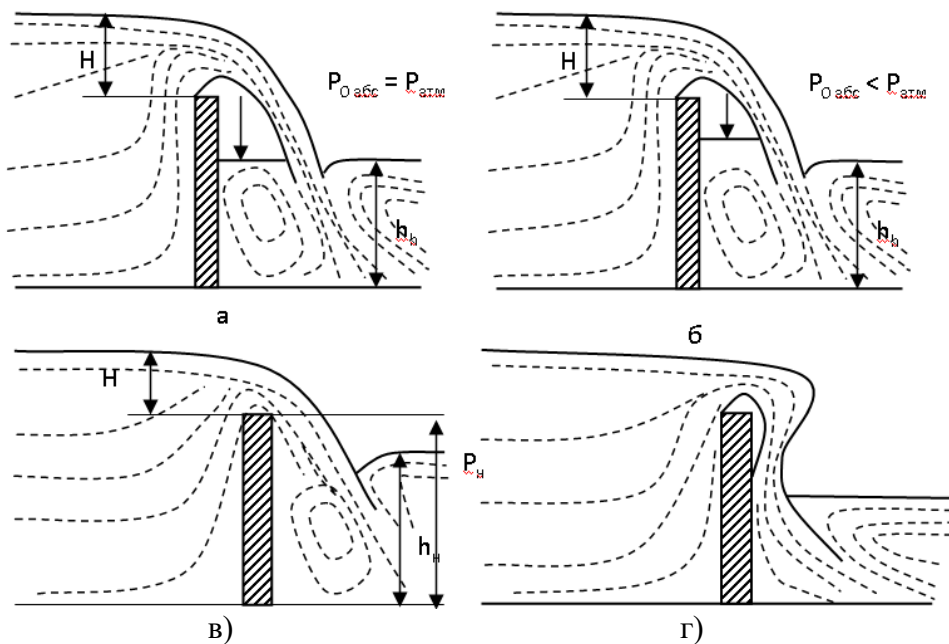


Рисунок 2.2 – Типи струменя під час витікання води через водозлив з тонкою стінкою:
 а – вільний, б – віджятий, в – підтоплений знизу, г – притиснутий

Якщо зміна рівня води у нижньому б'єфі не впливає на величину напору H , водозлив називається вільним (непідтопленим).

Під час збільшення $h_б$ до $h_{бп}$ відбувається підтоплення водозливу. При цьому підвищується рівень у верхньому б'єфі, вільна поверхня займає

положення, показане пунктиром (рис. 2.1). Такий водозлив називають **підтопленням**. Перевищення рівня у нижньому б'єфі над гребенем водозливу називається **глибиною підтоплення** – h_n .

Водозливом з широким порогом називають водозлив, товщина стінки якого (довжина горизонтального порога) $\delta > 2H$ (рис. 2.3). Такі водозливи зазвичай застосовують у гідротехнічній практиці для водозабірних та водоскидних споруд.

Водозливи практичного профілю мають товщину стінки зазвичай у межах $\delta = (0,5-2)H$ (рис. 2.4). Водозливи практичного профілю застосовують як водопропускні споруди за невеликих витрат води і як гасителі енергії, служать водозливними греблями у гідровузлах.

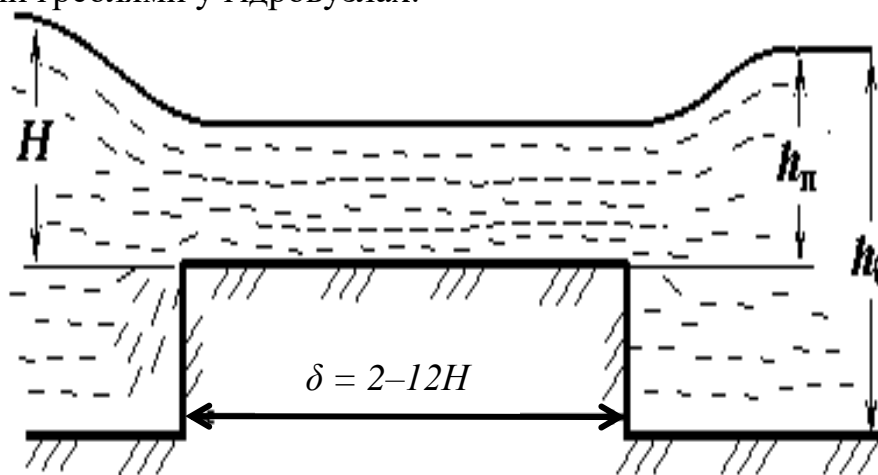


Рисунок 2.3 – Водозлив з широким порогом

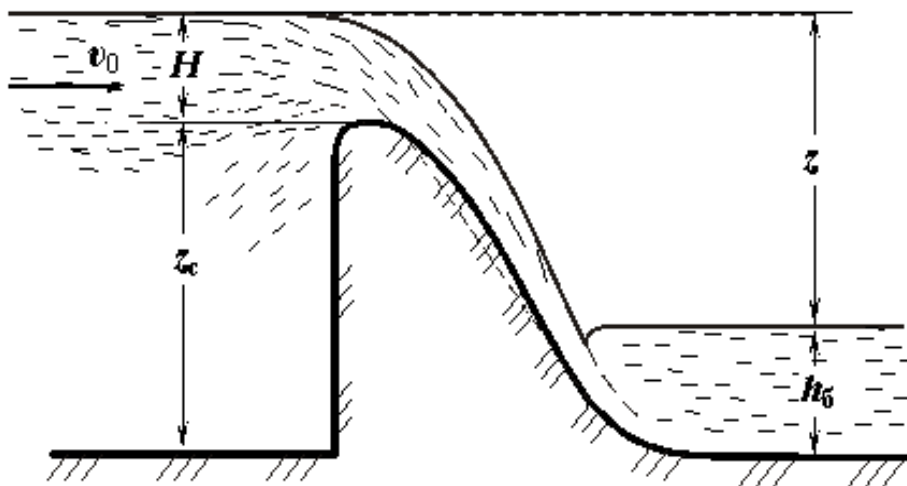


Рисунок 2.4 – Водозлив практичного профілю

Такі водозливи мають різні обриси. Залежно від обрису вони можуть бути вакуумними і безвакуумними. **Безвакуумні** водозливи мають вертикальну (верхову) напірну грань, а зливна (низова) грань окреслена формою нижньої поверхні струменя, який переливається через непідтоплений водозлив з тонкою стінкою.

2.2 Гідравлічний розрахунок водозливу

Витрата води Q через не підтоплені водозливи будь-якого типу визначається за загальною формулою:

$$Q = \sigma_n \cdot m \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_0^{3/2}}, \quad (2.1)$$

де σ_n – коефіцієнт підтоплення;

b – ширина водозливу;

m – коефіцієнт витрати, який залежить від типу та геометрії водозливу, від ступеня бокового стиснення, від режиму роботи;

H_0 – повний напір на водозливі, що визначається з врахуванням швидкості підходу потоку:

$$H_0 = H + \frac{\alpha V^2}{2g}, \quad (2.2)$$

де α – коефіцієнт Коріоліса (коректив кінетичної енергії);

V – швидкість потоку у верхньому б'єфі:

$$V = \frac{Q}{b(H + Z_c)}. \quad (2.3)$$

Якщо $H < 0,5Z_c$, то швидкісний напір можна не враховувати, і вважати, що $H_0 = H$.

У випадку підтоплених водозливів у формулу витрати вводиться коефіцієнт підтоплення $\sigma_n < 1$, який розраховується за емпіричними формулами.

Тоді витрата визначається за формулою:

$$Q = m \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H^{3/2}}. \quad (2.4)$$

Прямокутні водозливи з тонкою стінкою широко застосовуються у лабораторній практиці, в польових умовах під час вимірювання витрати на малих водотоках.

Для незатопленого прямокутного водозливу з підвідним руслом прямокутної форми за умови, що $B > b$, $z_c > 0,5$ м і $H > 0,1$ м, коефіцієнт витрати водозливу можна визначати за залежністю, яка рекомендована Р. Р. Чугаєвим:

$$m = 0,402 + \frac{0,054 \cdot H}{Z_c}. \quad (2.5)$$

Значення коефіцієнту m для прямокутного водозливу без бокового стиснення коливається у межах 0,4–0,5.

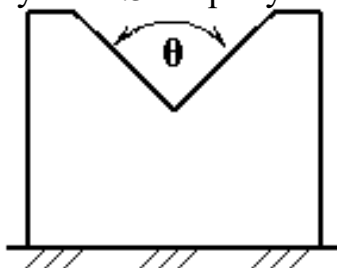
Для малих водотоків під час визначення витрати також достатньо часто використовують *трикутні водозливи*, які представляють собою щит з

трикутним отвором, що встановлюється в руслі (рис. 2.5). За вільного доступу повітря під струмінь є наступні емпіричні формули для визначення витрати:

1. Кут $\theta = 90^\circ$

$$Q = 1,4 \cdot H^{\frac{5}{2}}. \quad (2.6)$$

Рисунок 2.5 – Трикутний водозлив



2. Якщо значення $22^\circ < \theta < 118^\circ$

$$Q = 1,3319 \cdot \left(\operatorname{tg} \frac{\theta}{2} \right)^{0,996} \cdot H^{2,47}. \quad (2.7)$$

Емпіричні формули існують для водозливів різних форм та наводяться у гідравлічних довідниках [5].

Для вимірювання витрати стічних вод на очисних спорудах використовують водомірні лотки – лотки Паршала та Вентурі [6].

Водомірний лоток Паршала (рис. 2.6) складається з наступних основних частин: підвідного розтруба, горловини, відвідного розтруба.

Лоток встановлюють на каналі прямокутного перерізу шириною не менше 40 см.

Витрату стічних вод під час вільного витікання визначають за формулою:

$$Q = M \cdot H^n. \quad (2.8)$$

де H – глибина води перед лотком у перерізі II-II, який знаходиться на відстані $2/3l_1$ від горловини, м.

Значення коефіцієнту M і показника ступеня залежать від ширини горловини лотка (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Значення коефіцієнта M і показника ступеня n

b, м	0,15	0,3	0,5	0,75	1,0	1,25	1,5	4,5
M	0,384	0,71	1,182	1,773	2,365	2,958	3,548	10,95
n	1,58	1,522	1,54	1,558	1,572	1,557	1,585	1,6

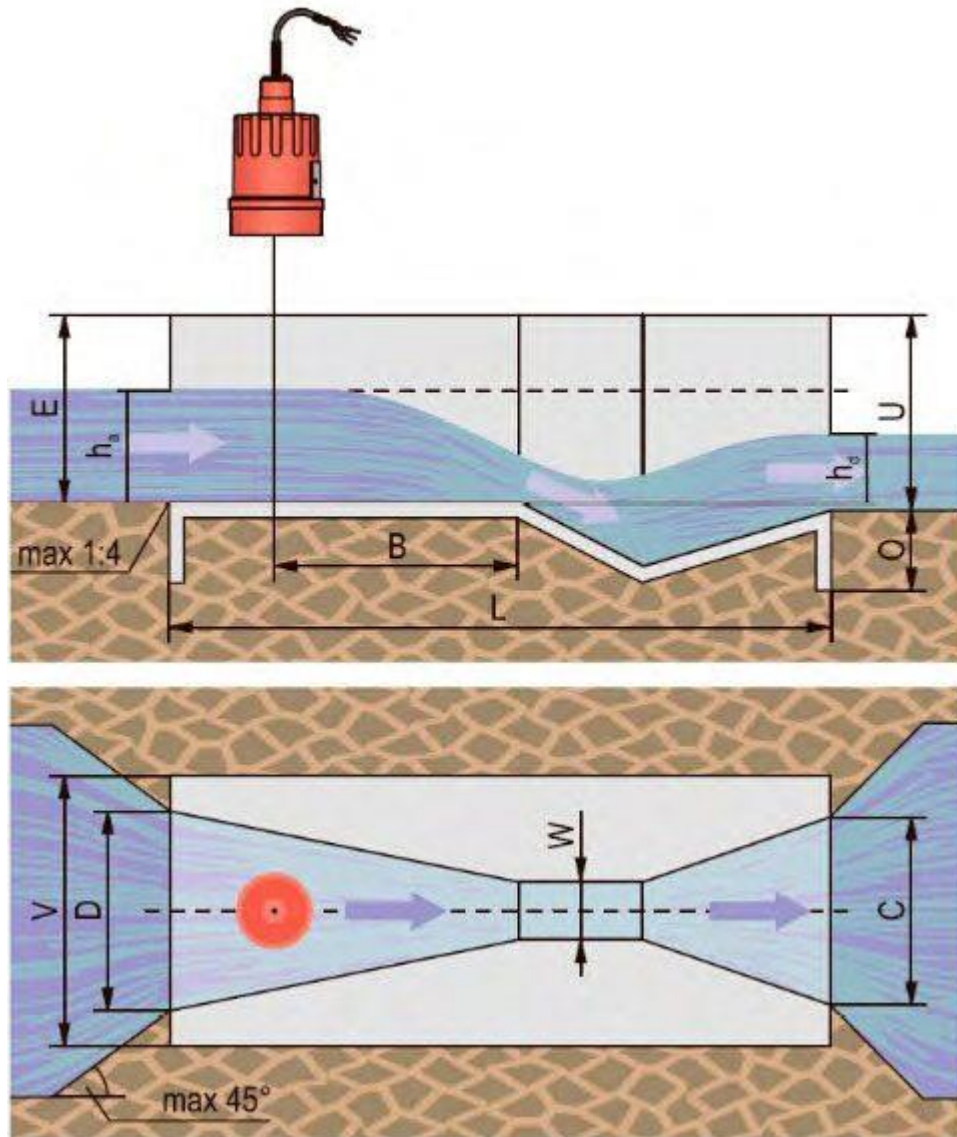


Рисунок 2.6 – Лоток Паршала для вимірювання витрати води

Залежно від мінімального та максимального притоку стічних вод на очисні споруди розраховані типові розміри лотку Паршала, які наведені у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Типові розміри лотка Паршала

Q _{мін} , л/с	Q _{макс} , л/с	Розміри, см							
		<i>b</i>	<i>l</i> ₁	<i>l</i> ₂	<i>l</i> ₃	2/3 <i>l</i> ₁	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>B</i>
5	110	25	132,5	60	90	90	78	55	22,5
5	500	30	135	60	90	92,5	84	60	22,5
10	750	50	145	60	90	98,5	108	80	22,5
10	1150	75	157,5	60	90	107	138	105	22,5
20	1500	100	170	60	90	115,5	168	130	22,5
20	2000	125	182,5	60	90	124	198	155	22,5
30	3000	150	195	60	90	132	228	180	22,5

Лотки Вентурі (рис. 2.7) складаються з чотирьох основних частин: вхідної частини, звужуючої частини, горловини та вихідного дифузору. У поперечному перерізі ці частини можуть мати прямокутну, трапецієвидну і U-образну форми.

Основне рівняння витрати, $\text{м}^3/\text{год.}$, яка вимірюється за допомогою лотків Вентурі, має вигляд:

$$Q = 0,1941 \cdot C_e \cdot C_v \cdot b \cdot H^{3/2}, \quad (2.9)$$

де b – ширина горловини лотка, м;

H – напір у контрольному створі, м;

C_e – коефіцієнт витрати (0,927 – 0,988);

C_v – коефіцієнт, який враховує вплив швидкості у підвідному каналі (1,002–1,147).

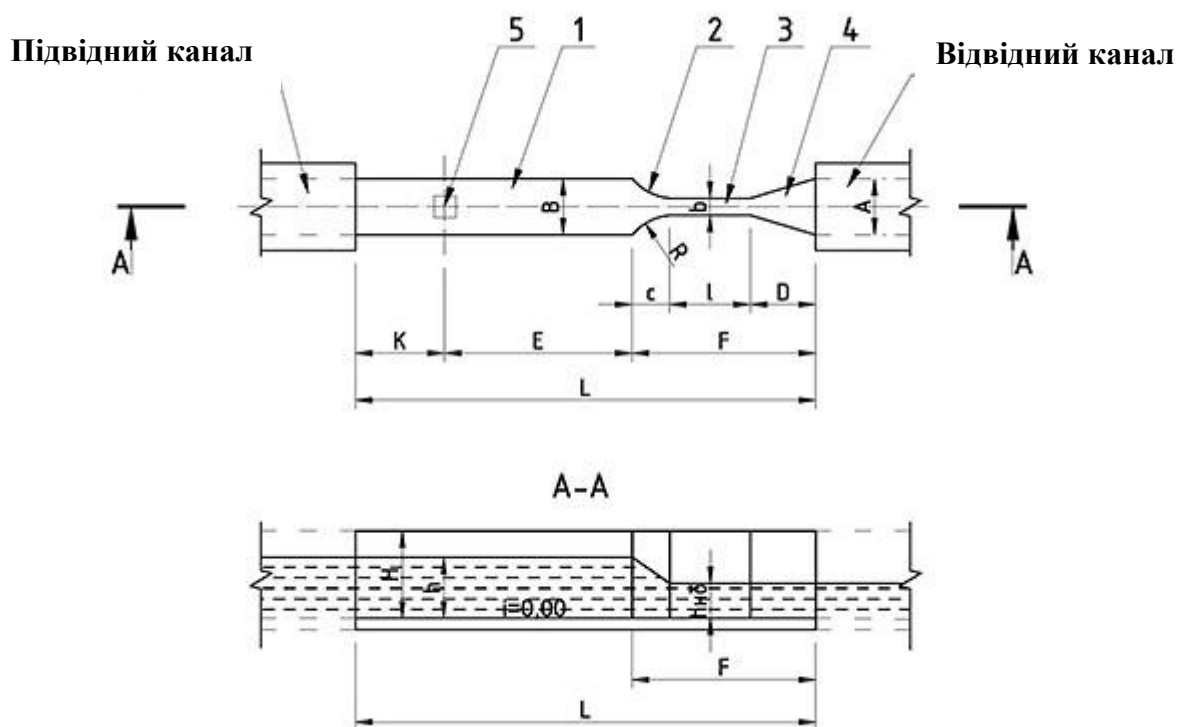


Рисунок 2.7 – Лоток Вентурі:

1 – вхідна частина (верхній б'єф); 2 – звужувальна частина; 3 – горловина; 4 – вихідний дифузор (нижній б'єф); 5 – контрольний переріз лотка – місце вимірювання рівня рідини

Прикладом застосування водозливів можуть бути великі гідротехнічні споруди, очисні споруди систем водопостачання та водовідведення.

Наприклад, наприкінці ХХ ст. була побудована Асуанська гребля в Єгипті, вона контролює щорічний розлив р. Ніл, і внаслідок її появи Єгипет зміг оптимізувати землеробство й зробити його більш ефективним (рис. 2.8).



Рисунок 2.8 – Асуанська гребля у Єгипті

До появи греблі р. Ніл розливався непередбачено – а від його розливу залежав врожай всього Єгипту. Щорічні розливи забирали життя людей, тому Асуанська гребля була необхідна.

Прикладом гідротехнічного будівництва всесвітнього масштабу є гребля Гувера (США) (рис. 2.9). Всесвітньо відома гребля Гувера являється національною історичною пам'яткою. Вона була побудована у 1936 році й названа в честь тридцять першого президента США Герберта Кларка Гувера (1874–1964), який зіграв велику роль у вирішенні 25-річної суперечки між сусідніми штатами про розподіл води. Гребля являється найвищою бетонною греблею в Західній півкулі, на будівництво якої пішла така кількість залитого бетону, що хватило б на будівництво дороги протяжністю біля 5000 км. На будівництво греблі Гувера тоді було витрачено 49 млн доларів.

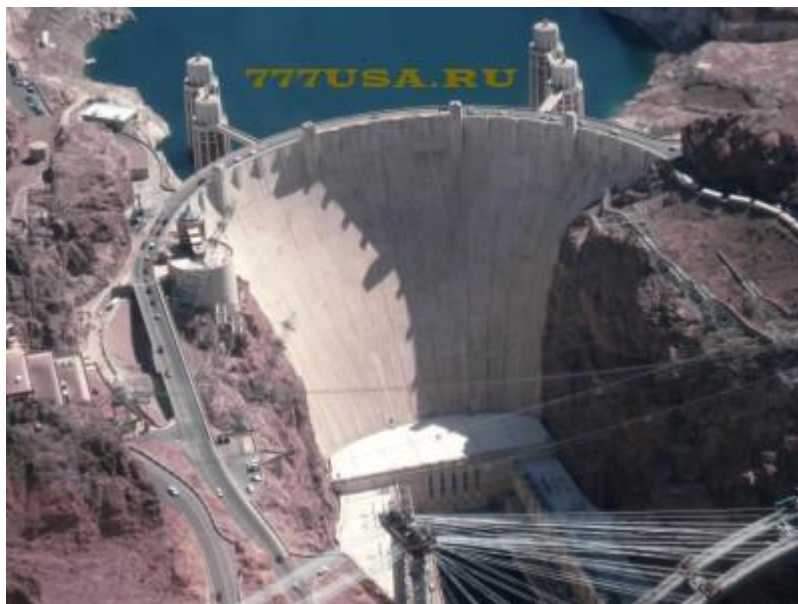


Рисунок 2.9 – Гребля Гувера (США)

Контрольні питання

1. Дайте визначення водозливу та наведіть основні ознаки, за якими класифікують водозливи.
2. Наведіть основні типи струменя під час витікання води через водозлив з тонкою стінкою.
3. У чому полягає гідравлічний розрахунок водозливів різної форми?
4. Наведіть схеми та принцип розрахунку водомірних лотків Вентурі та Паршала.

ТЕМА 3 ГІДРАВЛІЧНИЙ СТРИБОК. СПРЯЖЕННЯ Б'ЄФІВ

Гідравлічним стрибком називається різке збільшення глибини потоку з переходом від бурного до спокійного стану на відносно невеликій довжині русла (рис. 3.1) [2, 3].

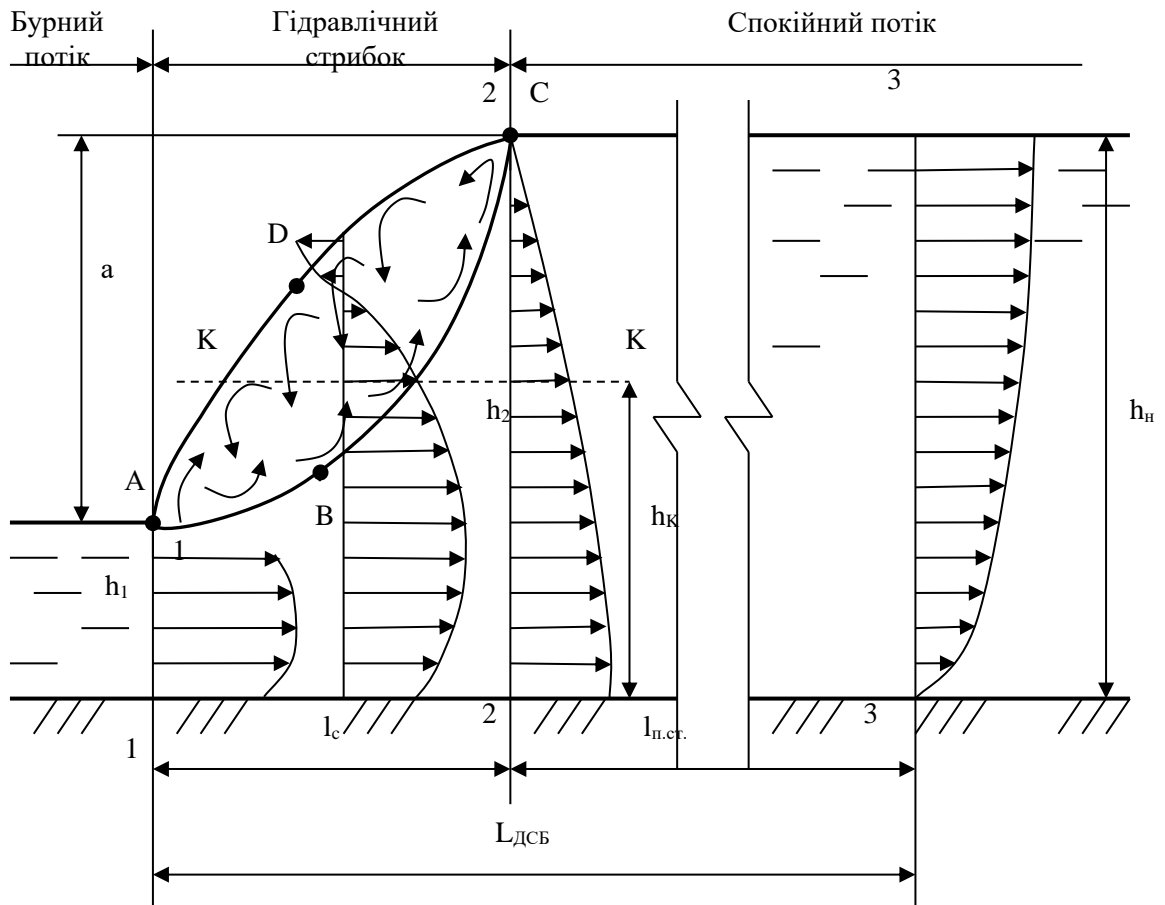


Рисунок 3.1 – Схема гідравлічного стрибка

До стрибка глибина $h_1 < h_k$ (h_k – критична глибина), а наприкінці стрибка глибина потоку $h_2 > h_k$ (рис. 3.1).

Експериментальними дослідженнями виявлено, що в гідравлічному стрибку можна виділити 2 зони: основний струмінь та поверхневий вихор (коловорот).

Лінія розмежування цих двох частин ABC – це осереднена у часі лінія, яка умовно відсікає основний потік з витратою Q від поверхневого коловороту.

Глибини h_1 і h_2 до та після гідравлічного стрибка називаються **взаємними або спряженими глибинами**, а їх різниця $(h_2 - h_1)$ визначає висоту гідравлічного стрибка.

Довжина L ділянки, на якій відбувається різка зміна глибин потоку, називається **довжиною гідравлічного стрибка**.

Зазвичай гідравлічний стрибок виникає під час протікання води через підвищення на дні русла, під час витікання з-під щита або перетіканні через водозлив.

Основні завдання розрахунку гідравлічного стрибка:

- визначення взаємних глибин,
- визначення довжини гідравлічного стрибка,
- визначення супроводжуваних гідравлічний стрибок втрат енергії.

Взаємні глибини визначається співвідношенням:

$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{1}{2} \cdot \left(\sqrt{1 + \frac{8V_1^2}{gh_1}} - 1 \right) = f(Fr), \quad (3.1)$$

де Fr – число Фруда,

g – прискорення сили тяжіння.

Довжина гідравлічного стрибка визначається за емпіричними формулами, наприклад, для прямокутних русел за формулою М. М. Павловського:

$$L = 2,5 (1,9 h_2 - h_1). \quad (3.2)$$

Втрати енергії в гідравлічному стрибку в цьому випадку складуть:

$$\Delta E = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4h_1 \cdot h_2}. \quad (3.3)$$

У разі великих чисел Фруда ($Fr > 2,5$) ці втрати складають більше 50%, тобто гідравлічний стрибок – гарний гаситель енергії. Тому гідравлічний стрибок використовується у гідротехніці, наприклад для захисту від розмивів нижнього б'єфу гребель. Так, якщо витікання води через гідротехнічну споруду відбувається з утворенням відігнутого гідравлічного стрибка, тобто відсунутого на деяку відстань від споруди, то для запобігання розмивів дна нижче споруди влаштовують водобійні колодязі, стінки, щоб наблизити гідравлічний стрибок до споруди (перетворити його в затоплений).

Уздовж гідравлічного стрибка змінюється епюра швидкостей. На рисунку 3.1 зображені схеми епюр осереднених швидкостей в перерізах:

- на початку стрибка (де глибина h_1),
- у середині довжини стрибка,
- наприкінці стрибка (де глибина потоку h_2).

Як видно з рисунку 3.1 наприкінці стрибка осереднені швидкості (точка С) дорівнюють нулю, а біля дна вони максимальні. Трансформація епюр швидкостей продовжується на деякій довжині $l_{н.см.}$ (до перерізу 3–3), яка називається **довжиною після стрибкової ділянки**. За перерізом 3–3 вниз за течією епюри швидкостей відповідають розподілу швидкостей під час рівномірного або нерівномірного руху.

Якщо глибина уздовж потоку в нижньому б'єфі за перерізом 3–3 $h_n = const$, то епюра швидкостей являється *постійною*.

Довжина трансформації епюр швидкостей між перерізами 1–1 та 3–3 називається **ділянкою спряження б'єфів**, яка в загальному випадку дорівнює:

$$l_{пст} = l_c + (10...30)h_n, \quad (3.4)$$

де l_c – довжина гідравлічного стрибка;
 $l_{пст}$ – довжина після стрибкової ділянки;
 h_n – глибина потоку в нижньому б'єфі.

Спряжені глибини досконалого гідравлічного стрибка в призматичних руслах з будь-якою формою поперечного перерізу можна визначити за допомогою графіка стрибкової функції (рис. 3.2):

$$\frac{\alpha Q^2}{g\omega} + y_c \cdot \omega = \Pi(h), \quad (3.5)$$

де ω – площа живого перерізу потоку з глибиною h ,
 y_c – глибина занурення геометричного центру площі ω .

3.1 Визначення довжини гідравлічного стрибка. Геометричні розміри хвильового стрибка

Довжину досконалого гідравлічного стрибка в прямокутному руслі при $b = const$ та ухилі дна $i = 0$ можна визначити за формулами [3, 5]:

- М. Д. Чертоусова

$$l_c = 10,3h_1(\sqrt{Fr_1} - 1)^{0,81}, \quad (3.6)$$

- С. К. Кузнецова

$$l_c = 16,7(h_k - h_1) \quad (3.7)$$

- А. М. Айвазяна

$$l_c = \frac{8 \cdot (10 + \sqrt{Fr_1}) \cdot (h_2 - h_1)^3}{Fr_1 \cdot 4h_1 \cdot h_2}, \quad (3.8)$$

де h_1, h_2 – перша та друга спряжені глибини стрибка;
 Fr_1 – число Фруда, яке розраховано за формулою

$$Fr_1 = \frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{gh_1} > 3. \quad (3.9)$$

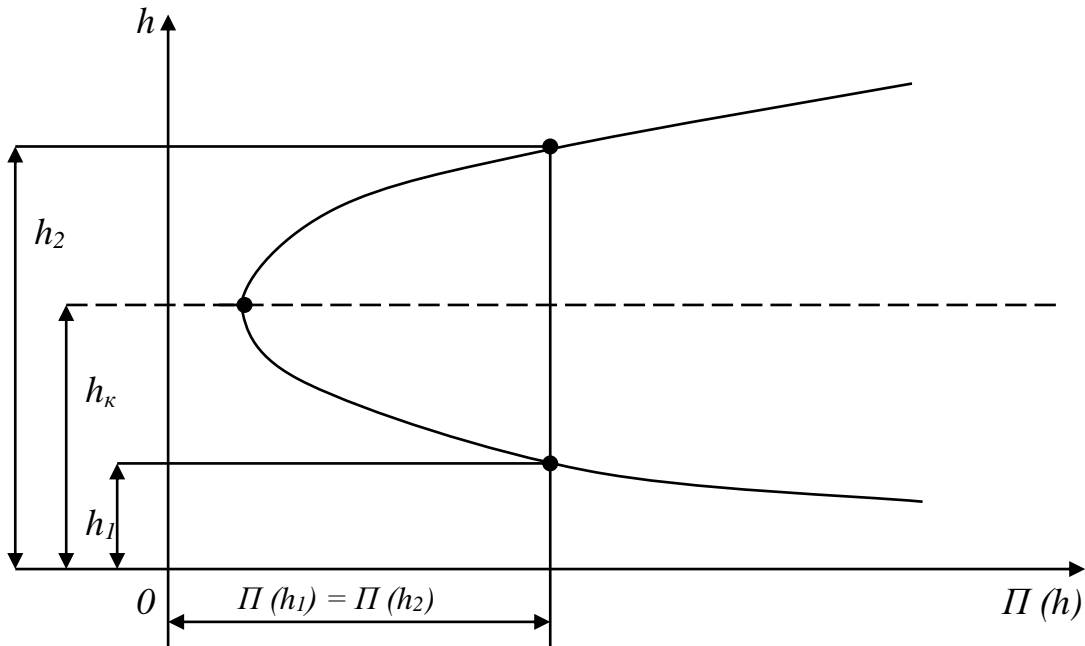


Рисунок 3.2 – Графік стрибкової функції

Функція $\Pi(h)$ називається **стрибковою функцією**.

Можна визначити довжину гідравлічного стрибка у прямокутному руслі, що розширяється, за формулою *А.Ф. Васильєва*

$$l_{cp} = \frac{l_c}{\left[1 + 0,052 \left(\frac{l_c}{r}\right)\right]}, \quad (3.10)$$

де l_c – довжина стрибка у прямокутному руслі за умови, що

$$Fr_1 = \frac{\alpha}{gh_1^3} \left(\frac{Q}{\beta \cdot r}\right)^2, \quad (3.11)$$

де $r = b_1 / \left[2 \sin\left(\frac{\beta}{2}\right)\right]$;

b_1 – ширина дна при глибині h_1 ;

$\beta = \beta^\circ / 57,3$ – кут розширення, рад.

За умови, що кути розширення $\beta < 150$ маємо $\beta r \approx b_1$. Тоді

$$Fr_1 = \frac{Q^2}{gb_1^2 h_1^3} = \left(\frac{h_{к1}}{h_1} \right)^3. \quad (3.12)$$

Довжину стрибка у трапецієвидному руслі з постійною шириною дна можна визначити за формулою *С. Мейєрова* [3]

$$l_{стр} = l_c \left(1 + 1,76 \frac{m(h_2 - h_1)}{\chi_1} \right), \quad (3.13)$$

де l_c – довжина стрибка у прямокутному руслі;
 χ_1 – змочений периметр у перерізі з глибиною h_1 ;
 m – коефіцієнт закладення відкосів каналу.

Довжину стрибка в руслах з ухилом дна $i > i_k$ наближено можна визначити за формулою

$$l_{стр} = l_c (1 + k \cdot i), \quad (3.14)$$

де l_c – довжина стрибка якщо $i = 0$;

k – коефіцієнт збільшення довжини стрибка якщо $i > 0$.

За даними Г. М. Косякової $k = 3$, а за даними Г. К. Ілчева $k = 3,75$.

Глибину під гребенем першої хвилі в прямокутному руслі при $b = const$ наближено можна визначити за формулою *С. К. Кузнєцова*:

$$l_{cx} = 13,4(h_k - h_1). \quad (3.15)$$

Якщо число $Fr_1 = (1,5-3)$, то найбільшу глибину хвильового стрибка $h_{хв}$ можна визначити за формулою *М. С. Краснітського*:

$$h_{хв} = h_1 [1 + 0,72(Fr_1 - 1)]. \quad (3.16)$$

Співвідношення між спряженими глибинами хвильового стрибка $\eta_2 = h_2/h_1$. За дослідженнями *А. А. Рябенка* можна визначити за формулою

$$\eta_2 = \frac{1}{3} \left[2\beta_1 + Fr_1 - \sqrt{(2\beta_1 + Fr_1)^2 - 3(2\beta_1 + Fr_1 - 1)} \right]. \quad (3.17)$$

За дослідженнями *А. А. Рябенка* при числах $Fr_1 > 2$ можна приймати, що $\beta_1 = 1$, а якщо $Fr_1 = (1,1-1,5)$ – $\beta_{1max} = 1,045$.

У разі, коли $\beta_1 = 1$

$$\left. \begin{aligned} h_2 &= \frac{1}{3} h_1 (1 + Fr_1) \\ h_{хв} &= h_1 \cdot Fr_1 \end{aligned} \right\}. \quad (3.18)$$

3.2 Визначення найменшої глибини за спорудою у нижньому б'єфі

Для визначення глибини h_c у нижньому б'єфі споруд використаємо рівняння Бернуллі, яке запишемо для перерізів 1–1 і С–С відносно площини порівняння 0–0 (рис. 3.3).

Припустимо, що у живих перерізах 1–1 і С–С рух рідини такий, що плавно змінюється, й п'єзометричні напори рівні:

$$\left. \begin{aligned} H_{п1} &= z_1 + \frac{P_1}{\rho g} = T; \\ H_{п2} &= z_2 + \frac{P_2}{\rho g} = h_c. \end{aligned} \right\} \quad (3.19)$$

Тоді рівняння Бернуллі відносно площини 0–0 набуде такого вигляду:

$$T + \frac{\alpha_0 V_0^2}{2g} = h_c + \frac{\alpha_c V_c^2}{2g} + h_{w(1-C)},$$

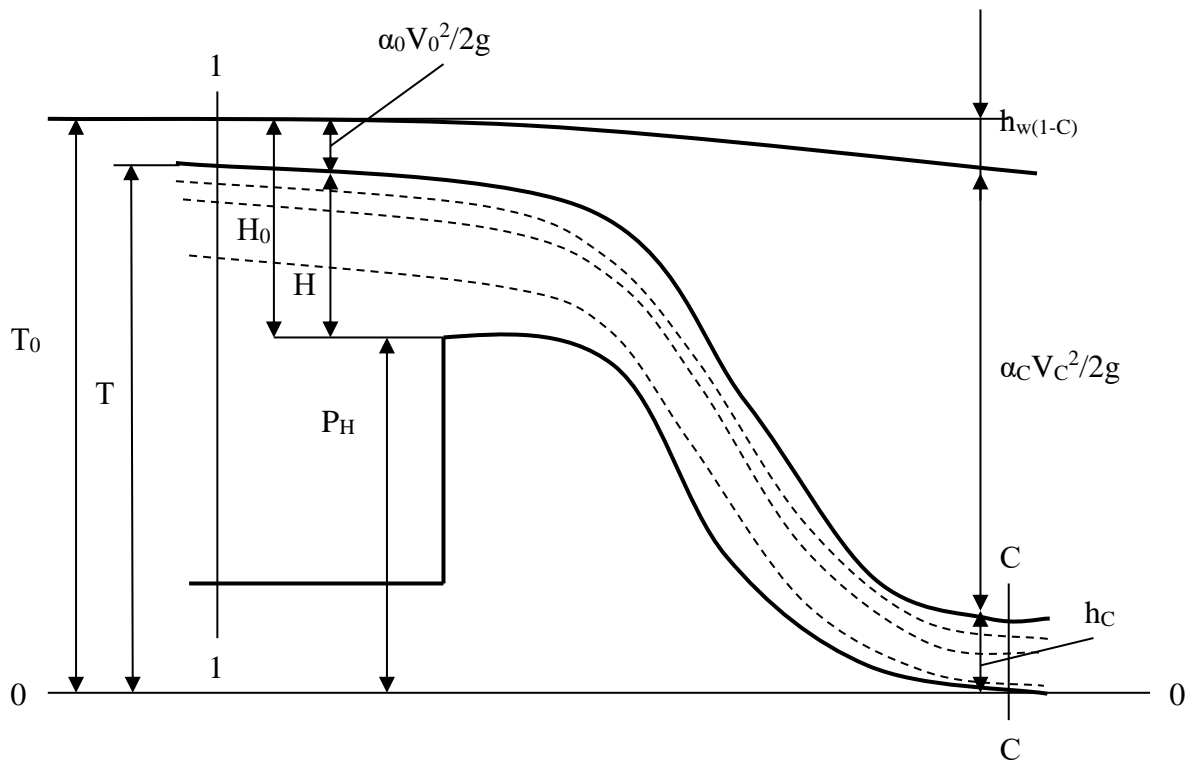


Рисунок 3.3 – Схема визначення найменшої глибини за спорудою у нижньому б'єфі

$$T_0 = h_c + \frac{V_c^2}{2g} (\alpha_c + \xi), \quad (3.20)$$

де T_0 – повна питома енергія потоку в перерізі 1–1;

$$T_0 = T + \frac{\alpha_0 V_0^2}{2g}, \quad (3.21)$$

де V_0 – середня швидкість потоку в перерізі 1–1;

$V_c = Q / \omega_c$ – середня швидкість потоку в перерізі С–С;

ω_c – площа живого перерізу потоку за глибини h_c ;
 ξ – коефіцієнт гідравлічних опорів між перерізами 1–1 та С–С.
 З рівняння:

$$T_0 = h_c + \frac{V_c^2}{2g}(\alpha_c + \xi) \Rightarrow V_c = \varphi_c \sqrt{2g(T_0 - h_c)}, \quad (3.22)$$

де φ_c – коефіцієнт швидкості $\varphi_c = \frac{1}{\sqrt{\alpha_c + \xi}}$.

Величина коефіцієнта φ_c залежить від типу і геометричних розмірів споруди та гідравлічних параметрів потоку. Наприклад, для водозливу з щитом

$$\varphi_1 = 0,98 \cdot \varphi_c, \quad (3.23)$$

де

$$\varphi_c = 0,97 + 0,191 \lg \left(\frac{H_0}{P_H} \right). \quad (3.24)$$

Для перепадів у прямокутному руслі при атмосферному тиску під падаючим струменем

$$\varphi_c = 0,989 - 0,039 \frac{P}{h_K}, \quad (3.25)$$

де h_K – критична глибина в прямокутному руслі. Формула (3.25) є апроксимацією дослідних даних Ю. С. Алексеева при $P/h_K = 1..10$.

Для перепадів в прямокутному руслі і атмосферному тиску під падаючою струминою можна використати формулу Ю. С. Алексеева:

$$\varphi_c = 0,882 + 0,1731 \lg \frac{H_0}{P}, \quad (3.26)$$

де $H_0 = H + \alpha V_0^2 / 2g$ – повний напір перед водозливом, висота якого P_B .

Для перепаду без відриву струмини та куті похилу поверхні $\beta = 9-30^\circ$ і $P/h_K = 3-15$ величину φ_c на основі досліджень [1] наближено можна визначити за формулою:

$$\varphi_c = 1,02 - (0,038 - 0,051 \sin \beta) \frac{P}{h_K}, \quad (3.27)$$

де h_K – критична глибина в прямокутному руслі.

Враховуючи, що $V_c = \frac{Q}{\omega_c}$,

$$Q = \varphi_c \omega_c \sqrt{2g(T_0 - h_c)}. \quad (3.28)$$

Це загальне рівняння визначення глибини h_c у стисненому перерізі в нижньому б'єфі гідротехнічної споруди.

В переважній більшості випадків русло нижнього б'єфу, безпосередньо за спорудою, має прямокутну форму. Для визначення глибини h_c в прямокутному руслі рівняння (3.28) запишемо у вигляді

$$T_0 = h_c + \frac{Q^2}{\varphi_c^2 2g(h_c B)^2} \quad (3.29)$$

або

$$T_0 = h_c + \frac{q^2}{\varphi_c^2 2gh_c^2}, \quad (3.30)$$

де $q = Q/B$ – питома витрата;

B – ширина дна нижнього б'єфу в перерізі С–С.

Рівняння (3.29) та (3.30) – це кубічні рівняння відносно h_c з вільним членом. Для визначення дійсного кореня цих рівнянь можна використати спосіб наближень:

$$h_c = \frac{q}{\varphi_c \sqrt{2g(T_0 - h_c)}}. \quad (3.31)$$

Тоді для першого наближення глибину h_c в правій частині рівняння (3.31) можна взяти рівною нулю. В наступних наближеннях під знак кореня потрібно підставляти ті значення h_c , які одержуємо в результаті обчислень після кожного наближення. В переважній більшості випадків ітераційний процес можна закінчувати після двох-трьох наближень.

3.3 Гідравлічний розрахунок водобійної стінки

Для зменшення кінетичної енергії потоку в нижніх б'єфах гідротехнічних споруд використовують спеціальні конструкції, які називаються гасителями енергії. До найпростіших гасителів належать: водобійні стінки (суцільні та прорізні), водобійні колодязі, комбіновані водобійні колодязі (рис. 3.4).

У разі відігнутого стрибка водобійна стінка повинна утворити глибину $h > h_2$, де h_2 – друга спряжена глибина стрибка, яка відповідає розрахунковій витраті Q_p .

Для визначення висоти водобійної стінки припускають, що вона працює як деякий водозлив. Відповідно цьому висота стінки

$$C = \sigma_3 \cdot h_2 - H_c, \quad (3.32)$$

де $\sigma_3 = 1,05 \dots 1,1$ – коефіцієнт затоплення гідравлічного стрибка;

h_2 – друга спряжена глибина стрибка при витраті Q_p ;

H_c – напір над водобійною стінкою, який визначають за формулою:

$$H_c = \left(\frac{Q_p}{\sigma_n \cdot m_c \cdot B_{CT} \cdot \sqrt{2g}} \right)^{2/3}, \quad (3.33)$$

де B_{CT} – довжина стінки;

$\sigma_n = f(h_n / H_c)$ – коефіцієнт підтоплення водобійної стінки з боку нижнього б'єфу;

h_n – глибина підтоплення стінки

$$h_n = h_n - C, \quad (3.34)$$

m_c – коефіцієнт витрати водобійної стінки як водозливу. Він залежить від типу водобійної стінки (суцільна, прорізна) та її розмірів і напору H_c .

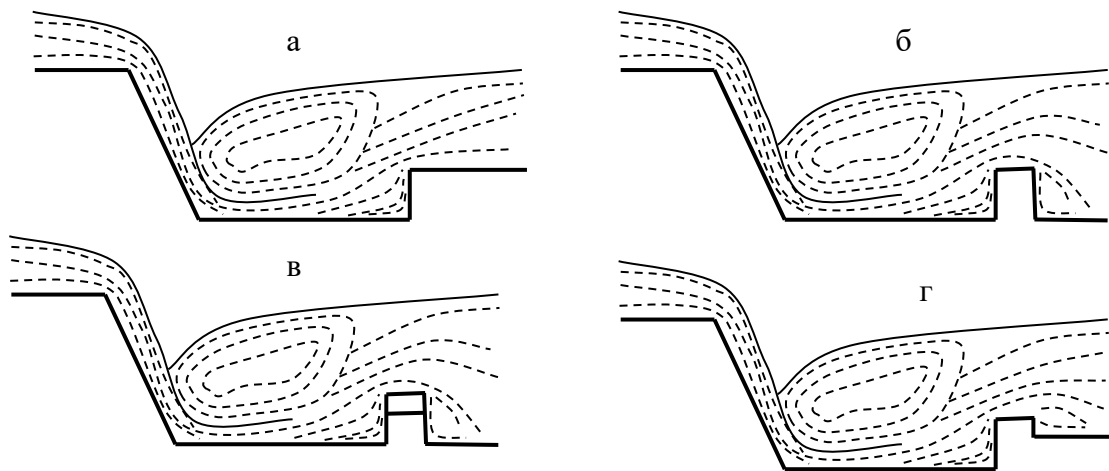


Рисунок 3.4 – Схеми простих гасників енергії:

а – водобійний колодезь; б – суцільна водобійна стінка; в – прорізна водобійна стінка; г – комбінований водобійний колодезь

Коефіцієнт витрати суцільної водобійної стінки можна визначити за формулою Р. Р. Чугаєва $m_0 = 0,402 + 0,054 \frac{H}{P_B}$. Для визначення коефіцієнта підтоплення суцільної водобійної стінки σ_n при $(h_n / H_c) > 0,4$ можна використати формулу

$$\sigma_n = \sqrt{1 - \left(1,8 \frac{h_n}{H_c} - 0,8 \right)^2}, \quad (3.35)$$

де H_c , h_n – визначаються за формулами (3.33), (3.35). Якщо $(h_n / H_c) < 0,4$, то $\sigma_n = 1$.

Оскільки перед початком розрахунків невідомо, водобійна стінка підтоплена чи не підтоплена, то невідоме значення і коефіцієнта підтоплення стінки σ_n . Окрім цього невідоме також значення коефіцієнта витрати m_c , тому

що $m_c = f(C, H_c)$. У цьому разі висоту водобійної стінки можна визначити графоаналітичним способом. Хід розрахунків може бути таким:

- задаються кількома значеннями висоти стінки C ;
- обчислюють величини H_c , h_n , m_c , σ_n і за формулою (3.33) визначають витрати

$$Q = \sigma_n \cdot m_c \cdot B_{CT} \sqrt{2g} \cdot H_c^{3/2}. \quad (3.36)$$

Результати розрахунків доцільно зводити в таблицю за такою формою (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Гідравлічний розрахунок водобійної стінки

C	$H_c = \sigma_3 \cdot h_2 - C$	$h_n = h_n - C$	σ_n	m_c	Q
C_1					$Q_1 < Q_p$
C_2					Q_2
C_3					$Q_3 > Q_p$

За даними таблиці 3.1 будують графік $C = f(Q)$ (рис. 3.5), за допомогою якого визначають висоту стінки C .

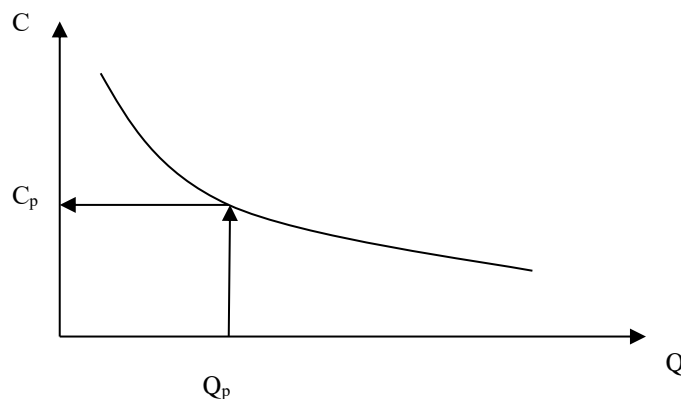


Рисунок 3.5 – Схема графіка $C = f(Q)$ для визначення висоти водобійної стінки

Відстань до водобійної стінки від перерізу з глибиною h_1 визначають за формулою

$$l_K = \beta \cdot l_C, \quad (3.37)$$

де l_C – довжина гідравлічного стрибка;

$\beta = 0,7-0,9$ – коефіцієнт зменшення гідравлічного стрибка.

Якщо водобійна стінка висока, то за нею може утворитись відігнаний гідравлічний стрибок. Можливість утворення цього явища перевіряють таким чином: використовуючи таку формулу, визначають стиснену глибину за стінкою

$$h_{c1} = \frac{Q}{\varphi_C \cdot B_{CT} \sqrt{2g \cdot (T_{0C} - h_{c1})}}, \quad (3.38)$$

де φ_C – коефіцієнт швидкості, що враховує втрати енергії під час переливу потоку через водобійну стінку, значення якого при $C/h_k = 0,5-3,5$ можна визначити за формулою

$$\varphi_C = 1,03 - 0,057 \cdot C / h_k, \quad (3.39)$$

де h_k – критична глибина. Якщо $C/h_k < 0,5$, то $\varphi_C = 1$;

T_{0C} – повна питома енергія потоку відносно дна нижнього б'єфу за стінкою;

$$T_{0C} = \sigma_3 \cdot h_2 + \frac{\alpha Q_p^2}{2g(B_{CT} \cdot \sigma_3 \cdot h_2)^2}, \quad (3.40)$$

де $\alpha = 1,1-1,2$ – коефіцієнт кінетичної енергії потоку в перерізі з глибиною $h = \sigma_3 h_2$;

B_{CT} – довжина водобійної стінки.

Приймаючи, що перша спряжена глибина стрибка $h_1 = h_{C2}$, за рівнянням гідравлічного стрибка визначають другу спряжену глибину стрибка h_2 . Якщо $h_2 > h_n$, то за стінкою стрибок відігнаний і потрібно запроектувати другу водобійну стінку або замість водобійних стінок взяти інший гаситель енергії, наприклад, водобійний колодезь чи комбінований водобійний колодезь.

Слід зазначити, що тип гасника впливає на вартість ділянки спряження б'єфів та гідротехнічної споруди в цілому. Тому гідравлічні розрахунки спряження б'єфів потрібно виконувати одночасно з оцінкою вартості споруди.

3.4 Гідравлічний розрахунок водобійного колодезя

У результаті гідравлічних розрахунків потрібно визначити глибину колодезя d та його довжину l_k (рис. 3.6).

Глибину водобійного колодезя можна визначити кількома способами:

1) припускають, що вихід з водобійного колодезя працює як затоплений водозлив з широким порогом (рис. 3.6, а).

Виходячи з того, що колодезь повинен утворити глибину води для затоплення стрибка, відповідно до схеми (рис. 3.6, а), глибину колодезя можна визначити за формулою

$$d = \sigma_3 h_2 - h_n - z, \quad (3.41)$$

де $\sigma_3 = 1,05-1,1$ – коефіцієнт затоплення стрибка;

h_2 – друга спряжена глибина стрибка при розрахунковій витраті Q_p ;

h_n – глибина води в нижньому б'єфі при витраті Q_p ;

Z – гідравлічний перепад, для визначення якого використовують формулу пропускної здатності водозливу з широким порогом, тобто

$$z_0 = \frac{1}{2g} \left(\frac{Q_p}{\varphi_n B_k h_n} \right)^2, \quad z = z_0 - \frac{\alpha Q_p^2}{2g(\sigma_3 h_2 B_k)^2}, \quad (3.42)$$

де $\varphi_n = 0,98-0,99$ – коефіцієнт швидкості;

B_k – ширина водобійного колодезя в площині вертикального уступу.

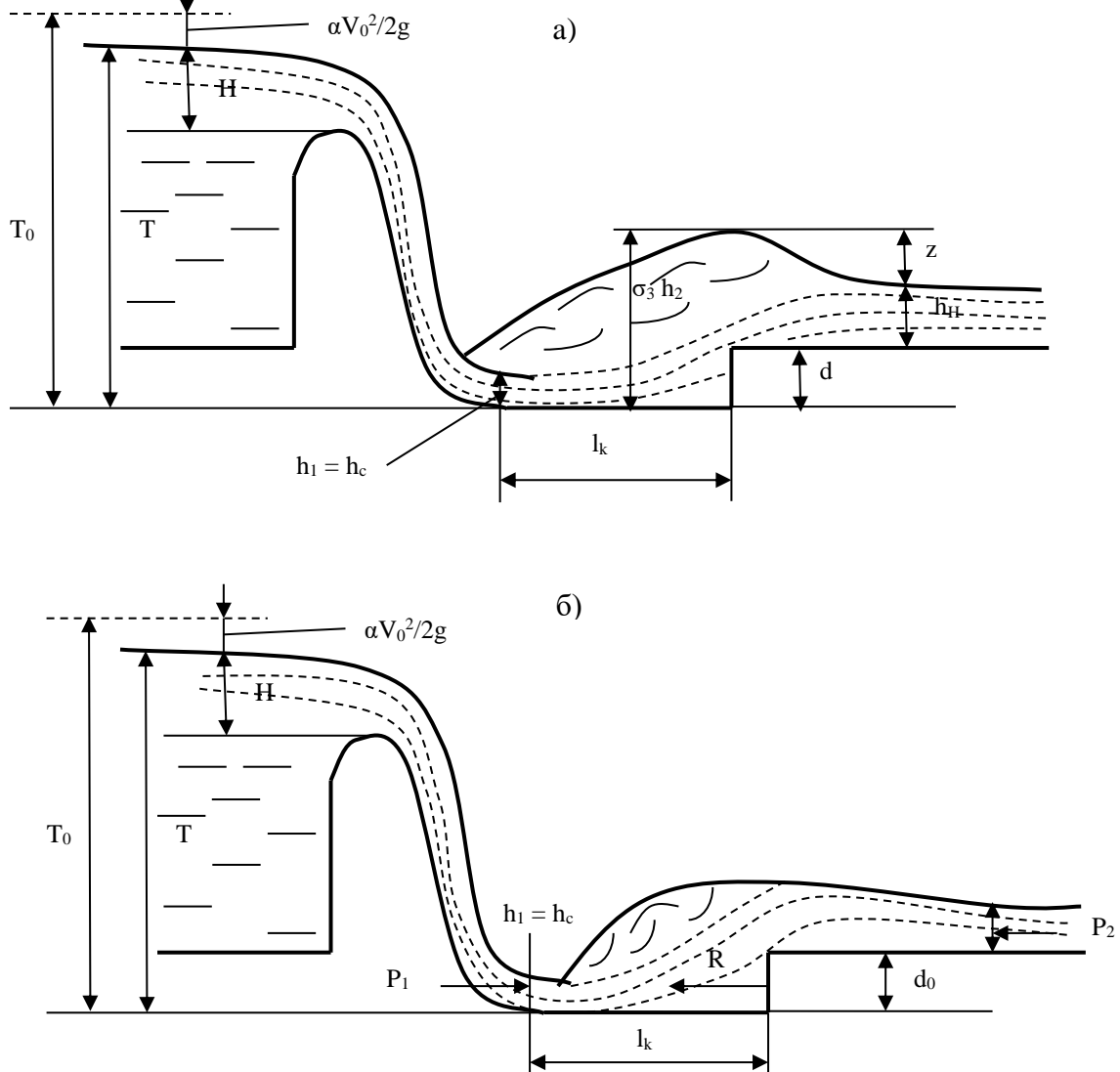


Рисунок 3.6 – Схема до розрахунку глибини водобійного колодезя:
а – за формулою (3.40), б – за формулою (3.49)

Оскільки, під час влаштування водобійного колодезя потенціальна енергія потоку верхнього б'єфу збільшується на величину d , то глибина потоку в перерізі С–С дещо зменшиться, а друга спряжена глибина стрибка трохи збільшиться. Тому потрібно виконати уточнення глибини колодезя. Для цього за наступною формулою уточнюють глибину в стисненому перерізі С–С:

$$h_{c1} = \frac{q}{\varphi_c \sqrt{2g(T_{01} - h_{c1})}}, \quad (3.43)$$

де $T_{01} = T_0 + d$.

Приймаючи, що перша спряжена глибина $h_1 = h_{c1}$, за формулою спряжених глибин визначають нове значення другої спряженої глибини стрибка h_2 і за формулами (3.41), (3.42) обчислюють глибину водобійного колодезя в другому наближенні.

Зазвичай третього наближення не виконують;

2) для визначення глибини колодязя, яка утворює присунутий до перерізу С–С гідравлічний стрибок, складемо рівняння зміни кількості руху в потоці між перерізами з глибинами h_C і h_H в проекціях на горизонтальну вісь:

$$\alpha_0 \rho Q (V_2 - V_1) = P_1 - P_2 - R, \quad (3.44)$$

де R – реакція водобійного уступу, висота якого дорівнює d_0 (рис. 3.6, б);

P_1, P_2 – сили гідродинамічного тиску в перерізах 1–1, 2–2. Припустимо, що P_1 і P_2 можна визначити за законами гідростатики, тобто

$$P_1 = \rho g y_{c1} \omega_1 = \rho g \frac{h_C}{2} h_C B = \rho g \frac{h_C^2}{2} B; \quad (3.45)$$

$$P_2 = \rho g y_{c2} \omega_2 = \rho g \frac{h_H}{2} h_H B = \rho g \frac{h_H^2}{2} B, \quad (3.46)$$

де B – ширина колодязя.

Підставимо значення P_1 і P_2 із (3.45) – (3.46) в рівняння (3.44) і розділимо всі члени рівняння на $\rho g B$. Тоді отримаємо:

$$\frac{\alpha_0 Q^2}{g B^2} \left(\frac{1}{h_H} - \frac{1}{h_C} \right) = \frac{h_C^2}{2} - \frac{h_H^2}{2} - \frac{R}{\gamma}, \quad (3.47)$$

де γ – питома вага рідини.

Припустимо, що корегуючий коефіцієнт кількості руху α_0 дорівнює корегуючому коефіцієнту кінетичної енергії α . Тоді вираз $\alpha_0 Q^2 / (g B^2) = h_K^3$, де h_K – критична глибина в прямокутному руслі.

Рівняння (3.47) пишемо в такому вигляді

$$\frac{h_K^3}{h_C} + \frac{h_C^2}{2} = \frac{h_K^3}{h_H} + \frac{h_H^2}{2} + \frac{R}{\gamma}. \quad (3.48)$$

Рівняння (3.48) – це рівняння підпертого гідравлічного стрибка в прямокутному руслі.

Якщо довжина колодязя $l_K \geq l_C$ (де l_C – довжина вільного досконалого стрибка), то реакцію R можна визначити за гідростатичним законом. Тоді, приймаючи, що перед уступом d_0 глибина води $h = h_2$, одержимо

$$R = \gamma \cdot h_{цв} \cdot \omega_v = \gamma \left(h_2 - \frac{d_0}{2} \right) d_0, \quad (3.49)$$

де $h_{цв}$ – глибина занурення геометричного центру площі перерізу з глибиною h_2 .

Підставляючи значення R із (3.49) в рівняння (3.48), одержимо

$$d_0 = h_2 - \sqrt{h_2^2 - A}, \quad (3.50)$$

де параметр А дорівнює:

$$A = (h_H - h_C) \cdot \left(\frac{2h_K^3}{h_C \cdot h_H} - h_H - h_C \right). \quad (3.51)$$

Якщо довжина стрибка $l_K < l_C$, то реакція водобійного виступу R відрізняється від тієї, що обчислена за формулою (3.49). У цьому разі для визначення реакції колодязя R використовують експериментальні залежності та графіки.

Для утворення затопленого стрибка глибину d_0 потрібно збільшити. З урахуванням затоплення стрибка глибину колодязя пропонують такою

$$d = \sigma_3 d_0 + (\sigma_3 - 1) \cdot h_H, \quad (3.52)$$

де $\sigma_3 = 1,05 \dots 1,1$ – коефіцієнт затоплення стрибка;

h_H – глибина води в нижньому б'єфі при розрахунковій витраті Q_p .

Якщо глибину колодязя визначати за формулами (3.41) і (3.52), то довжину колодязя можна призначати в межах:

$$l_k = \beta \cdot l_c = (0,8 \dots 1,0) l_c. \quad (3.53)$$

Розглянемо приклад: визначити висоту суцільної водобійної стінки, якщо витрата споруди $Q = 55 \text{ м}^3/\text{с}$, перша спряжена глибина стрибка $h_1 = 0,73 \text{ м}$, глибина води в нижньому б'єфі $h_H = 2,5 \text{ м}$, коефіцієнт затоплення стрибка $\sigma_3 = 1,05$, ширина нижнього б'єфу $B = 8,8 \text{ м}$.

Розв'язання

Визначаємо критичну глибину

$$h_K = \sqrt[3]{\frac{\alpha \cdot Q^2}{g \cdot B^2}} = \sqrt[3]{\frac{1 \cdot 55^2}{9,81 \cdot 8,8^2}} = 1,58 \text{ м.}$$

Далі обчислюємо другу спряжену глибину стрибка:

$$h_2 = 0,5 \cdot 0,73 \left(\sqrt{1 + 8 \left(\frac{1,58}{0,73} \right)^3} - 1 \right) = 2,94 \text{ м.}$$

Оскільки $h_2 = 2,9 \text{ м} > h_H = 2,5 \text{ м}$, то стрибок відігнаний. Припустимо, що водобійна стінка працює як водозлив, коефіцієнт витрати якого можна визначити за формулою (3.40). в першому наближенні вважаємо, що водобійна стінка є непідтопленою з боку нижнього б'єфу. Тоді коефіцієнт підтоплення $\sigma_{II} = 1$.

Задаючись висотами водобійної стінки C , визначаємо витрати:

$$Q = \sigma_n \cdot m_c \cdot B_{CT} \sqrt{2g} \cdot H_c^{3/2},$$

де m_c – коефіцієнт витрати. Результати розрахунків зведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати розрахунків водобійної стінки

$C, \text{ м}$	$H_c = \sigma_3 \cdot h_2 - C, \text{ м}$	H_c / C	m_c	$Q, \text{ м}^3/\text{с}$
1	2,09	2,09	0,515	60,66
1,2	1,89	1,57	0,487	49,32
1,5	1,59	1,06	0,459	35,68

За даними таблиці 3.2 будемо графік $C = f(Q)$ (рис. 3.7), за допомогою якого при $Q = 55 \text{ м}^3/\text{с}$ знаходимо висоту водобійної стінки $C = 1,1 \text{ м}$.

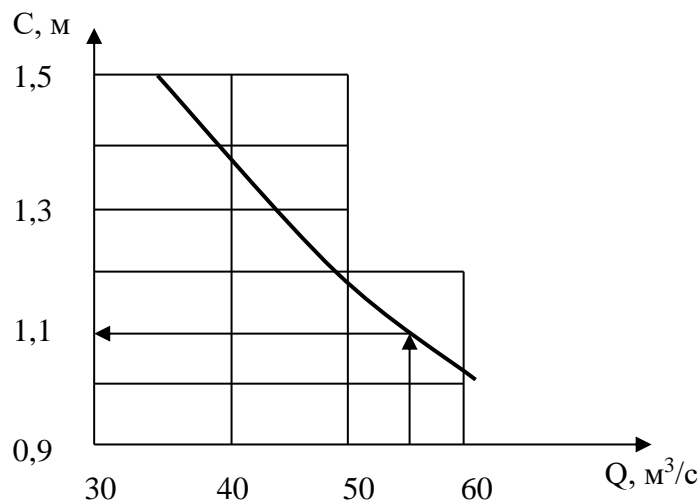


Рисунок 3.7 – Графік для визначення висоти водобійної стінки (до прикладу)

Контрольні питання

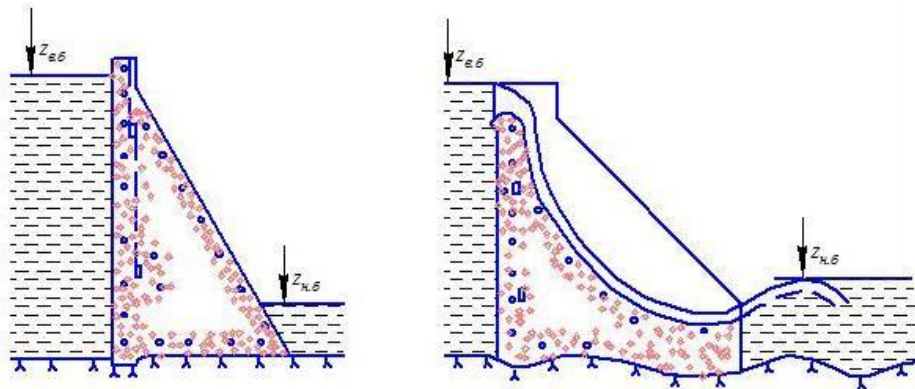
1. Подайте визначення та наведіть схему гідравлічного стрибка.
2. Наведіть алгоритм визначення взаємних глибин під час утворення гідравлічного стрибка.
3. Наведіть алгоритм визначення довжини гідравлічного стрибка.
4. Наведіть основні формули, які використовують для визначення довжини гідравлічного стрибка.
5. Як виконують визначення найменшої глибини за спорудою у нижньому б'єфі?
6. У чому полягає гідравлічний розрахунок водобійної стінки?
7. У чому полягає гідравлічний розрахунок водобійного колодезя?

ТЕМА 4 ОСНОВИ ПРОЄКТУВАННЯ ТА РОЗРАХУНКУ ГРЕБЛІ

4.1 Класифікація та призначення гребель

Гребля – це масивна перемичка, що зводиться для утримання водного потоку, основна гідротехнічна споруда при використанні та регулюванні водних ресурсів. Вже в доісторичні часи в Єгипті, Месопотамії та інших районах проживання людини будувалися найпростіші греблі у вигляді насипів із землі та каміння. Протягом багатьох століть влаштування гребель визначалося міркуваннями, почерпнутими лише з практичного досвіду, і лише у 1853 р. французький інженер Де Сазілі теоретично обґрунтував їх конструктивні принципи.

Водозливні греблі зводяться, щоб підвищити рівень води в річці або відвести водотік, що зазвичай необхідно при будівництві електростанцій для забезпечення судноплавства або зрошення земель. Глухими греблями (без пропуску води) перегороджують водотік та створюють водосховища, призначені для забезпечення міст водою чи електроенергією або для іригаційних цілей тощо. У багатьох гребель цього типу верхня частина влаштовується так, що при необхідності може бути водоскидом. Гребля протидіє тиску води або власною вагою (гравітаційні греблі – рисунок 4.1), або своєю конструкцією, силові елементи якої забезпечують стійкість всієї споруди (аркові, контрфорсні греблі). Гравітаційні греблі роблять у вигляді кам'яної кладки, бетонних загороджень, земляного або скельного (щебеневого) заповнювача; інші греблі будують із бетону, залізобетону, сталевих конструкцій чи лісоматеріалів [9].



а)

б)

Рисунок 4.1 – Схема гравітаційної греблі:

а – глуха гребля; б – водозливна гребля

Відмінною ознакою гравітаційних гребель є їхня масивність (рис. 4.1). Значна маса і великі сили зчеплення (тертя) на основі дозволяють споруджувати такого роду греблі практично на будь-яких ґрунтах. Гравітаційна гребля при її висоті до 30–40 м повинна бути споруджена на такій слабкій основі, як пісок і глина, а на скельній основі висота її може досягати 300 м. Такі греблі бувають глухими (рис. 4.1, а), тобто така гребля не допускає переливу

води через гребінь, та водозливними (рис. 4.1, б). Останні виконуються з поверхневими водозливами або заглибленими (донними) отворами для пропускання води. Греблі руслових ГЕС складаються зазвичай з глухої та водозливної частин. Високі греблі у вузьких ущелинах часто будуються глухими. У цьому випадку скидання зайвої води здійснюється в обхід греблі через поверхневий або тунельний водоскид.

Арочні греблі становлять звід з вертикальною віссю, окреслений у плані у вигляді дуги, що упирається своїми кінцями в скельні береги, які й сприймають весь тиск води на греблю з боку верхнього б'єфу (рис. 4.2). Висота таких гребель може сягати понад 300 м, проте бетону в ній буде менше, ніж у рівноцінній за висотою гравітаційній. Такі греблі бувають одноарочними та багатоарочними та в обох випадках можуть мати водоскидні пристрої.

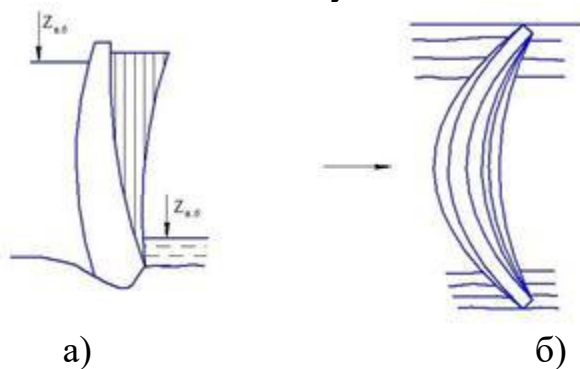


Рисунок 4.2 – Арочна гребля:
а – розріз; б – план

Контрфорсні греблі (рис. 4.3) у найпростішому випадку виконуються у вигляді вертикальних залізобетонних ребер (контрфорсів), на які з боку верхнього б'єфу похило укладаються залізобетонні плити 1, що сприймають тиск води. Контрфорси 2 скріплюються між собою балками жорсткості 3, що утворюють по фронту окремі прольоти. При відповідній конструкції гребеня з низового боку контрфорсні греблі бувають водозливними. Гранична висота сучасних контрфорсних гребель сягає 110 м (Зейська ГЕС).

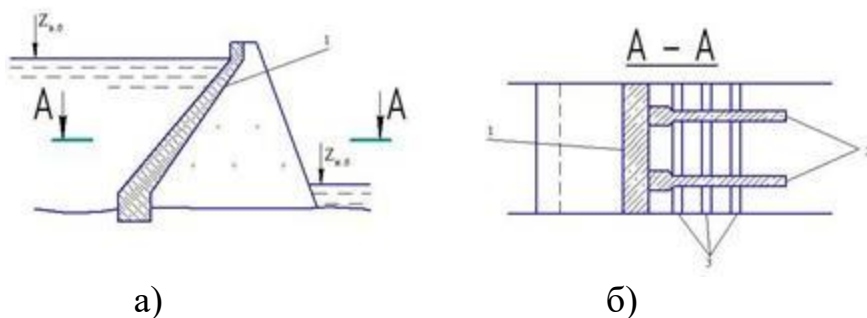


Рисунок 4.3 – Контрфорсна гребля:
а – розріз; б – план

Різновидом гребель, споруджуваних із ґрунтових матеріалів (рис. 4.4), є земляні. Вони будуються із суглинків, супіску, піску тощо. Розрізняють насипні і намівні земляні греблі. Перші зводяться шляхом відсипання у вигляді горизонтальних шарів невеликої товщини з подальшим ущільненням (укаткою

або трамбуванням із зволоженням) ґрунту. Намивні земляні греблі будуються методом гідромеханізації, що зводиться до подачі розмитого в кар'єрі розрідженого ґрунту до місця укладання насосами трубопроводами або самопливом трубами або лотками.

Верховий укіс греблі для захисту від впливу хвиль і льоду (рис. 4.4, а) зміцнюється в межах зміни рівня води бетонними плитами або каменем. Низовий укіс (з боку нижнього б'єфу) зміцнюється дерном і постачається в деяких випадках горизонтальними майданчиками, званими бермою 2. Вони служать для захисту укосу від змиву ґрунту водою.

Якщо земляна гребля споруджується з сильноводопроникних ґрунтів (наприклад великого піску), то для зменшення фільтрації води влаштовуються перешкоди у вигляді екрана з понуром 3 (рис. 4.4, б) або ядра 5 (рис. 4.4, в). Ці перешкоди влаштовуються із слабоводопроникного ґрунту, наприклад глини.

Для пропуску через тіло греблі фільтруювальної води та затримання при цьому винесення частинок ґрунту на всіх земляних гребель з боку нижнього б'єфу влаштовуються дренажні призми 6.

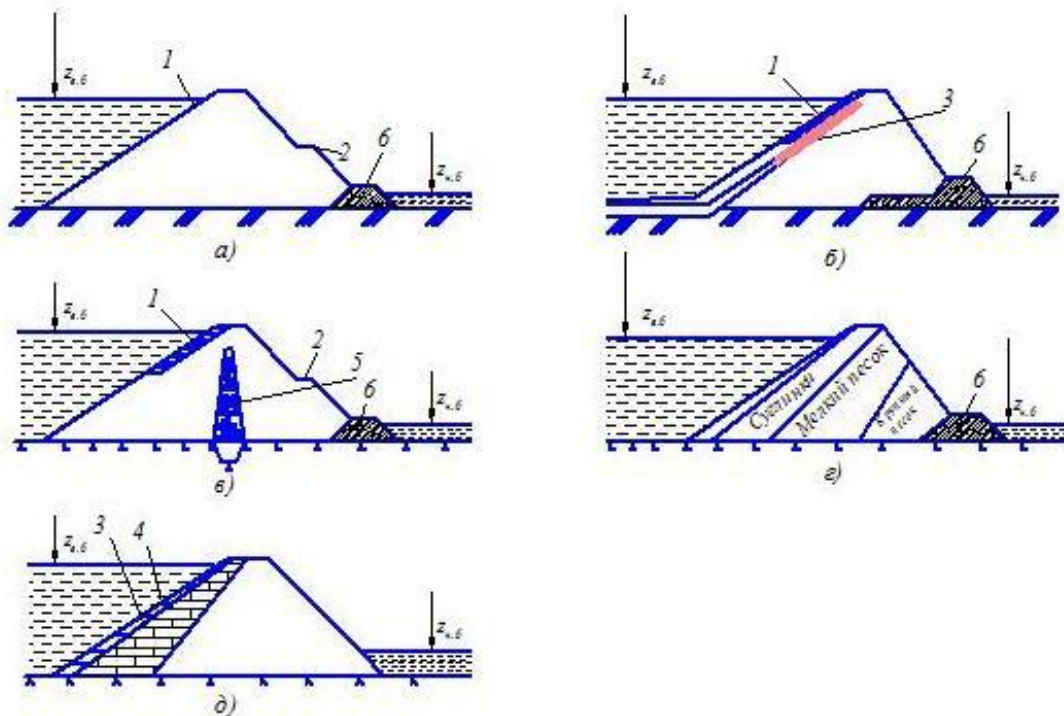


Рисунок 4.4 – Греблі з ґрунтових матеріалів:

- а – гребля для захисту від хвиль та льоду; б – гребля з сильно водопроникного ґрунту з понуром; в – гребля з сильно водопроникного ґрунту з ядром;*
- г – земляна гребля з різних за своїми водопроникними властивостями ґрунтів;*
- д – кам'яно-накидна гребля;*
- 1 – земляна гребля; 2 – берма; 3 – екранування понуром; 4 – спеціальна під екранне кам'яне мурування; 5 – ядро; 6 – дренажна призма*

Закладення укосів приймається виходячи з властивостей ґрунту та висоти греблі в межах, вказаних на рисунку 4.4, а.

Непоодинокі випадки спорудження земляних гребель з різних за своїми водопроникними властивостями ґрунтів. В цьому випадку, чим краще ґрунт, тим ближче з боку верхнього б'єфу він розташовується (рис. 4.4, г).

Земляні греблі мають досить широке поширення. Їх будують, зазвичай, глухими. Висота їх може досягати 300 м.

Кам'яні греблі виконуються із кам'яних матеріалів. У практиці сучасного гідротехнічного будівництва розрізняють кам'яно-накидні греблі та кам'яні.

Кам'яно-накидні греблі споруджують шляхом начерку в русло річки каменю різних розмірів. По мірі зростання висоти греблі кам'яна нарис ущільнюється струменем води під тиском у кілька атмосфер.

Водонепроникність таких гребель досягається шляхом влаштування екрану 3 із залізобетону з боку верхнього укусу (рис. 4.4, д), що укладається на спеціальне підекранне кам'яне мурування 4. Кам'яно-накидні греблі зазвичай споруджуються глухими, висота їх повинна бути більше 300 м.

Кам'яні греблі виконують у вигляді сухого мурування. Різновидом зазначених двох типів гребель є напівнакидні, що виконуються в напірній частині із сухої кладки, а в низовій частині – з кам'яного начерку. Є змішані греблі, що споруджуються з місцевих будівельних матеріалів – кам'яно-земляні. У них більша частина тіла виконана з кам'яних матеріалів, а протифільтраційний пристрій із слабопроникного ґрунту. Вони добре себе зарекомендували в районах, схильних до землетрусів.

4.2 Основи проєктування гребель

Конструювання водоскидних бетонних та залізобетонних гребель та їх елементів на нескельних основах слід виконувати відповідно до вимог вказівок у ДБН [8].

Для водоскидних бетонних та залізобетонних гребель на нескельних основах слід розрізнити такі основні елементи (рис. 4.5):

- фундаментні плити; бики та підвалини; водозливи та водоскиди; деформаційні шви та їх ущільнення; водобій та рисберма;
- протифільтраційні пристрої (понур, шпунти, буробетонні палі та стінки, зуби, протифільтраційні завіси); дренажні пристрої.

Водоскидні бетонні та залізобетонні греблі на нескельних основах слід розбивати на секції температурно-осадовими швами, як правило, по осі биків.

При однорідній основі допускається не розбивати греблю на секції, влаштовуючи в окремих випадках шви-надрізи.

Величину заглиблення фундаментної плити греблі в ґрунт слід встановлювати з урахуванням вимог статичної стійкості, гідравлічних та фільтраційних умов.

За необхідності слід передбачати влаштування бетонного зуба або низового шпунтового огородження.

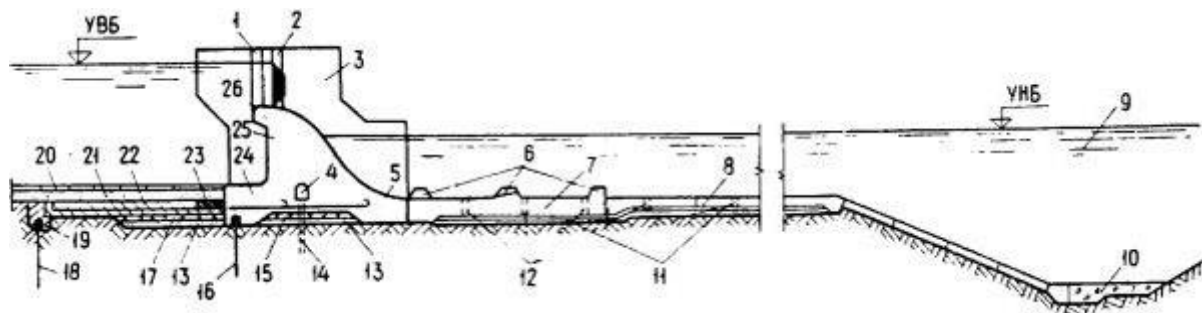


Рисунок 4.5 – Окремі частини та елементи водозливної греблі з анкерним понуром на нескельній основі:

- 1 – паз ремонтного затвору; 2 – паз робочого затвору; 3 – проміжний бик; 4 – дренажна галерея; 5 – низова ділянка фундаментної плити; 6 – гасники енергії; 7 – водобій; 8 – рисберма; 9 – запобіжний ківш; 10 – перехідне кріплення, що деформується; 11 – горизонтальний дренаж водобою та рисберми; 12 – дренажні колодязі; 13 – зворотний фільтр; 14 – вертикальний дренаж основи; 15 – горизонтальний дренаж фундаментної плити; 16 – верховий підгребельний шпунт; 17 – горизонтальний дренаж понуруа; 18 – понурий шпунт; 19 – надшпунтова балка; 20 – кріплення привантаження; 21 – привантаження понуру; 22 – анкерний понур; 23 – гнучка ділянка анкерного понура; 24 – верхова ділянка фундаментної плити; 25 – водозлив; 26 – гребінь водозливу

Торець фундаментної плити греблі з понуром із зв'язкових ґрунтів слід проектувати похилим у бік верхнього б'єфу.

У межах секції греблі слід передбачати жорстке з'єднання биків із фундаментною плитою. Допускається передбачати роздільне зведення биків та фундаментної плити з подальшим омонолічуванням швів.

Складний устій, що входить до складу берегової секції греблі, слід розташовувати, як правило, на загальній фундаментній плиті. Допускається сполучний устій проектувати у вигляді підпірної стіни, при цьому в температурно-осадовому шві між устоєм, водозливом та фундаментною плитою необхідно передбачати ущільнення.

Сполучні традиції в межах понуру, водобою та рисберми слід проектувати у вигляді підпірних стін.

При проектуванні греблі, залежно від прольоту водозливних отворів, кліматичних та інженерно-геологічних умов району будівництва, слід передбачати жорстке загортання водозливу в бики або влаштування між ними температурних швів, що прорізають водозлив у площині лицьової грані бика від гребеня до верху фундаментної плити. При водозливних отворах прольотом понад 30 м слід передбачати влаштування температурних швів у тілі водозливу.

Глибинні водоскиди гребель на нескельних основах слід проектувати у вигляді замкнених залізобетонних рам.

При проектуванні водоскидних гребель на нескельних основах у якості основи форму сполучення б'єфів слід приймати донний режим, передбачаючи в необхідних випадках влаштування гасників енергії та розтікачів потоку.

При донному режимі сполучення б'єфів у якості основних слід приймати такі типи гасників енергії:

- суцільна водобійна стіна;
- водобійний колодезь;
- водобійна стінка з розташованим нижче її неглибоким водобійним колодезем;
- прорізна водобійна стінка;
- гасник у вигляді кількох рядів шашок чи пірсів;
- комбіновані з різних типів вказаних гасників.

Допускається застосування й інших типів гасників при належному техніко-економічному та експериментальному обґрунтуванні.

Вибір типу гасників, їх розташування на водобої необхідно визначати на підставі техніко-економічного порівняння варіантів з урахуванням допустимих глибин на водобої, умов виникнення кавітації та збійності течії, а також здатності потоку розмивати русло нижче гасників. Мінімальну відстань від стисненого перерізу потоку до гасників слід приймати рівною від 4 до 4,5 висоти гідравлічного стрибка або застосовувати безерозійні гасники.

Конструкція гасника поряд із гасінням енергії повинна забезпечувати стійкість потоку та виключати небезпеку виникнення збійних течій. У нижньому б'єфі малопрогонових гребель доцільне застосування спеціальних протизбійних гасників.

Довжина та профіль рисберми, конструкція перехідного кріплення від рисберми до незакріпленого русла повинні визначатися на основі техніко-економічного зіставлення варіантів, з урахуванням забезпечення швидкостей потоку, що не розмивають, на початку незакріпленого русла.

Для гребель I, II та III класів рисберму слід проектувати, як правило, у вигляді плит із монолітного бетону або залізобетону.

Для гребель IV класу рисберму допускається передбачати у вигляді кам'яного начерку або вимощення, габійних сіток, збірних бетонних або залізобетонних плит, з'єднаних між собою арматурою.

Товщини плит водобою та рисберми визначаються розрахунком з умов забезпечення їх міцності та стійкості з урахуванням середніх та пульсаційних навантажень. Необхідно передбачати розрізання їх температурно-осадовими швами, дренажу підплитної області, влаштування дренажних колодезів та ін.

Тип та конструкцію дренажу підплитної області водобою та рисберми, розміри та розміщення дренажних колодезів слід вибирати залежно від величини та розподілу гідродинамічного тиску при різних скидних витратах через греблю. При цьому повинні бути виключені виникнення високого посереднього і пульсаційного тиску в підплитній області і суфозійні явища у зворотному фільтрі та підстилаючому ґрунті.

Допускається влаштовувати закриті дренажні колодезі з виведенням фільтраційної води спряжених устоях, роздільних стінках, биках.

Випуски дренажу слід розміщувати в зонах зниженого тиску нижче мінімального рівня нижнього б'єфу.

У рисбермі із збірних плит дренажні колодязі допускається не влаштовувати.

Наприкінці рисберми слід передбачати пристрої у вигляді вертикальної стіни, запобіжного ковша, перехідного кріплення, що деформується, або поєднання з цих конструкцій (рис. 4.5).

Вертикальні стіни в кінці рисберми або водобою (у вигляді бетонної або залізобетонної стіни, шпунтової стіни плоскої або комірчастої конструкції, ряжею, заповнених каменем тощо) слід проектувати на всю глибину можливого розмиву ґрунту. Допускається влаштовувати вертикальну стіну не на повну глибину розмиву з ділянкою перехідного кріплення, що деформується, за нею.

При влаштуванні запобіжного ковша в кінці рисберми з перехідним кріпленням його верхового укусу і дна закладення низового укусу ковша, що розмивається, слід визначати з умови його стійкості в будівельний період. Закладення верхового укусу ковша слід призначати з урахуванням гідравлічних умов розтікання потоку та розміщення на ньому похилої ділянки рисберми або перехідного кріплення, що деформується.

Перехідне кріплення, що деформується, слід проектувати у вигляді окремих бетонних або залізобетонних плит, шарнірно пов'язаних між собою або з компенсаційними зв'язками; з гравійного або кам'яного начерку; габіонних, фашинних кріплень або іншої конструкції матраців з привантаженням їх каменем або гравієм, а також у вигляді поєднання цих типів кріплень.

Тип кріплення слід вибирати на підставі порівняння техніко-економічних показників розроблених варіантів з урахуванням гідравлічних умов, допустимої глибини розмиву та інших факторів.

4.3 Експлуатаційні спостереження за станом гребель

Спостереження за станом та роботою земляних гребель мають велике практичне значення, водночас систематизований матеріал спостережень є науковою цінністю. Обробка та узагальнення такого матеріалу дозволяють внести корективи до теоретичних формул з розрахунку гребель, уточнити дослідні коефіцієнти, що входять до формул, а в деяких випадках і отримати нові експериментальні залежності [10].

Експлуатаційні спостереження за земляними греблями поділяються на візуальні та інструментальні, в завдання яких входять спостереження за режимом водосховища і обома б'єфами, за фільтрацією в тілі та основі греблі, за осадкою греблі та її основи, за загальним станом греблі.

Візуальні спостереження, під якими розуміють загальний огляд споруд із застосуванням найпростіших вимірювальних приладів, полягають у окомірній оцінці явищ та запису їх у спеціальні польові журнали. Неодмінною умовою візуальних спостережень при експлуатації гідротехнічних споруд поряд із записами є також ескізні замальовки деформованих ділянок із зазначенням розмірів, висотною та плановою прив'язкою до пікетажу або будь-яким постійним знакам, а за можливості й фотографування.

За допомогою візуальних спостережень насамперед здійснюється загальний контроль за станом греблі та її окремих частин, виявляються відхилення в роботі споруд від режиму, встановленого проєктом та експлуатаційними інструкціями, а також фіксуються деформації, що відбулися. Візуальні спостереження проводять регулярно протягом усього року, причому в період особливо напруженого стану греблі, наприклад при пропуску паводку через водоскидні споруди, спостереження проводять частіше та уважніше. Крім того, незалежно від встановлених термінів греблю та прилеглі до неї ділянки оглядають під час та після буревіїв, сильних злив та тривалих дощів.

На підставі візуальних спостережень складають план запобіжного та поточного, а в необхідних випадках та капітального ремонту. Якщо ж візуально встановлено прогресивне поширення деформацій, що загрожують стійкості греблі або окремим її частинам, ремонтно-відновлювальні роботи проводять негайно чергові робочі бригади під керівництвом технічного персоналу експлуатаційного штату.

Інструментальні спостереження здійснюються за допомогою контрольно-вимірювальної апаратури, місце розташування якої дається в проєкті, а встановлення її виконують у процесі зведення греблі або перед початком заповнення водосховища водою. Будівельна організація закладає контрольно-вимірювальну апаратуру та передає її службі експлуатації за актом одночасно зі здаванням закінченого об'єкта.

Інструментальні спостереження та записи щодо них проводяться регулярно за заздалегідь складеною програмою або інструкціями. Слід пам'ятати, що лише безперервні спостереження у суворо встановлений час становлять інтерес подальшого узагальнення і висновків роботи земляних гребель як із теоретичної, так і з практичної боку. Виходячи з цього, записувати спостереження потрібно систематично та у встановленій послідовності.

Оскільки всі явища, що фіксуються контрольно-вимірювальною апаратурою, активно протікають у початковий період експлуатації гребель, інтервали спостережень не залишаються незмінними і змінюються з часом. Так само регулярність спостережень змінюється не більше року у зв'язку зі зміною чинників, які впливають на показання приладів. Періодичність спостережень встановлюють проєктом чи інструктивними вказівками та коригують, виходячи з місцевих умов.

Інструментальні спостереження за режимом водоймища зводяться до вимірювання рівнів води в часі за допомогою водомірних рейок або самописців рівнів – лімніграфів. Встановлювати ці прилади потрібно в місцях, захищених від хвилебою та дії льоду, із зручними підходами для зняття показань та відліків.

Основні рівні води у водосховищі чітко позначають на рейках яскравою фарбою; риса має бути добре видною на відстані. Нуль відліку приладів, від якого вимірюють рівні води, розміщується нижче за позначку мертвого обсягу, що дає можливість завжди оперувати тільки з позитивними числами. Відліки по рейках та лімніграфах переводять у абсолютні або відносні позначки, прийняті для всіх частин греблі. Для цього нуль відліку вимірювальних приладів

прив'язують подвійним нівелюванням до опорного репера. Контроль за положенням нуля відліку здійснюється не рідше одного разу на місяць.

Спостереження за рівнями води у водосховищі проводяться щодня в одну і ту ж годину. У період короткочасної зміни рівнів, що спостерігається при весняному сніготаненні, зливах або швидкому спрацюванні водосховища, позначки рівнів води записують не менше трьох разів на добу, а в разі потреби і частіше.

Одночасно зі спостереженням у верхньому б'єфі проводять спостереження за рівнем води й у нижньому б'єфі. Особливо часто (через кожні 2 години) ведуть спостереження за рівнями під час пропуску паводкових вод через водоскидні споруди.

У цей же період обов'язково має бути відзначено максимальне підняття рівня. Зазвичай пік паводку проходить вночі, тому місця вимірювання рівнів обладнують освітленням.

Швидкість підйому або зниження рівня води у водосховищі, а по можливості і нижньому б'єфі не повинна перевищувати 0,5 м/с. Збільшення спрацювання рівня понад цю межу припустимо, якщо це підтверджено розрахунком і забезпечена стійкість укусу. До експлуатації водосховищ відносяться і заходи щодо запобігання швидкому замуленню мертвого обсягу, особливо коли він невеликий. Ці заходи зводяться до наступного:

- заборони розорювання схилів на відстані не менше 200 м від урізу води та поперечного розорювання схилів за межами цієї відстані;
- догляду за лісопосадками за периметром водосховища, а в необхідних випадках додаткової посадки їх;
- виконання робіт із закріплення діючих органів на водозбірній площі водосховища.

Складовою частиною інструментальних спостережень є спостереження за фільтрацією в тілі та основі земляної греблі, а також за фільтраційними напорами в окремих точках греблі та спорудах, що примикають до неї. Такі спостереження здійснюються за допомогою п'езометрів, які дозволяють встановити положення кривої депресії в тілі греблі, обчислити швидкості та градієнти фільтраційного потоку на окремих ділянках, а в напірному потоці встановити п'езометричний тиск. Виходячи з призначення п'езометрів, вони поділяються на глибинні, точкові та шахтні.

Незалежно від конструктивних особливостей та призначення п'езометрів всі вони виходять з наступних основних частин: водоприймача з фільтром, труби п'езометра, гирла та кінцевого пристрою – збірника.

Для спостереження за положенням кривої депресії в тілі земляної греблі застосовують шахтні п'езометри, які виконуються з металевих газових труб зазвичай діаметром 50 мм. Нижня частина п'езометра – збірник довжиною 200–300 мм – є ємністю для осадження дрібних частинок ґрунту, що пройшли через фільтр. Торець труби кінцевого пристрою закритий різьбовою кришкою із привареною до неї тарілкою (дискон). Труба п'езометра вище за збірку, на довжині в межах можливої зміни кривої депресії перфорована: круглі отвори діаметром 8–10 мм розташовані в шаховому порядку через 100–120 мм. У

межах перфорованої частини труби влаштований фільтр, подібно до того, як це зроблено в свердловинах водопостачання.

Для невисоких гребель та при короткочасних фільтраційних спостереженнях за положенням кривої депресії застосовують п'езометри малого діаметра конструкції В. П. Бомбчинського. Такі п'езометри мають легші фільтри і забиваються в ґрунт ручною бабою або опускаються з підмивом вибою.

Розміщення п'езометрів у поперечному профілі земляної греблі дається у проекті. Кількість п'езометричних створів приймають, виходячи з протяжності греблі по гребеню, складу ґрунту тіла греблі та геологічних умов основи. Створи розташовують у найбільш характерних профілях греблі. Відстань між створами допускають не більше 100 м. У окремих випадках при довгій греблі та однотипності профілю і ґрунтів основи ця відстань може бути збільшена до 200–300 м. Для гребель, довжина яких не перевищує 300 м, приймають три створи і рідко обмежуються двома. У кожному створі однорідної земляної греблі встановлюють щонайменше три п'езометри. З підвищенням класу капітальності гребель та наявністю складної ґрунтової будови основи кількість п'езометрів збільшують та доводять до п'яти та більше. П'езометри встановлюють у місцях передбачуваного перелому депресійної кривої, причому перший п'езометр розташовують по вертикалі, що проходить через брівку верхового укосу, а останній – на відстані 1–5 м від підшови низового укосу безпосередньо за дренажем. Варто мати на увазі, що з практичної сторони найбільш бажано мати спостереження за станом кривої депресії в середній частині профілю греблі та біля дренажів.

За допомогою контрольно-вимірювальної апаратури ведуть спостереження за вертикальним осадженням тіла греблі та основи. Горизонтальні деформації гребель рідко спостерігаються службою експлуатації, таку роботу виконують зазвичай лише за програмою науково-дослідних організацій.

Спостереження за вертикальним осадженням проводять шляхом нівелювання контрольних реперів, встановлених на основі греблі та за зовнішнім контуром її. Для визначення сумарного осідання тіла греблі та основи служать поверхневі репери, а осідання тільки основи – глибинні. Для виміру пошарової осадки застосовують телескопічні репери, встановлені в тілі греблі на різних висотах. Поверхневі репери розміщують на гребені греблі, укосах і біля підшови основи. Глибинні репери закладають в основі греблі перед початком її зведення.

Розміщують поверхневі та глибинні репери у створах з нормальним напрямом до поздовжньої осі греблі. Відстань між створами приймають від 50 до 100 м, а при значній протяжності греблі до 200 м і більше. Для гребель невеликої довжини кількість створів має бути менше трьох. Відстань між реперами в створі приймають 10–12 м. Щодо поздовжньої осі греблі репери встановлюють в одну лінію, що дозволяє в необхідних випадках здійснювати контроль за деформаціями укосів у плані. Поверхневі та глибинні репери бажано встановлювати близько один від одного, так як це дає можливість

визначити окремо осадку тіла греблі та основи в заданому створі. Розташування створів відносять до перерізів найбільшої висоти греблі та ділянок, що мають різне геологічне напластування.

Спостереження за осадкою за реперами в перші роки експлуатації гребель проводяться через 15–30 днів, а для невідповідальних гребель – один раз на квартал. У наступні роки в міру стабілізації осадки спостереження проводять рідше. Встановлені терміни спостережень за осадкою можуть бути змінені, якщо виявиться різке збільшення осадки щодо величин, що раніше спостерігалися. У цьому випадку нівелювання реперів проводять частіше до того часу, коли осадка знову стабілізується, а причини, що викликали великі деформації, будуть встановлені. Після цього спостереження проводять рідше. Спостереження за осіданням поверхневих реперів дозволяють встановити відповідність позначки гребеня греблі проектному положенню. Якщо в результаті спостережень буде встановлено, що гребінь опустився нижче за проектну позначку вживають експлуатаційних заходів щодо нарощування висоти греблі, причому ця робота повинна бути закінчена до чергового настання повені. Слід ще раз підкреслити, що не можна допускати позначку гребеня греблі нижче встановленої проектом, оскільки це може призвести до переливу води через гребінь з наслідками, що звідси випливають.

Контрольні питання

1. Наведіть класифікацію гребель та схеми їх конструкцій.
2. У чому полягають основні вимоги до проектування гребель?
3. Назвіть основні види спостережень за експлуатаційним станом гребель.

ТЕМА 5 МОСТИ, ТРУБИ ТА ТРУБЧАСТІ СПОРУДИ

5.1 Малі мости

До малих належать мости, повна довжина яких не перевищує 25 метрів. Малі мости влаштовуються:

- як водопропускні споруди на автомобільних та залізничних дорогах;
- під час перетину сухих логів і русел періодично діючих водотоків, зрошувальних каналів;

Вони мають стандартні отвори (відстань між устоями або опорами): 2; 3; 4; 5; 6; 7; 10; 12,5 і 20 м [5, 11]. Гідравлічний розрахунок малих мостів полягає в такому:

- 1) розрахунку вхідної ділянки, що дозволяє визначити його геометричні розміри – довжину моста і підвищення низу пролітної будівлі;
- 2) розрахунку вихідної ділянки, що дає змогу визначити швидкість потоку на виході з споруди і вирішити питання про захист русла від розмиву з боку нижнього б'єфу.

Малі мости бувають:

- однопрогонні;
- багатопрогонні.

Типи опор малих мостів бувають:

- полегшені (системи М. О. Словінського) (рис. 5.1, а);
- з відкисними крилами (рис. 5.1, б);
- зі зворотними стінками (рис. 5.1, в);
- естакадні з конусами (рис. 5.1, г).

Малий міст зазвичай стискує потік, що викликає підвищення рівня води у верхньому б'єфі, тобто перед мостом. *Найменше підвищення низу прольотної будівлі* можна визначити за залежністю:

$$H_{\min} = \sigma_k H + \Delta_{\min}, \quad (5.1)$$

де σ_k – коефіцієнт, що враховує зниження кривої підпора у вхідному перерізі, який приймають 0,75–0,85 (за даними В.В. Сміслова);

H – напір води перед мостом при розрахунковій витраті;

Δ_{\min} – технічний запас низу прольотної будівлі над рівнем води, приймається за таблицею 5.1



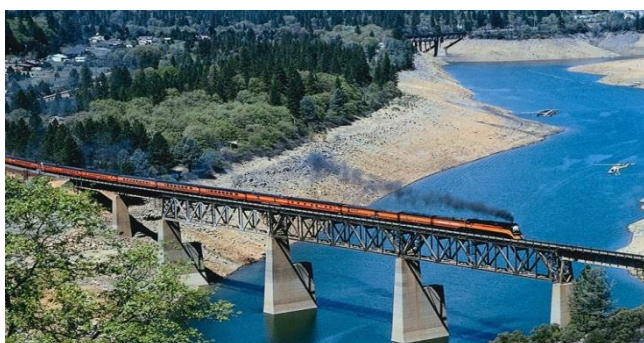
а)



б)



в)



г)

Рисунок 5.1 – Типи малих мостів:

*а – полегшені (системи М. О. Словінського); б – з відкисними крилами;
в – зі зворотними стінками; г – естакадні з конусами*

Таблиця 5.1 – Технічний запас низу прольотної будівлі над рівнем води

Умови протікання потоку	Значення Δ_{\min} , м, для		
	Автомобільних доріг	Залізничних доріг при витратах	
		розрахунковій	найбільшій
При напорі води перед мостом			
$H \leq 1$ м	0,5	0,5	0,25
$H > 1$ м	0,5	0,75	0,25
На селевих потоках	1	–	1

Допустимий напір води перед мостом визначається з умови, що

$$H = \frac{H_{\text{нас}} - \Delta}{\sigma_k}, \quad (5.2)$$

де $H_{\text{нас}}$ – висота насипу;

$$\Delta = h_{\text{буд}} + \Delta_{\min}, \quad (5.3)$$

$h_{\text{буд}}$ – будівельна висота прольотної будівлі.

Отвір малого моста працює за схемою водозливу з широким порогом.

5.2 Розрахунок отворів малих мостів і труб з урахуванням акумуляції

Розрахунки отворів малих мостів і труб з врахуванням акумуляції проводяться:

- у разі переваги зливого стоку у всіх випадках,
- у разі переваги снігового стоку (тільки у разі відсутності можливості заносів снігом ярів перед спорудами).

Акумуляція не враховується в районах з тривалими зливами, а також під час розрахунків отворів споруд за витратами селевого, льодяного і ґрунтового стоків.

Розрахунки отворів малих споруд з урахуванням акумуляції за витратами зливого стоку виконується спрощеним або уточненим графічним способом.

Спрощений спосіб застосовують:

- а) для попередніх міркувань у передпроектних стадіях проектування;
- б) у всіх стадіях проектування місцевих автомобільних доріг;
- в) у всіх випадках проектування залізничних і автомобільних доріг, якщо зменшення розрахункових зливових витрат у разі врахування акумуляції не перевищує 30 %.

Уточнений спосіб застосовується у всіх стадіях проектування залізничних і автомобільних доріг, якщо зменшення розрахункових зливових витрат у разі врахування акумуляції дорівнює або більше 30 %.

Розрахунок отворів малих штучних споруд з врахуванням акумуляції за витратами снігового стоку, якщо таке врахування акумуляції допустиме, виконується також двома способами: за спрощеною формулою або графоаналітичним способом.

Спрощена формула застосовується:

а) для попередніх міркувань у передпроектних стадіях проектування;

б) у всіх випадках проектування місцевих автомобільних доріг.

Для розрахунків отворів малих штучних споруд з врахуванням акумуляції необхідні такі дані:

– найбільша зливова витрата і відповідний їй об'єм стоку прийнятої вірогідності перевищення для розрахунків спрощеним способом і додатково до цих даних – витрата і відповідний їй найбільший об'єм зливогого стоку для уточненого способу;

– ухил головного логу та його відкосів перед спорудою та ескіз обрису водойми перед спорудою для розрахунків спрощеним способом; план у горизонталях у межах затоплення місцевості підпертою водою перед спорудою для розрахунків уточненим способом;

– графіки водопропускної здатності малих штучних споруд для обох способів розрахунку.

У гідравлічних довідниках наведені графіки, які складені для труб будь-якої довжини з ухилом, що більше або дорівнює критичному, і труб, довжина яких менше п'ятикратної величини підпору перед спорудою, якщо ухил лотку менше критичного.

Графіки побудовані за формулою

$$Q_{спор} = \mu \cdot \omega \cdot \sqrt{2g \cdot (H - h)}, \quad (5.4)$$

де $Q_{спор}$ – витрата у споруді, м³/с;

m – коефіцієнт витрати, який залежить в основному від обрису вхідного оголовка труби або конусів моста;

ω – площа живого перерізу потоку з критичною глибиною під час безнапірного протікання, або площа повного перерізу труби під час напірного протікання;

g – прискорення сили тяжіння, дорівнює 9,81 м/с²;

H – підперта глибина води перед спорудою над відміткою входу (лотки або кріплення), м;

h – критична глибина під час безнапірного протікання, або стиснена глибина під час напірного протікання, м.

5.3 Мости – водоскиди

Мости – водоскиди влаштовують для скиду зайвої води з верхнього б'єфу ставків або зрошувальних каналів. Серед них розрізняють:

– мости з водозливом;

– мости з затворами (шандорні);

– мости з підйомними щитами плоского або сегментного окреслення.

Якщо пристрій для перекриття влаштовано у вигляді шандорного затвору (це тимчасовий затвор, який встановлюється для проведення ремонтних або аварійних робіт. Основні складові елементи шандору – рама й щит), тоді отвір моста *працює за схемою водозливу з гострим порогом* (рис. 5.2, а). Якщо

пристрій для перекриття влаштовано у вигляді підйомного щита, то отвір моста **працює за схемою витікання з-під щита** (рис. 5.2, б).

Мости – водоспуски (водоскиди) працюють на строго зарегульовану витрату, що визначається рівнем верхнього б'єфу та ступенем відкриття затвору. У всіх випадках ці мости працюють за схемою незатопленого водозливу, тому що вони включаються в роботу тільки за умови зниження рівня у нижньому б'єфі нижче рівня затвору.

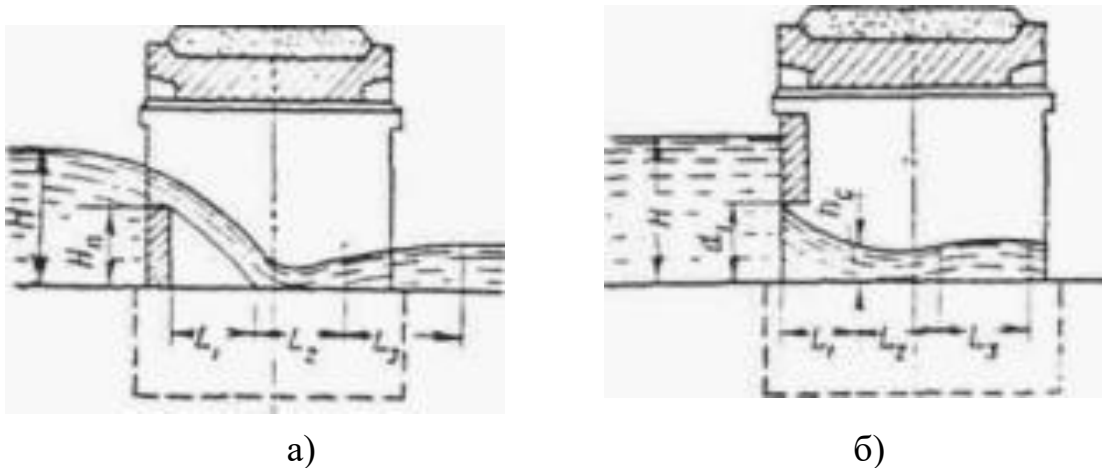


Рисунок 5.2 – Мости – водоспуски (водоскиди) з підйомним щитом (а) та з шандорним затвором (б)

Перший тип мостів – водоспусків (водоскидів) – шандорні мости – розраховують за формулою водозливу з тонкою стінкою. Значення **напору** в шандорних мостах невелике і визначається висотою одного або пари шандорів; практично ця висота коливається від **0,14 до 0,7 м**.

Для шандорного моста треба вирішувати **наступні задачі**:

а) за заданим часом спорожнення верхнього б'єфу та висотою підпору на водозливі H визначити необхідний отвір моста b ;

б) за прийнятим отвором моста b та висотою підпору на порозі H визначити витрату моста та час, необхідний для спорожнення верхнього б'єфу.

За порогом шандорного затвору утворюється перепад, для якого мають бути розраховані умови у нижньому б'єфі.

Розрахунку піддаються випадки змінання самого верхнього шандору, коли струмінь, який зливається з затвора, має найбільше падіння.

Переваги мостів – водоскидів (водоспусків):

- довговічність всієї конструкції в цілому;
- автоматичність скидання води;
- невеликі експлуатаційні витрати;
- покращені умови протікання потоку у підмостових руслах.

Недоліки мостів – водоскидів (водоспусків):

- недовговічність строку служби деревини у порівнянні з бетоном (мости з дерев'яними затворами);
- значні експлуатаційні витрати;

- великі швидкості у підмостовому руслі через падіння води з великої висоти і ін.

5.4 Водопроепускні (дорожні) труби

Водопроепускні труби представляють собою штучні споруди, які призначені для пропуску під насипами доріг невеликих постійних або періодично діючих водотоків (рис. 5.3). В окремих випадках труби використовуються в якості шляхопроводів тунельного типу, а також скотопроегонів [5, 11].

Під час проєктування доріг перевага перед малими мостами надається трубам, тому що:

- облаштування труби в насипу не порушує безперервність земляного полотна і верхньої будови шляху;
- витрати з утримання труби значно менші, ніж малого моста;
- якщо висота засипки над трубою більше 2 метрів вплив тимчасового навантаження на споруду знижується, а потім по мірі збільшення цієї висоти практично втрачає своє значення.

Отвори труб на автомобільних дорогах приймають:

- не менше 1,0 м якщо довжина труби не більше 30 метрів;
- не менше 0,75 м якщо довжина труби не більше 15 метрів;
- не менше 0,5 м на з'їздах під час влаштування в межах труби швидкотока.



Рисунок 5.3 – Водопроепускна труба

Класифікація водопроепускних труб наведена в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Класифікація водопроепускних труб:

За матеріалом	За формою поперечного перерізу	За числом очок	За роботою поперечного перерізу
бетонні залізобетонні металеві полімерні	круглі прямокутні овоїдальні	одноочкові двоочкові багатоочкові	безнапірні напірні напівнапірні

На внутрішньогосподарських дорогах можна застосовувати труби з отворами розміром 0,5 м, якщо їхня довжина не більше 10 метрів.

Труби за *несучою здатністю* поділяють на три групи:

- 1) відповідає розрахунковій висоті засипки ґрунтом, яка дорівнює 2,0 м;
- 2) те саме при висоті 4,0 м;
- 3) те саме при висоті 6,0 м.

На режим роботи труби впливають вхідні та вихідні оголовки. Вхідні оголовки діляться так:

– ті, що обтікають, – характеризуються або підвищенням, або сходженням вхідної ланки;

– ті, що не обтікають, – розтрубні, порталні та комірні.

Оголовки труб призначені для забезпечення плавного входу та виходу водного потоку. Збільшуючи пропускну здатність труб, вони підтримують відкоси насипу і попереджують прокольні деформації труб від дії горизонтального тиску ґрунту насипу. Відомі наступні типи оголовок: порталні, які складаються з вертикальної стінки, що перпендикулярна до вісі труби (рис. 5.4, а); коридорні з паралельними стінками постійної висоти і розвернуті на початку оголовку (рис. 5.4, б); розтрубні з відкосними крилами змінної висоти, які розходяться від осі труби (рис. 5.4, в); комірні зі зрізаною паралельно відкосу кінцевою ланкою труби (рис. 5.4, г); оголовок, що обтікається, у вигляді виступаючого з насипу усіченого конусу з плоскою п'ятою, які називаються конічними оголовками (рис. 5.4, д). Найкращі умови протікання води забезпечують розтрубні оголовки у поєднанні з конічною або підвищеною вхідною ланкою [12].

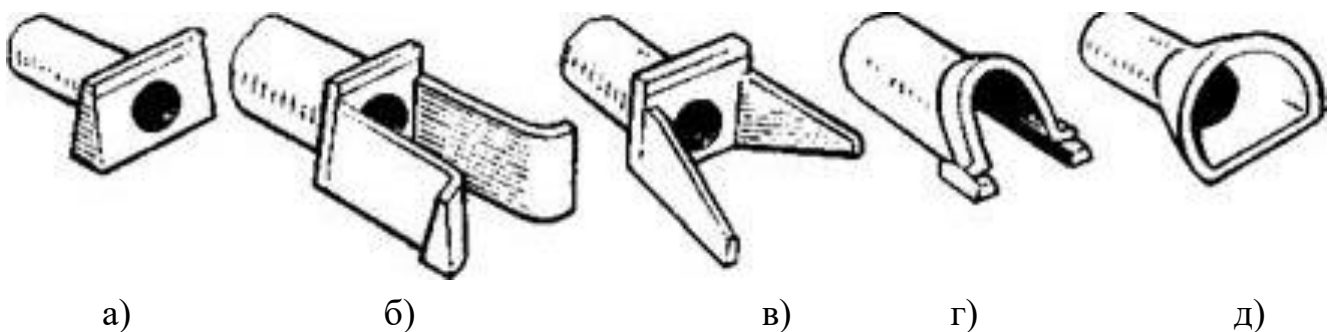


Рисунок 5.4 – Типи оголовок водопропускних труб:
а – порталний; б – коридорний; в – розтрубний; г – комірний;
д – конічний

5.5 Трубчасті водоскиди

Трубчасті водоскиди використовуються для зливу надлишку води, який постійно надходить з річки або струменя, що утворюється під час весняного танення снігів, тоді рівень води в головній водоймі буде підвищуватися, вода почне переливатися через гребень і розмие дамбу.

Водоскидні споруди – пристрої для скиду надлишку паводкових вод з головної водойми, а також для часткового або повного скиду води перед відловом риби і для регулювання рівня води в головній водоймі. Можуть пропускати лід. Водоскидні споруди бувають автоматичні, регульовані або комбіновані (рис. 5.5).

Автоматичні водоскиди – поріг споруди (та частина, куди зливається вода з водойми) розташовують на тому рівні, на якому бажано зберегти рівень води у водоймі. У разі перевищення рівня води над цією відміткою вода автоматично скидається з верхнього б'єфа в нижній (водоскидний земляний канал, відкритий бетонний водоскид, шахтний і трубчатий водоскиди). Автоматичні водоскиди влаштовують за максимальних паводкових витратах до 50 м³/с.



Рисунок 5.5 – Трубчасті водоскиди

У разі необхідності значних витрат будують *керовані водоскиди*, у яких поріг споруди розташовують нижче нормального рівня води в головній водоймі, аж до дна.

Водоскидні споруди – найбільш дорого вартісна частина водойми. Їх вартість досягає 30–50 % від загальної собівартості штучної водойми.

Трубчасті водоскиди влаштовують при витратах води до 15 м³/с, шахтні – до 30 м³/с. *Трубчастий водоскид* – система залізобетонних труб, розташованих під греблею на материкових ґрунтах. Вхід в споруду представляє собою ківш, верх якого розташований на відмітці нижнього рівня греблі.

Шахтний водоскид складається з вертикальної шахти квадратного, круглого або шестигранного перерізу, горизонтальної водопровідної труби прямокутного або круглого перерізу та водобійного колодязя. Верх шахти, розташований відмітці нижнього рівня греблі, огорожують решіткою, яка затримує сміття. Виконують зі збірного або монолітного залізобетону. В нижній частині шахти іноді роблять затвор для скиду всієї води з головної водойми.

Керовані водоскиди влаштовують у разі великих витрат води (від 30 до 200 м³/с). Обов'язковим елементом являються затвори, які дозволяють регулювати рівень води в головній водоймі та потік води, який пропускається через водоскид. Затвори можуть бути виконані як металеві засувки, що піднімаються і опускаються за допомогою гвинтового підйомника. Споруджують водоскиди найчастіше в тілі греблі на корінному ґрунті. Вони

представляють собою закритий зверху бетонний або залізобетонний лоток прямокутного перерізу, вхідна частина якого перегороджена затвором.

Донні водовипуски (*монахи*) можуть бути віднесені до водоскидних споруд, тому що з їх допомогою можна скидати надлишок води у водоймах під час паводку. Найчастіше донні випуски належать до споруд рибозбірно-осушувальної системи ставків. Донні водовипуски – споруди, призначені для повного скидання води з водойм та переміщення риби у рибо уловлювач, а також для регулювання рівня води і для забезпечення водообміну.

Контрольні питання

1. Дайте характеристику та назвіть галузь застосування малих мостів.
2. У чому полягає розрахунок отворів малих мостів і труб з врахуванням акумуляції?
3. Дайте характеристику та назвіть галузь застосування мостів – водоскидів.
4. Дайте характеристику та назвіть галузь застосування водопропускних труб.
5. Дайте характеристику та назвіть галузь застосування трубчатих водоскидів.

2 ОСНОВИ ГІДРАВЛІЧНОГО РОЗРАХУНКУ ДЕЯКИХ СПОРУД СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА ВОДОВІДВЕДЕННЯ

ТЕМА 6 ПРИНЦИПИ ГІДРАВЛІЧНОГО РОЗРАХУНКУ СПОРУД МЕХАНІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД

Споруди механічної очистки (піскоуловлювачі, відстійники) стічних вод призначені для видалення зі стічної рідини механічних домішок різного розміру, в основі гідравлічного розрахунку таких споруд базується на врахуванні найважливішого параметру водно-дисперсної системи – гідравлічної крупності.

Гідравлічною крупністю U_0 називають швидкість випадіння частки у нерухомому шарі води. Гідравлічна крупність частки діаметром d у рідині з щільністю ρ і в'язкістю ν визначається за формулою О. М. Тодеса та Р. Б. Розенбаума [5]:

$$u_0 = \frac{\nu}{d} Ar(18 + 0,61\sqrt{Ar})^{-1}, \quad (6.1)$$

де Ar – критерій Архімеда для твердого компонента щільністю ρ_T .

$$Ar = \frac{g(\rho_T - \rho) \cdot d^3}{\rho \cdot \nu^2}. \quad (6.2)$$

де d – діаметр частки.

Частки неправильної форми характеризуються *еквівалентним за об'ємом діаметром кулі*

$$d_{екв} = 1,24 \cdot V_T^{1/3} \quad (6.3)$$

та *геометричним коефіцієнтом форми* (відношення поверхні даної частки до поверхні еквівалентної кулі)

$$k_\phi = \frac{S_T}{\pi} \cdot \left(\frac{\pi}{6V_T} \right)^{2/3} = \frac{d^2}{d_э^2}. \quad (6.4)$$

Значення коефіцієнта форми залежить від того, з чого складається найбільша частина осаду у споруді. Далі наведені дослідні значення k_ϕ для деяких неправильних часток:

Пісок обкатаний	1,17	Вугілля газове	2,07
Пісок з округлими зернами	1,16	Кокс	2,86
Пісок гострозернистий	1,5–1,67	Сланець	3,17–3,5
Пісок не фракціонований	1,7–1,87	Вугільний пил	1,62–2,58
Вугілля	3,0	Графіт штучний	1,15–1,5
Антрацит	1,5–3,5	Алюмосилікат	1,02–1,05

Гідравлічна крупність залежить від стиснення руху часток, а саме від двох факторів:

– *впливу стінок каналу* – цей фактор оцінюється геометричним симплексом (відношення діаметру каналу до еквівалентного діаметру частки);

– впливу сусідніх часток – цей фактор залежить від об’ємної концентрації часток.

Стічна рідина в своєму складі може вміщувати не тільки механічні домішки, а також розчинені та нерозчинені у воді гази, виділення яких у спорудах механічної очистки може мати як позитивний так і негативний характер. Для відділення органічних сполук від мінеральних, зокрема у піскоуловлювачах, що аеруються, застосовують повітря. Тому у разі розрахунку таких споруд необхідно враховувати швидкість руху пухирців газу та їх розміри.

Швидкість руху одиничних пухирців газу в рідині характеризується коефіцієнтом деформації пухирців, який показує відношення еквівалентного діаметра до фронтального діаметра пухирців:

$$\varphi_{\phi} = \frac{d_{\phi}}{d_{\phi}} = 0,81 + 0,206th(1,6 - 2 \lg \text{Re} \cdot M^{0,23}), \quad (6.5)$$

де μ – динамічний коефіцієнт в’язкості

$$M = g v \left(\frac{\mu}{\sigma} \right)^3, \quad (6.6)$$

σ – міжфазовий поверхневий натяг.

6.1 Принципи гідравлічного розрахунку піскоуловлювачів

Піскоуловлювачі призначаються для виокремлення зі стічних вод важких мінеральних домішок (головним чином піску) та встановлюються перед відстійниками.

Застосування піскоуловлювачів обумовлено тим, що у разі сумісного виділення у відстійниках мінеральних і органічних домішок виникають значні труднощі під час видалення осаду з відстійників і подальшого його зброджування в метантенках.

Піскоуловлювачі варто передбачати при витраті стічних вод більше 100 м³/добу. Робота піскоуловлювачів заснована на використанні гравітаційних сил. Розраховуються піскоуловлювачі таким чином, щоб в них випадали пісок та інші важкі мінеральні частки, але не випадав осад органічного походження.

За характером руху води піскоуловлювачі поділяються на горизонтальні – з круговим (рис. 6.1) або прямолінійним рухом води (рис. 6.2), вертикальні – із рухом води знизу вгору і піскоуловлювачі з гвинтовим (поступально-обертальним) рухом води. Останні залежно від способу створення гвинтового руху поділяються на тангенціальні та ті, що аеруються.

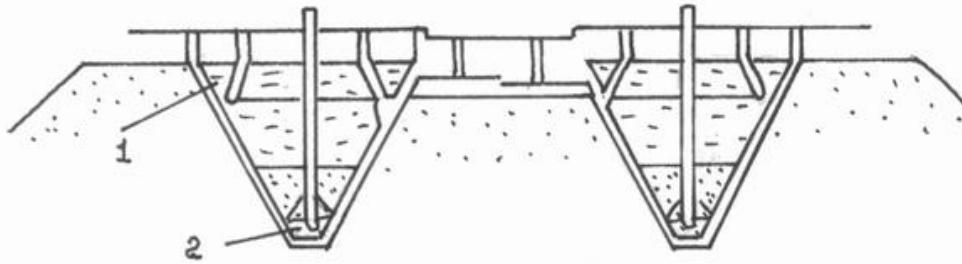


Рисунок 6.1 – Горизонтальний піскоуловлювач з круговим рухом води:
 1 – лоток для збору проясненої води; 2 – зона накопичення осаду

Довжина горизонтального піскоуловлювача L , у межах якої частка з гідравлічною крупністю U_0 зі швидкістю потоку V опуститься на глибину H , розраховується за формулою:

$$L = k \frac{H}{U_0} \cdot V, \quad (6.7)$$

де $V=Q/\omega$ – середня швидкість руху води з витратою Q та площею поперечного перерізу піскоуловлювача $\omega=B \cdot H$;

B – ширина піскоуловлювача;

U_0 – гідравлічна крупність частки, що осідає, 0,18 – 0,27 мм/с;

k – коефіцієнт, який враховує турбулентність, недовершеність гідравлічних умов роботи, розшарування піску в підвідних каналах та інші фактори

$$k \approx \frac{U_0}{\sqrt{U_0^2 - (0,05 \cdot V)^2}}. \quad (6.8)$$

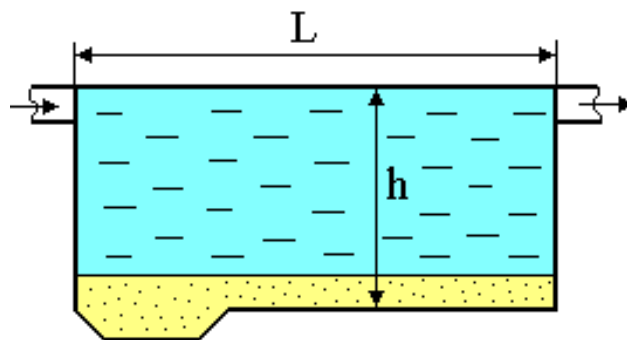


Рисунок 6.2 – Схема горизонтального піскоуловлювача

Загальна глибина піскоуловлювача

$$H_{\text{буд}} = H + h_{\text{ос}} + h_{\text{борт}}, \quad (6.9)$$

де H – глибина потоку води у піскоуловлювачі;

$h_{\text{борт}}$ – висота бортів над рівнем води у піскоуловлювачі, приймається 0,2–0,4 м;

$h_{\text{ос}}$ – глибина шару осаду, який випав у піскоуловлювачі.

Піскоуловлювач, що аерується, становить залізобетонний резервуар прямокутної форми у плані, глибиною до 5 м заввишки. Стоки, що протікають через такий піскоуловлювач, аеруються (продуваються стисненим повітрям) за допомогою аераторів з інтенсивністю 3–5 м³/м³ за добу (рис. 6.3).

Для розділення механічних забруднень за фракційним складом або за щільністю застосовують піскоуловлювачі, що аеруються, фракції осідають, як і в горизонтальних піскоуловлювачах.

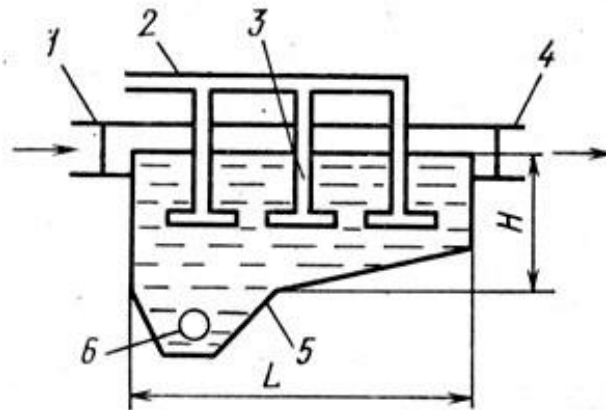


Рисунок 6.3 – Схема піскоуловлювача, що аерується:

1 - вхідна труба; 2 - повітровід; 3 - розподільчі повітря; 4 - вихідна труба;
5 - шламозбірник; 6 - отвори для видалення шламу

Дрібні ж частки, приєднуючись до пухирців повітря, спливають наверх і за допомогою скребкових механізмів видаляються з поверхні. Довжина таких піскоуловлювачів становить

$$L = \frac{V \cdot H}{U_0} \quad (6.10)$$

Час перебування стічної води у піскоуловлювачі – 30–90 с, швидкість руху $V_x = 0,1–0,2$ м/с, питома витрата повітря 0,00083–0,0014 м³/(м²·с).

Переваги піскоуловлювачів, що аеруються:

- випадає більше осаду, ніж у горизонтальних піскоуловлювачах;
- зольність осаду вище і складає 92–95 % (вміст мінеральних домішок), в горизонтальних піскоуловлювачах зольність осаду до 85 %;
- осідають дрібні фракції піску, які в горизонтальних піскоуловлювачах не осідають.

Тангенціальні піскоуловлювачі (рис. 6.4) мають круглу форму в плані; підведення води до них виконується тангенціально (по дотичній). В таких піскоуловлювачах кожна частка відчуває крім сил тяжіння вплив відцентрових сил. Це сприяє більш інтенсивному відділенню піску від води та легких органічних домішок, які внаслідок обертового руху підтримуються у завислому стані та не випадають в осад.

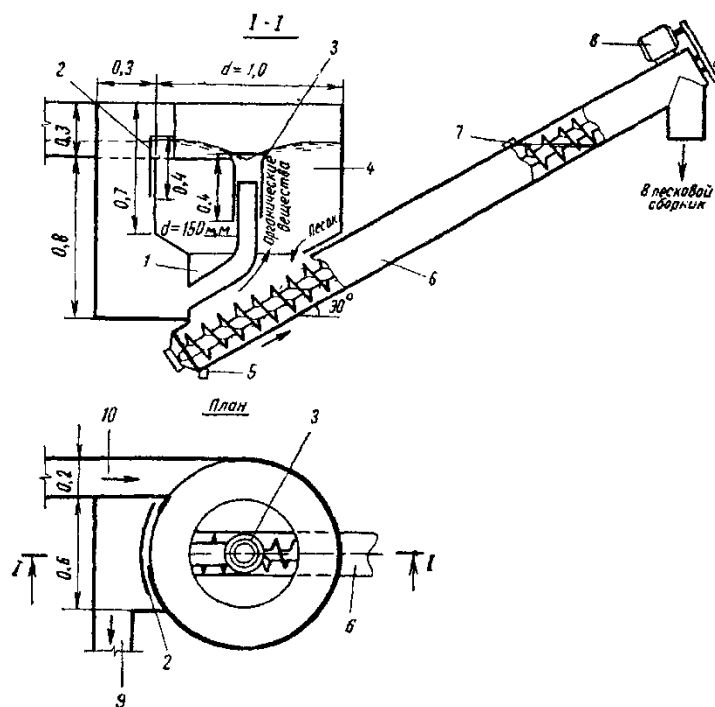


Рисунок 6.4 – Тангенціальний піскоуловлювач:

1 – осадочна частина; 2 – рухомий боковий водозлив; 3 – телескопічна труба; 4 – робоча частина; 5 – заглушка; 6 – шнек; 7 – отвір для скиду відмитих органічних речовин; 8 – електродвигун; 9 – відвідний лоток; 10 – лоток, що подає воду

Тангенціальні піскоуловлювачі забезпечують більш повне затримання піску з малою кількістю органічних забруднень.

6.2 Принципи розрахунку відстійників

Відстійники призначені для затримання з води нерозчинених грубо дисперсних домішок, зі стічних вод – переважно органічного походження. Типи відстійників бувають: горизонтальні, вертикальні, радіальні.

Під час очистки стічних вод відстійники застосовують для первинного осадження нерозчиненої органіки перед процесом біологічної очистки (*первинні відстійники*) і для відокремлення активного мулу від біологічно очищених стічних вод (*вторинні відстійники*).

Під час очистки природних вод відстійники являються однією з головних споруд – призначені для відокремлення зкоагульованої зависі.

Вихідні дані під час розрахунку відстійників на будь-який ступінь повноти виділення зі стічних вод нерозчинених домішок незалежно від їхнього типу:

- витрата стічних вод;
- початкова концентрація завислих речовин;
- допустима кінцева концентрація завислих речовин у проясненій воді.

Розрахункове значення гідравлічної крупності (мм/с) необхідно визначати за кривими кінетики відстоювання $\Xi = f(t)$, які отримують експериментально, з

наведенням отриманої у лабораторних умовах величини до висоти шару, що дорівнює глибині проточної частини відстійника, за формулою

$$U_0 = \frac{1000K_{set}H_{set}}{t_{set} \left(\frac{K_{set}H_{set}}{h_1} \right)^{n_2}}, \quad (6.11)$$

де H_{set} – глибина проточної частини у відстійнику, м;
 K_{set} – коефіцієнт використання об'єму проточної частини відстійника;
 t_{set} – тривалість відстоювання, сек, яка відповідає заданому ефекту очистки і отримана у лабораторному циліндрі в шарі h_1 (табл. В.1 [13]);
 n_2 – показник ступеня, який залежить від агломерації зависі в процесі осадження; (рис. В.1 [13]).

Продуктивність одного відстійника (q_{set} , м³/год.) необхідно визначати виходячи із заданих геометричних розмірів споруди та необхідного ефекту прояснення стічних вод за формулами:

а) для горизонтальних відстійників –

$$q_{set} = 3,6K_{set}L_{set}B_{set}(U_0 - V_{tb}), \quad (6.12)$$

б) для відстійників радіальних, вертикальних і з розподільчим пристроєм, що обертається, –

$$q_{set} = 2,8K_{set}(D_{set}^2 - d_{en}^2)(U_0 - V_{tb}), \quad (6.13)$$

в) для відстійників зі спадним – висхідним потоком –

$$q_{set} = 1,41K_{set}D_{set}^2U_0, \quad (6.14)$$

де K_{set} – коефіцієнт використання об'єму;
 L_{set} – довжина секції, відділення, м;
 B_{set} – ширина секції, відділення, м;
 D_{set} – діаметр відстійника, м;
 d_{en} – діаметр впускного пристрою, м;
 u_0 – гідравлічна крупність затриманих часток, мм/с;
 V_{tb} – турбулентна складова, мм/с, приймається залежно від швидкості потоку у відстійнику, мм/с;

Горизонтальний відстійник (рис. 6.5) становить прямокутну ємність, яка обладнана розподільчим та збірним пристроями, трубопроводами для підведення води, що прояснюється, а також пристроєм для періодичного видалення утвореного осаду.

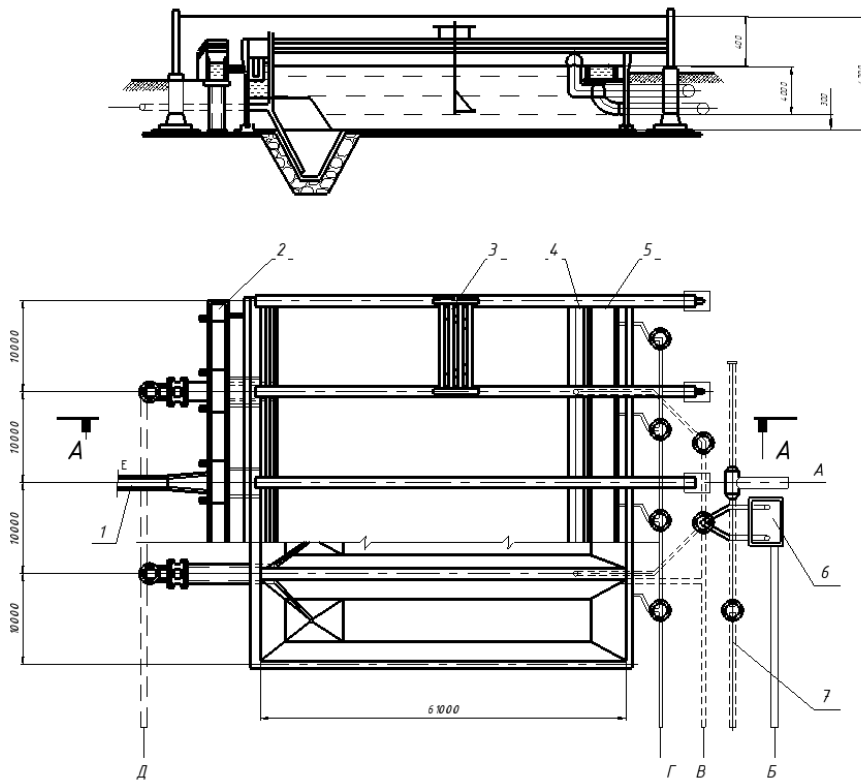


Рисунок 6.5 – Горизонтальний відстійник:

1 – підвідний лоток; 2 – розподільчий лоток; 3 – скребковий механізм;
 4 – підвідна труба зі щілевидними прорізами для видалення плаваючих речовин;
 5 – збірний лоток; 6 – камера плунжерних насосів; 7 – трубопровід для аварійного скиду; А – трубопровід для подачі води для промивання відстійника;
 Б – відвідний трубопровід проясненої води; В – трубопровід для видалення плаваючих речовин; Г – трубопровід подачі води для розбавлення плаваючих речовин; Д – трубопровід сирого осаду

Вертикальний відстійник представляє собою круглий або квадратний резервуар, який обладнаний трубопроводом подачі стічної води, камерою пластівцеутворення, жолобами для збору проясненої води, а також трубопроводом для періодичного випуску осаду або спорожнення відстійника (рис. 6.6) [14]. Перевагою вертикальних відстійників є простота видалення з них осадів, цей процес провадиться під гідростатичним тиском. Їх конструкція дозволяє видаляти осад без спеціальних пристроїв.

Вертикальні відстійники отримали розповсюдження в основному для очистки господарсько-побутових стічних вод, на очисних спорудах промислових підприємств їх використовують порівняно не часто внаслідок того, що за однакового навантаження стічних вод ефективність вертикальних відстійників, як правило нижче, ніж горизонтальних, а також того, що пропускна здатність одного вертикального відстійника відносно мала.

Радіальний відстійник (рис. 6.7) ставновить круглий резервуар діаметром до 100 м з конічним днищем з ухилом до центру кола 0,03–0,08. Вода, що очищається, рухається горизонтально у радіальному напрямі,

потрапляє у розподільчий стакан з отворами і потім надходить у плаваючу дірчасту трубу.

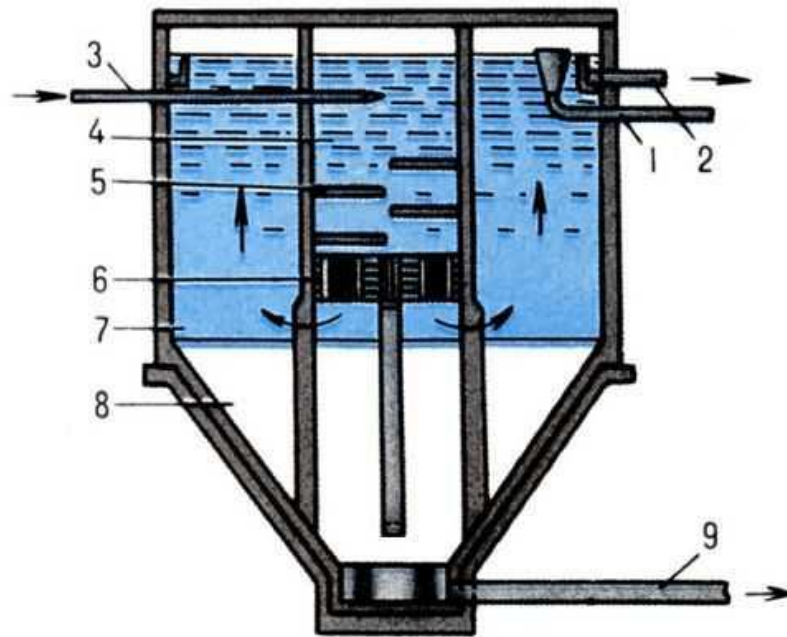


Рисунок 6.6 – Вертикальний відстійник:

- 1 – переливний трубопровід; 2 – відвідний трубопровід; 3 – підвідний тангенціальний трубопровід; 4 – камера пластівцеутворення; 5 – горизонтальні перегородки; 6 – вертикальні перегородки; 7 – зона прояснення; 8 – зона накопичення осаду; 9 – муловідвідна труба*

Осад безперервно видаляється до центру відстійника обертовою металічною фермою зі скребками, звідки безперервно або періодично видаляється самопливом або за допомогою насосу. Ефективність роботи радіальних відстійників оцінюється питомими навантаженнями за твердим компонентом у пульпі, видаленням твердого компонента у злив та у згущений продукт.

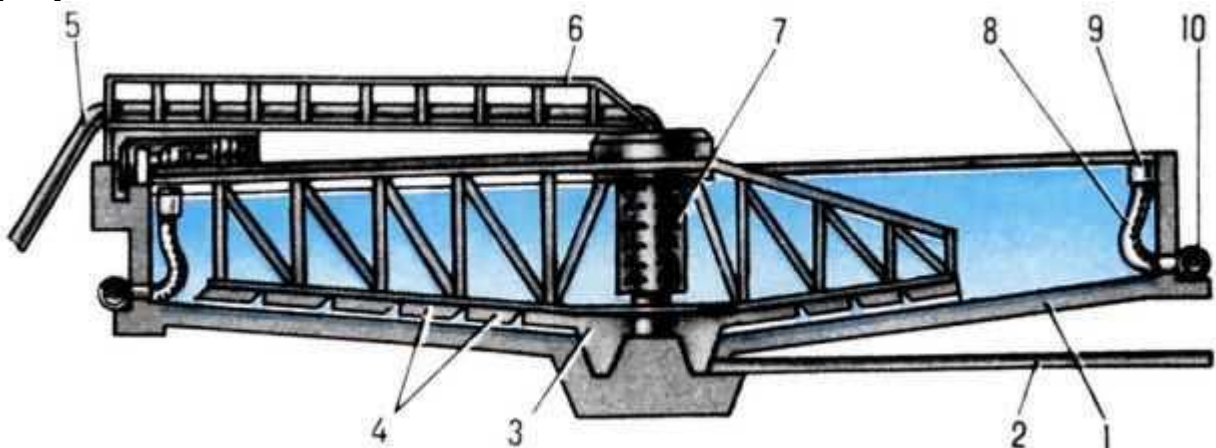


Рисунок 6.7 – Радіальний відстійник:

- 1 – корпус відстійника; 2 – муловідвідна труба; 3 – прямок для збору осаду; 4 – обертова ферма зі скребками; 5 – труба для подачі води, що очищається;*

6 – місток; 7 – водорозподільчий стакан; 8 – гофрований шланг; 9 – поплавок з дірчастою трубою; 10 – труба для відведення проясненої води

Основні конструктивні параметри відстійників варто приймати такими:

1) для горизонтальних і радіальних відстійників: впуск вихідної води та збір проясненої – рівномірним за шириною (периметром) впускного та збірного пристроїв відстійника, висоту нейтрального шару для первинних відстійників – на 0,3 м вище днища (на виході з відстійника), для вторинних – 0,3 м і глибину шару мулу 0,3 – 0,5 м, кут нахилу стінок мулового напрямку – 50 – 55°;

2) для вертикальних відстійників: довжину центральної труби – рівною глибині зони відстоювання, швидкість руху робочого потоку в центральній трубі – не більше 30 мм/с, діаметр розтруба – 1,35 діаметру труби, діаметр труби, що відбиває, – 1,3 діаметру розтруба, кут конусності щита, що відбиває, – 146°, швидкість робочого потоку між розтрубом та щитом, що відбиває, – не більше 20 мм/с для первинних відстійників і не більше 15 мм/с для вторинних, висоту нейтрального шару між низом щита, що відбиває, та рівнем осаду – 0,3 м, кут нахилу кінцевого днища – 50–60°;

3) для відстійників зі спадним – висхідним потоком: площа зони спадного потоку – рівною площі зони висхідного, висоту перегородки, що розділяє зони, – рівною $2/3H_{\text{set}}$; рівень верхньої кромки перегородки – вище рівня води на 0,3 м, але не вище стінки відстійника, розподільчий лоток змінного перерізу – в середині відокремлюючої перегородки. Початковий переріз лотка слід розраховувати на пропуск розрахункової витрати зі швидкістю не менше 0,5 м/с, у кінцевому перерізі швидкість – не менше 0,1 м/с. Для рівномірного розподілу води кромку водозливу розподільчого лотка слід виконувати у вигляді трикутних водозливів через 0,5 м;

4) для відстійників з тонкошаровими блоками – кут нахилу пластин 45–60°. Для підвищення ступеня очистки або для забезпечення можливості збільшення продуктивності станцій, що експлуатуються, існуючі відстійники (горизонтальні, радіальні, вертикальні) можуть бути доповнені блоками з тонкошарових елементів. В цьому випадку блоки необхідно розташовувати на виході води з відстійника перед водозбірним лотком.

Тонкошарові модулі (рис. 6.8) виконують з таких матеріалів: листовий вініпласт, профільний лист ПВХ [14]. У кожному конкретному випадку розміри, форма та матеріали тонкошарового модуля визначаються розрахунком залежно від продуктивності, конструктивних параметрів обладнання, що використовується.

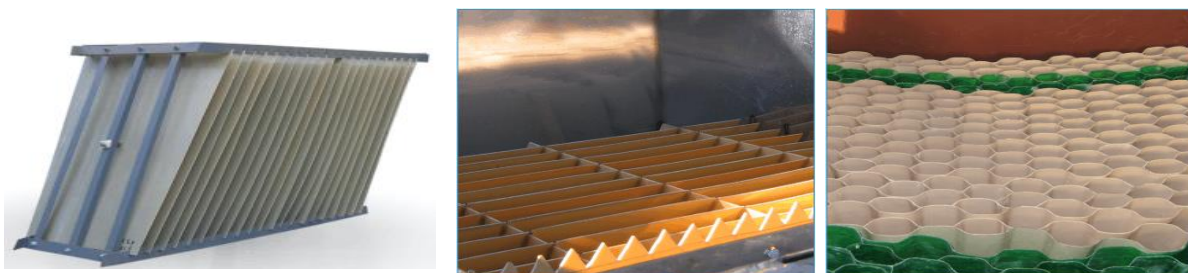


Рисунок 6.8 – Тонкошарові модулі

Використання тонкошарових модулів забезпечує такі переваги:

- підвищення продуктивності відстійників на 50%;
- підвищення ступеня очистки води за завислими речовинами;
- збільшення ефективності використання об'єму відстійників.

Конструкція тонкошарових модулів має невелику масу, забезпечує необхідну надійність, міцність, хімічну та біологічну стійкість, легкість монтажу та обслуговування.

6.3 Принципи гідравлічного розрахунку гідроциклонів

Процес прояснення води у *гідроциклоні* здійснюється під дією сили, яка дорівнює різниці значень відцентрової сили для твердої та рідкої фаз, вона виникає внаслідок інтенсивного обертання маси води у результаті тангенціального впуску її в гідроциклон (рис. 6.9) [15].

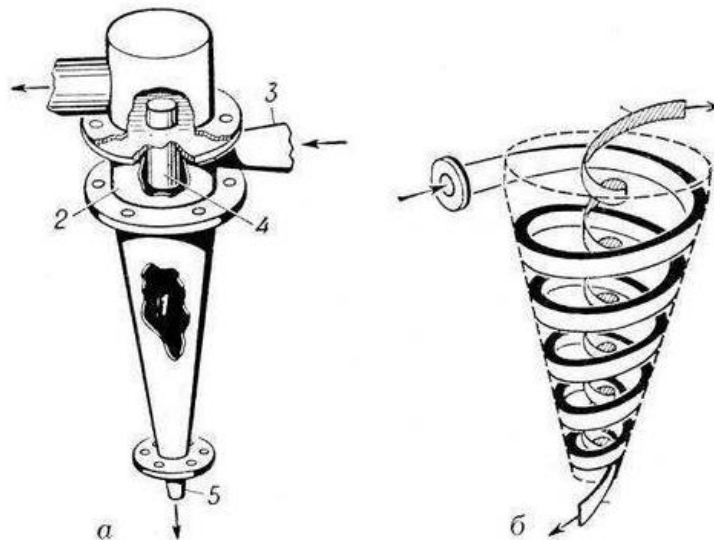


Рисунок 6.9 – Схема гідроциклону (а) та траєкторія руху пульпи в ньому (б):
1 – конус; 2 – циліндрична частина; 3 – живлячий патрубок, по якому подається гідросуміш, 4 – зливний отвір; 5 – насадка, через яку розгружується нижній продукт розділення

Питоме гідравлічне навантаження на гідроциклон визначається за формулою:

$$q_{hc} = 3,6K_{hc}u_0, \quad (6.15)$$

де K_{hc} – коефіцієнт пропорційності, який залежить від типу гідроциклону, і дорівнює 1,98 для відкритих гідроциклонів з конічною діафрагмою та внутрішнім циліндром;

u_0 – гідравлічна крупність часток, мм/с.

Розрізняють такі гідроциклони:

- *класифікатори*, що застосовують для розділення часток за крупністю;

– *сепаратори* – для збагачення корисних копалин в мінеральних суспензіях;

– *згущувачі* – для відділення частини води від мінеральних часток.

Типи гідроциклонів:

– *відкриті гідроциклони* для виділення зі стічних вод структурних осідаючих та грубо диспергованих спливаючих домішок;

– *гідроциклони без внутрішніх пристроїв* застосовують для виділення зі стічних вод крупно та дрібно дисперсних домішок гідравлічною крупністю більше 5 мм/с;

– *гідроциклони з діафрагмою та циліндричною перегородкою* застосовуються у разі витрати стічних вод на один апарат до 200 м³/год. для виділення зі стічних вод крупно та дрібно дисперсних домішок гідравлічною крупністю 0,2 мм/с і більше;

– *багатоярусні гідроциклони* застосовують у разі витрати стічних вод на один апарат більше 200 м³/год. для виділення зі стічних вод крупно та дрібно дисперсних домішок гідравлічною крупністю 0,2 мм/с і більше, а також нафтопродуктів;

– для виділення зі стічних вод тільки осідаючих агрегатостійких грубодисперсних структурних домішок рекомендуються *напірні гідроциклони*.

Залежно від тиску на вході розрізняють гідроциклони:

– *напірні* – надлишковий тиск на вході більше 100 кПа;

– *низьконапірні* – менше 100 кПа;

– *вакуумні* – тиск на вході менше атмосферного.

Кут конусності для класифікації та згущення 10–20°, прояснення 10–20°, збагачення в важких суспензіях 30–45°, збагачення у воді 90–120°. Верхня частина циліндру закривається кришкою, в центрі якої встановлено зливний патрубок, що слугує для розвантаження тонкозернистого, розрідженого, менш щільного, ніж вихідна пульпа, матеріалу.

Тангенціальне введення вихідної пульпи та осьове розвантаження продуктів розділення призводять до обертання пульпи, осьового та радіального переміщенню її від стінок апарату до зливного та розвантажувального отворів. Потік, що обертається у гідроциклоні, має декілька зон: зовнішню – спадаючу; внутрішню – висхідну; середню – циркуляційну, яка займає основний об'єм гідро циклону. Більш важкі та крупні тверді частки, що надходять з вихідною пульпою, відкидаються відцентровою силою на внутрішню поверхню циліндра та захоплюються потоком, який обертається, спадаючи вниз. Під дією радіальної складової потоку (від стінок до центру) і турбулентного характеру його руху легкі та дрібні частки виносяться у внутрішню зону. Частина вихрового потоку, що опускається вниз в нижній зоні конуса, повертає вверх, формуючи злив.

На відміну від напірних, вакуум-гідроциклон встановлюється на всмоктуючій лінії насоса та працює за рахунок створеного на його прийомі вакууму. Для відокремлення відсепарованої частини пульпи від обладнується додатковим пристроєм (зазвичай гідроелеватором), який створює перепад розрядження за його пісковим отвором. Установка гідроциклону на

всмоктуючій лінії насоса виключає можливість потрапляння в нього твердих часток, що попереджує абразивне зношення робочих органів насосу. Як правило, кожний насос обладнується індивідуальним гідроциклоном. У ряді випадків гідроциклони об'єднуються у батареї за паралельним або послідовним принципом. Регулювання режиму роботи під час зміни якості та кількості вихідного матеріалу проводиться за допомогою зміни діаметру піскового отвору шляхом його діафрагмування (автоматично) або зміною самих піскових насадок (вручну). Для боротьби з абразивним зношенням деякі типи гідроциклонів всередині футеруються зносостійкими матеріалами (кам'яне лиття, гума, поліуретан, вулканол і т.д.). Найбільш схильна до зношення частина гідроциклону – піскова насадка – виготовляється з карбідів металів та металокерамічних матеріалів.

Контрольні питання

1. Подайте визначення гідравлічної крупності часток та наведіть алгоритм її визначення.
2. У чому полягають основні принципи гідравлічного розрахунку піскоуловлювачів різних типів?
3. У чому полягають основні принципи гідравлічного розрахунку відстійників різних типів?
4. Для чого відстійники різних типів обладнують тонкошаровими блоками? Які в них переваги?
5. У чому полягають основні принципи гідравлічного розрахунку гідроциклонів? Назвіть основні типи цих пристроїв?

ТЕМА 7 ПРИНЦИП РОЗРАХУНКУ КОВШОВОГО ВОДОЗАБОРУ

7.1 Ковшові водозабірні споруди

Ковшові водозабірні споруди.: Вода надходить з річки спочатку в розташований біля берега ковш (штучна затока), наприкінці якого розміщуються безпосередньо водозабірні споруди. Ковш використовується для осадження наносів, а також для боротьби з льодовими перешкодами – шугою та глибинним льодом [16–17].

Водоприймальні ковші застосовують:

- для захисту від шуго-льодових перешкод та боротьби з донними наносами;
- створення необхідних глибин у місця прийому води;
- покращення місцевих умов під час водозабору, які залежно від особливостей режиму річки та основного призначення влаштовуються ***незаопленими і заопленими.***

Ковш представляє собою штучну водойму, яка вирита в березі або утворена шляхом пристрою земляної дамби. Вода протікає по ковшу з

невеликою швидкістю, завдяки чому в ньому скоріше, ніж в річці, утворюється льодяний покрив, який перешкоджає утворенню донного льоду.

Другим призначенням ковша являється боротьба з річковими наносами, тому що ківш також грає роль відстійника.

Розрізняють три типи затоплених ковшових водозаборів (рис. 7.1):

- а) ковш з верховим живленням;
- б) ковш з низовим живленням;
- в) ковш подвійного живлення.

Ковш верхового живлення (рис. 7.1, а) за рахунок поверхневих струменів добре захищає водозабір від потрапляння в нього завислих речовин і наносів.

Ковш з низовим живленням (рис. 7.1, б) живиться нижніми струменями і добре захищає водозабір від потрапляння в нього шуги.

Ковш подвійного живлення (рис. 7.1, в) попереджує потрапляння до водозабору донних наносів та шуги.

Розрахунок ковшів зводиться до визначення глибини води у ковші, ширини та довжини ковша. Глибина ковшів приймається не менше 2 м, швидкість руху води в них приймається від 0,05 до 0,25 м/с.

Розрізняють два основних характерних режими водовідбору (критерій – відношення швидкості руху потоку в ковші (V_{κ}) до швидкості руху потоку в річці (V_p)):

– *режим розподілу* – спостерігається під час відбору з річки відносно великих кількостей води. При цьому в руслі річки виникає крива спаду, а в ковш вода надходить зі швидкостями, які дорівнюють або більше, ніж швидкості води у річці. Якщо величина кута, що утворюється віссю ковша з напрямом течії річки, $\varphi = 135^\circ$, то відношення $V_{\kappa}/V_p = 0,132$. У разі, коли $\varphi = 15^\circ - 30^\circ$ відношення $V_{\kappa}/V_p = 0,125-0,242$.

– *режим водообміну* – значна частина води, яка надходить в ковш, виходить з нього назад в русло річки; створюється своєрідна застійна зона. Режим водообміну буде для $\varphi = 135^\circ$ з відношенням $V_{\kappa}/V_p \leq 0,004$, для інших кутів $\varphi = 15^\circ - 30^\circ$ відношення $V_{\kappa}/V_p = 0,042-0,081$.

Довжину ковша, необхідну для спливання кристалів внутрішньоводного льоду та шуги, визначають за формулою *О. С. Образовського*:

$$l_r = 29 \left(\sqrt{b_n^2 - \frac{1,105}{u_{ш}} \cdot Q} - b_n \right), \quad (7.1)$$

де b_n – початкова ширина транзитного струменя:

$$b_n = \frac{Q}{H \cdot V_b}, \quad (7.2)$$

Q – витрата, що відбирається;

$u_{ш}$ – швидкість спливання шуги, яка дорівнює 0,016–0,02 м/с;

H – глибина ковша, призначена виходячи з умов забору води водоприймачем;

V_b – фактична швидкість входу до ковша, що дорівнює $0,5V_p$ під час режиму водообміну і $0,9V_p$ під час режиму розподілу.

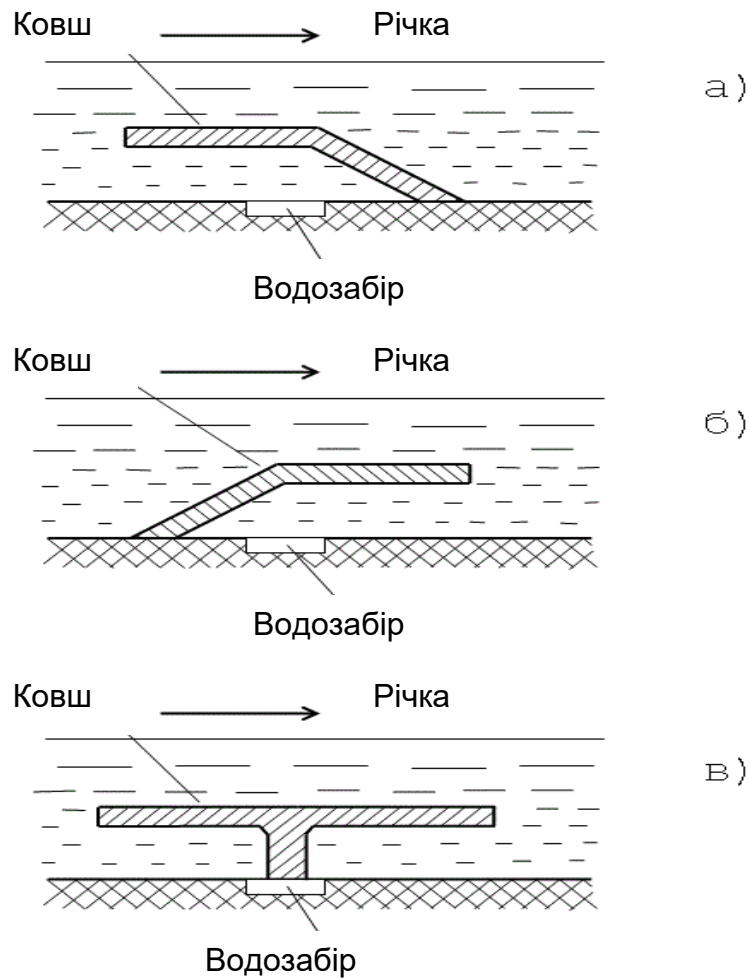


Рисунок 7.1 – Затоплені ковшеві водозабори:
а – ковш з верхнім живленням; б – ковш з низовим живленням;
в – ковш подвійного живлення

Повна довжина ковша приймається рівною:

$$L = l_{\tau} + l_{\text{в}} + l_{\text{ш}}, \quad (7.3)$$

де $l_{\text{ш}} = 10\text{--}20$ м – довжина ковша, зайнята відкладеннями шуги;

$l_{\text{в}}$ – вхідна частина ковша, яка охоплена неробочими циркуляціями і дорівнює ширині ковша.

Ковшові водозабірні споруди іноді будують у специфічних умовах, коли у великих межах коливається як витрата води річки, так і кількість наносів, які переносяться водотоком. Так наприклад, побудована бокова водозабірна споруда ковшового типу на річці Куршаб (Киргизстан) [18].

Характеристика водного об'єкту:

– паводки, які проходять по річці у травні – червні, характеризуються раптовістю та великою кількістю донних та завислих наносів, середній річний стік яких досягає відповідно 160 та 80 тис. м³;

– у період проходження селевих паводків кількість рихлообламаного матеріалу, який приноситься річкою, досягає 600 тис. м³;

– у середньому число днів з льодовими явищами складає 41.

В місці водозабору річка протікає у каньйоні висотою 25-30 м, борти якого складені з пісчанику. Витрати води в р. Куршаб змінюються від 20 до 250 м³/с, а швидкості та глибини потоку – в межах 0,4–3,5 м/с і 0,4–1,7 м.

У дні, коли в межовий період (у разі витрат води у річці від 10 до 23,7 м³/с) водозабір у каналі складає більше 70%, споруда не забезпечує очистку води від наносів. Це викликає інтенсивне замулювання відвідного каналу з утворенням гряд занесення, які складаються з наносів крупністю до 80 мм (рис. 7.2).

Для покращення очистки води, яка подається у лівобережний канал у створ водозабірної споруди, було вирішено зменшити водовідбір через існуючий основний водозабірний оголовок, а об'єм води, якого недостає, подавати через додатковий канал підпитки (рис. 7.3).

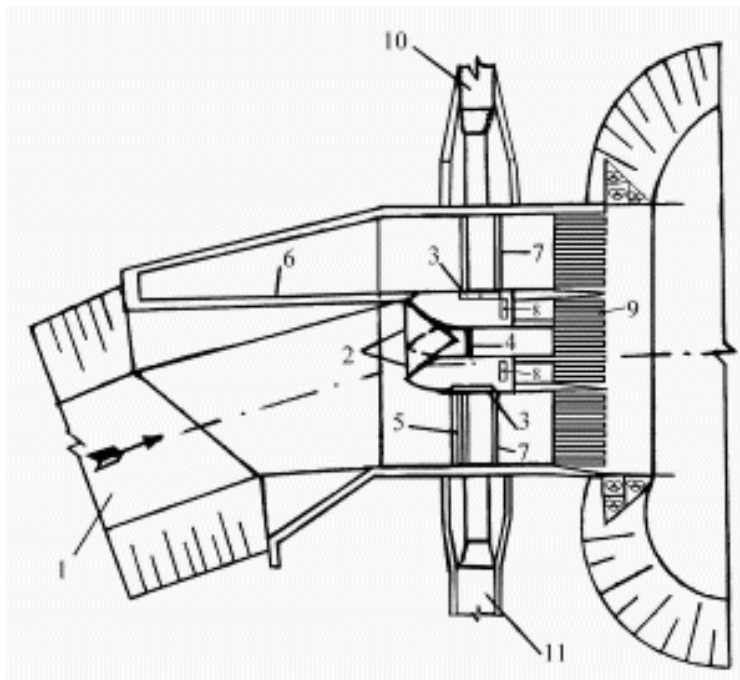


Рисунок 7.2 – Схема існуючої водозабірної споруди на річці Куршаб до проведення реабілітаційних заходів:

1 – підвідне русло; 2 – щитові отвори донних галерей; 3 – регулятори витрати води відвідних каналів; 4 – шугоскид; 5 – щитовий скид; 6 – катастрофічний водозлив; 7 – лотки; 8 – пласкі затвори донних галерей; 9 – гребінцеві розціплювачі; 10, 11 – відвідний канал

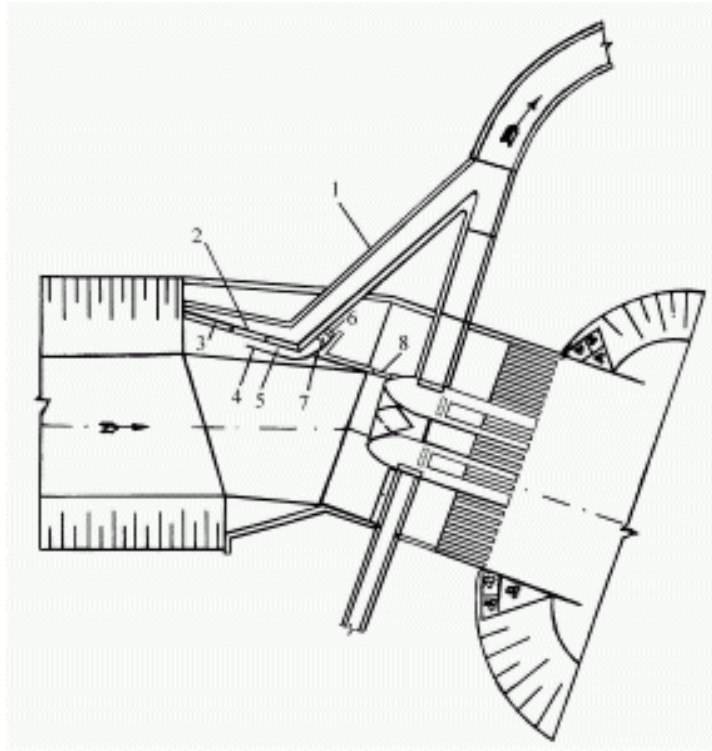


Рисунок 7.3 – Схема водозабірної споруди на річці Куршаб (після впровадження реабілітаційних заходів):

1 – додатковий канал підпитки; 2 – ковшовий водозабір; 3 – наносівідбійний поріг; 4 – шпора, що перехвачує наноси; 5 – канал-промивник; 6 – плоский затвор-промивник; 7 – горизонтальний козирок плоского затвору; 8 – скидний щитовий отвір

Покращена конструкція водозабірної споруди на р. Куршаб дозволяє:

- а) забезпечити забір необхідної витрати води у канал для зрошення земель площею 13,65 тис. га під час всіх гідрологічних режимів джерела;
- б) забезпечити необхідний ступінь очистки води від наносів, які надходять у відвідний канал та з діаметром фракцій більше 35 мм;
- в) добитися рівномірності розподілу питомих витрат води у нижньому б'єфі водозабірної споруди під час пропуску середньопаводкових витрат по річці.

Контрольні питання

1. Дайте визначення ковшового водозбору. За якими ознаками розрізняють конструкції ковшів?
2. У чому полягає розрахунок ковшів? Наведіть основні характерні режими водовідбору з ковшів.
3. Наведіть приклади застосування ковшових водозборів у специфічних умовах.

ТЕМА 8 ПРИНЦИПИ ВЛАШТУВАННЯ ТА ОСОБЛИВОСТІ ГІДРАВЛІЧНОГО РОЗРАХУНКУ СПОРУД ДЛЯ ПЕРЕКАЧУВАННЯ ВОДИ

Насосні станції – найбільш відповідальні гідротехнічні споруди у системах водопостачання, обводнення, зрошення, водного транспорту (з примусовим підйомом води) та каналізації, що забезпечують подачу необхідної кількості води або промислових та побутових стоків під необхідним напором на задану висоту. Вони є комплексом із споруд, пристроїв, механічного устаткування, електроенергетичних установок, трубопроводів, водопровідної арматури, контрольно-вимірювальних приладів, засобів автоматизації та зв'язку.

Розрізняють водопровідні, каналізаційні та гідротехнічні насосні станції. Водопровідні застосовують при водопостачанні міст та селищ, підприємств, теплових електростанцій; каналізаційні для перекачування стічних вод; гідротехнічні для підймання води з джерел обводнення та зрошення в магістральні обводнювальні та зрошувальні канали, а також на цих каналах для перекачування води на ділянки, які розташовано вище, для відкачування води з площ, що осушуються, поверхня яких розташована нижче рівня води у водоприймачі (польдерні системи осушення), для живлення водою судноплавних каналів, для відкачування води з шахт, копалень та ін. [19].

Насосні станції на каналах здебільшого поширені в країнах із розвиненою системою каналів. Через роботу системи шлюзів на каналі рівень води знижується на верхній частині каналу при кожному проходженні суден через шлюзи. Крім того, багато шлюзів не герметичні, і вода просочується з верхньої частини каналу в нижню.

Очевидно, що рівень води у верхній частині каналу потрібно підняти (компенсувати), інакше зрештою рівня води перед шлюзом не вистачить для судноплавства. Зазвичай каналам потрібні додаткові обсяги води, які надходять шляхом спрямування води з річок і струмків у верхню частину каналу. Проте за відсутності таких джерел підтримки рівня використовується насосна станція.

Насосні станції водопостачання грають одну з провідних ролей у системах, які забезпечують подачу певної витрати води з необхідним напором. Від якості проекту, монтажу та точного підбору обладнання залежить зручність експлуатації, оптимальні витрати при високій надійності всієї конструкції постачання та відведення води.

Система адміністрування насосною станцією повинна забезпечувати простоту та надійність її роботи. Вибір відповідного способу визначається видом станції та її розташуванням:

- вручну – оператори безпосередньо запускають пристрій та контролюють його функціонування;
- автоматично – за результатами показань датчиків рівня води в резервуарах, тиску в трубопроводах та споживання води;
- напівавтоматично – оператор задає сигнал, а далі робота відбувається в автоматичному режимі;

– дистанційно – з диспетчерської за межами території майданчика.

У проєкт закладається спосіб керування, який визначається шляхом технічного аналізу.

Насоси, які застосовуються на станціях водопостачання першого і другого підйому, циркуляційних та підвищувальних насосних станціях, класифікують за пристроєм, способом установки та галуззю застосування. Тут встановлюються горизонтальні, вертикальні, відцентрові та осьові насоси. Існує два типи споруд, вибір яких залежить від висоти розташування води у водозаборі:

– насоси з позитивною висотою всмоктування;

– насоси з негативною висотою всмоктування, встановлені з підпором (під залив).

Особливості рельєфу та проєктні дані безпосередньо впливають на розташування машинного відділення. Виходячи із заданих умов його виготовляють у наступному виконанні:

– наземним;

– напівзаглибленим;

– заглибленим (підземним).

Поділяють 3 категорії надійності роботи насосних станцій, згідно з якими дотримується надійність та забезпеченість водопостачанням (табл. 8.1):

I категорія – зупинка водопостачання небажана і може призвести до серйозних матеріальних збитків (виходу з ладу технологічного обладнання, порушення складного технологічного процесу);

II категорія – зупинка водопостачання можлива на час, необхідний включення резервних агрегатів;

III категорія – зупинка водопостачання допустима терміном до доби.

Таблиця 8.1 – Категорії надійності дії насосних станцій

Категорія насосної станції	Максимальний час зупинки водопостачання	Чисельність мешканців у населеному пункті	Максимальний строк зниження водопостачання на 30 %
I категорія	10 хвилин	Понад 50 тис. осіб	3 доби
II категорія	6 годин	Від 5 до 50 тис. осіб	10 діб
III категорія	24 години	До 5 тис. осіб	15 діб

Якщо відбувається аварія, то під час зупинення діяльності всього обладнання включаються резервні агрегати. Також роботу насосної станції переривають щодо поточного ремонту чи заміни установок. Вимоги, яким мають відповідати станції різних категорій, зростають за рівнем їхньої надійності.

I категорія надійності найбільше підходить для промислових об'єктів.

Станції перших двох категорій забезпечуються як мінімум двома самостійними джерелами електропостачання.

За функціями і параметрами станції водопостачання можна розділити на такі види:

- насосні станції першого підйому;
- насосні станції другого підйому;
- насосні станції третього, четвертого та наступних підйомів;
- підвищувальні насосні станції (станції підкачування);
- циркуляційні насосні станції.

Транспортування води відбувається за певною схемою за допомогою насосів, до яких приєднані всмоктувальні труби та напірні водоводи.

Насосні станції першого підйому.

Насосні станції першого підйому всмоктують воду з відкритих або підземних джерел і направляють її на очисні споруди, а при високій якості води або при низьких вимогах до якості, відразу у водопровідну мережу, накопичувальні ємності або водонапірну вежу. Функціонування станції відбувається поступово протягом доби, без перерв. Її продуктивність розраховують на середню годинну витрату у дні значного водоспоживання.

Станції першого підйому бувають оснащені як мінімум двома головними насосами та одним або двома резервними. Її та інші мають окремий всмоктувальний трубопровід.

Насосна станція другого підйому.

Насосна станція другого підйому є системою накопичувальних ємностей і насосного оснащення. Вона забезпечує подачу чистої чи технічної води у водопровідну мережу населення та об'єктів промисловості, і навіть підтримує необхідний тиск у магістралі. Ефективність діяльності станції змінюється протягом доби, тому продуктивність насосного обладнання розраховується на подачу заданого об'єму води, який відповідає режимам ступінчастого споживання.

При проектуванні та монтажі станції другого підйому бажано встановити автоматичне та ручне керування. Бінарний принцип контролю забезпечує:

- стабільний тиск у напірному водопроводі шляхом автоматичного регулювання насосів;
- економію електроенергії;
- обмеження пускових струмів у лінії електропередач;
- відсутність гідроударів у водопровідній магістралі;
- зниження ймовірності аварій;
- надійність роботи у холодний період року;
- зменшення чисельності персоналу з обслуговування станції;
- створення віддаленої диспетчерської служби.

Насосна станція другого підйому розміщується найчастіше неподалік очисних споруд.

Підвищувальні насосні станції (станції підкачування).

Дані станції забезпечують необхідний тиск води на окремій ділянці водопровідної мережі в багатоповерхових житлових забудовах або на промислових об'єктах. Вони всмоктують воду безпосередньо з трубопроводів

та не можуть координувати її подачу. Така станція діє згідно з прийнятою схемою водоспоживання.

Станції підкачування є групою насосів, кількість яких залежить від обсягу водоспоживання. Станція обладнується основними та резервними насосами, що включаються автоматично, якщо запуск основного не відбудеться протягом 10 с.

Циркуляційні насосні станції.

Циркуляційні насосні станції вбудовують у ланцюги оборотного водопостачання. Вони поставляють відпрацьовану воду на охолоджувальні пристрої певних технологічних установок. Вид і кількість насосів визначаються потужністю системи та водоохолоджувальними спорудами, що застосовуються.

Циркуляційні станції відносять до I категорії надійності. Зупинки процесу їхньої роботи неприпустимі. Вони оснащуються резервним обладнанням, незалежними джерелами електропостачання, всмоктувальними та напірними комунікаціями, насосом, встановленим під заливом. Такий насос потребує заглибленого машинного відділення.

Циркуляційні насоси працюють згідно з графіком технологічного процесу виробництва.

Пожежні насосні станції.

На стадії проектування цивільних споруд чи промислових підприємств закладається встановлення систем пожежогасіння. Вони є обов'язковим елементом приміщень, де передбачається присутність великої маси людей або речовин, що легко займаються. Пожежними насосними станціями оснащуються:

- торговельно-розважальні центри;
- спорткомплекси;
- навчальні та лікувальні заклади;
- готелі;
- автотранспортні підприємства, автовокзали та аеропорти;
- військові об'єкти;
- багатоповерхові та котеджні житлові забудови.

Насосна станція пожежогасіння є системою спеціального оснащення, яка здатна перекачувати воду і подавати її на об'єкт гасіння пожежі протягом короткого часу. Наприклад, така насосна станція може складатися з наступних вузлів та елементів:

- пожежна ємність для води, виготовлена з високотехнологічного склопластику, типоряд 2 – 100 м³;
- відцентрові насоси від 2 до 6 агрегатів, які завжди встановлюються в парі, де перший основний, а інший – резервний;
- система трубопроводів;
- всмоктувальний колектор;
- нагнітальний колектор;
- запірна арматура;
- шафа управління.

Класифікація систем пожежогасіння

Станції пожежогасіння, які є резервуарами для води з убудованим у них обладнанням, вважають стаціонарними установками і включають до системи протипожежного захисту. У них використовуються відцентрові самовсмоктувальні насоси, основні переваги яких такі:

- висока продуктивність;
- зручність та швидкість складання;
- тривалий термін служби.

Стаціонарні насосні станції мають спринклерні або дренчерні системи пожежогасіння. Насосне обладнання може запускатися автоматично.

Спринклерні системи складаються із мережі водопровідних труб, заповнених водою чи повітрям під тиском. Головка спринклеру обладнана тепловим замком із легкоплавкого матеріалу. При підвищенні температури в приміщенні вище за встановлену межу замок плавиться і відбувається зрошення вогнища займання зі стелі. Система працює точково: зрошувачі включаються лише у тих місцях, де виникло займання.

Дренчерна система використовується для великих приміщень і для об'єктів, де існує небезпека займання легкозаймистих та вибухонебезпечних речовин. Вона не має теплових замків і запустити таку систему можна вручну, коли небезпека пожежі тільки виникла. Дренчерна система створює так звані стіни з води і цим ізолює непошкоджені ділянки від вогню та горючих речовин протягом тривалого часу.

У якості протипожежного засобу найчастіше використовується вода. Її характеристики теплоємності та ефекту охолодження відмінно поєднуються з низькою вартістю порівняно з іншими наповнювачами. Також вода хімічно інертна майже до всіх матеріалів приміщень, що робить її безпечною у використанні.

Під час експлуатації об'єкта система пожежогасіння перебуває у режимі очікування. При підвищенні температури спрацьовують пожежні сповіщувачі й сигнал направляється на пристрій відкриття замку електроклапану. За допомогою запірної арматури вода подається на вхід відцентрового насоса та надходить у систему. Якщо при виході з ладу насоса відбувається зниження тиску в системі, автоматично підключається резервний агрегат. Також можлива їхня спільна робота для подачі необхідного об'єму води на місце займання.

Існують такі способи керування насосною станцією пожежогасіння:

- дистанційно;
- автоматично при сигналі від пожежного сповіщувача;
- вручну, використовуючи кнопку.

Найбільш ефективною за швидкістю реагування є пожежна станція, що працює в автоматичному режимі. Основними її перевагами є:

- низькі витрати на експлуатацію;
- надійність роботи;
- зручність та простота встановлення та обслуговування;

- контроль робочих параметрів під час очікування та під час екстреного запуску;
- можливість блокування та захисту обладнання.

Система автоматики передає технічні дані стан станції диспетчеру. Додатково можна використовувати в режимі місцевого управління.

Вимоги до насосних станцій пожежогасіння

Якщо вода забирається з резервуара, то насосні агрегати розміщують нижче за накопичувальні ємності. При такому розташуванні обладнання не обов'язково монтувати системи забору води (всмоктування). В іншому випадку доведеться встановити кілька самостійних систем забору води.

Пускова система пожежних насосних станцій (ПНС) повинна відповідати критеріям надійності та якості. Її запуск повинен провадитися навіть після тривалої зупинки обладнання.

Для підтримки установки у робочому стані слід регулярно перевіряти її шляхом моделювання загоряння.

Для електропостачання станції використовують два самостійні джерела струму, щоб забезпечити її надійне функціонування.

Слід систематично перевіряти стан вузлів та деталей обладнання.

Проект насосної станції пожежогасіння узгоджується з органами СЕС та водоохоронних організацій.

Запуск станцій можливий після обов'язкової сертифікації.

При встановленні стаціонарної насосної станції слід дотримуватися таких умов:

- до резервуарів забезпечується вільний доступ пожежних розрахунків та обслуговуючого обладнання;
- встановлюється щонайменше дві буферних ємності;
- при комплектуванні стандартної насосної станції додатковим обладнанням на етапі розрахунку та проектування індивідуально визначається його склад та типорозмір.

За видом перекачуваної рідини насосні станції водовідведення поділяють на чотири групи:

- для перекачування побутових стічних вод;
- для перекачування виробничих стічних вод;
- для перекачування атмосферних вод;
- для перекачування осадів.

Насосні станції з перекачування побутових стічних вод входять у склад споруд системи водовідведення населеного пункту.

До насосних станцій з перекачування виробничих стічних вод висувають ряд специфічних вимог залежно від характеру перекачуваної рідини. Наприклад, агресивність стічної води щодо бетону, чавуну, сталі вимагає захисту резервуарів від руйнування, застосування спеціальних насосів і пристроїв для періодичного промивання установок чистою водою.

Станції третьої для перекачування атмосферних опадів споруджують на мережі дощової каналізації в тих випадках, якщо неможливо відвести атмосферні води самопливом до місця скидання.

Насосні станції перекачування осадів входять до складу споруд очищення стічної рідини та оброблення осаду. Такі станції служать для перекачування осаду з первинних відстійників у метантенки, збродженого осаду з метантенків на споруди з переробки осаду, ущільненого активного мулу в метантенки, активного мулу з вторинних відстійників у регенератор активного мулу або в аеротенки, піску з пісковловлювачів.

За призначенням розрізняють *каналізаційні насосні станції з перекачування побутових стічних вод*:

а) підкачки – для підвищення глибини залягання самопливного каналізаційного трубопроводу;

б) районні – для збору стічної води в районі міста і подальшому її транспортуванні напірним трубопроводом;

в) головні – для транспортування стічних вод всього міста на очисні споруди каналізації (ГКНС).

У великих містах максимальний приток до ГКНС може не співпадати з максимальним водоспоживанням як за величиною, так і за часом.

Робота КНС автоматизована таким чином, що насоси вмикаються при максимальній заповненні приймального резервуару і вимикаються при його спорожненні.

В КНС встановлюються під залив спеціальні занурені або незанурені насоси. Основні технологічні приміщення КНС: приймальний резервуар з грабельним приміщенням, машинне відділення.

Приймальні резервуари КНС. Призначення приймального резервуару з грабельним приміщенням – проведення первинного грубого очищення стічної води для запобігання забивання насосів, накопичення води в години мінімального водовідведення і регулювання увімкненням і вимкненням насосів.

Для затримки великого сміття використовуються ручні і механічні решітки, встановлені в грабельному приміщенні. Затримане сміття, передається на дробарки, подрібнюється і знову скидається в самопливний лоток перед решітками. В невеликих насосних станціях використовують решітки-дробарки, що затримують і одночасно подрібнюють сміття. Існують спеціальні насоси-подрібнювачі, в яких подрібнювач введений в конструкцію насоса.

За призначенням *насосні станції сільськогосподарського призначення* можна поділити на три групи:

– насосні станції, що забирають воду від джерела водопостачання й подають її до каналів або резервуарів;

– насосні станції (установки), які подають воду безпосередньо до споживачів (ферми, дощувальні установки);

– водопровідні насосні станції та установки [20].

Меліоративні насосні станції першої групи за складом споруд багато в чому подібні до ГЕС. Водозабірні пристрої зрошувальних насосних станцій

виконують поверхневого типу. Конструктивно водозабірні пристрої мають багато спільного з аналогічними спорудами дериваційних ГЕС. Зазвичай воду забирають із руслу річки. Водозабір не повинен стискувати основне русло річки більше ніж на 25 %. Кількість води, яку забирають, не повинна перевищувати 20–25 % від середньої витрати.

Водозабірні пристрої на каналах бувають трьох типів:

- прямий водозабір, розміщений нормально до осі каналу;
- бічний водозабір, розміщений уздовж каналу;
- косий водозабір, розміщений під кутом до осі каналу.

Водозабірні пристрої можуть бути:

- прямотечійного типу, що підводять воду безпосередньо до камери насосної станції;
- з обмежувальною стінкою, через яку вода подається по трубах;
- об'єднані, не відділені один від одного.

На водозаборах передбачають брудоутримувальні решітки, пристрої для захисту від льоду, рибозагороджувачі.

У разі роздільного розміщення насосної станції і водозабору вони з'єднуються між собою водоводами. У якості водоводів застосовують трубопроводи безнапірні, напірні, сифонні. Підвідні трубопроводи прокладають із нахилом у бік насосної станції. Відкриті підвідні канали застосовують як водоводи за таких умов:

- наявності необхідних геологічних умов для спорудження каналу мінімальної довжини;
- наявності відносного прояснення води в джерелі;
- стійкості берегів джерел;
- безперебійності водозабору за незначних коливань рівня.

Підвідні канали можуть бути саморегульовальні та несаморегульовальні. У саморегульовальному каналі за нульової витрати залишається об'єм води, рівень якої збігається з рівнем у джерелі.

При суміщенні водозабірної пристрою з насосною станцією експлуатація споруди значно спрощується, проте застосування такого типу не завжди є економічно виправданим внаслідок значних будівельних витрат за несприятливих геологічних і топографічних умов у місці водозабору.

Аванкамера є лійкоподібним розширенням каналу перед спорудою насосної станції. Основне її призначення – забезпечення рівномірного підведення води до всіх усмоктувальних труб насосних агрегатів. Стінки і дно аванкамери виконують з облицюванням.

Будівлі насосних станцій. Меліоративні насосні станції залежно від їх подачі поділяють на наступні типи:

- великої продуктивності (понад 10 м³/с);
- середньої продуктивності (1–10 м³/с);
- малої продуктивності (до 1 м³/с).

Насоси з подачею понад 3 м³/с зазвичай виконують вертикальними. З точки зору зручності компонування будівлі насосної станції вертикальні насосні агрегати забезпечують такі переваги:

- зменшення площі та розмірів будівлі;
- насос без особливих ускладнень може бути встановлений нижче від максимального рівня в джерелі (постійно працювати з підпором);
- електродвигуни можна встановлювати в приміщенні, що постійно знаходиться вище від максимального рівня в джерелі;
- під час аварій зменшується небезпека заливання водою силового обладнання.

У сільськогосподарському водопостачанні найбільш часто трапляються такі типи будівель насосних станцій:

- блокового типу – для насосів із вертикальним валом за незначних коливань рівня води. Всмоктувальну трубу виконують зазвичай у бетоні. У бетоні передбачають дренажні галереї для витоків;
- шахтно-блокового типу – за значних коливань рівня, що перевищують розміри будівлі блокового типу, між насосом і двигуном встановлюють проміжний вал, що одночасно збільшує вертикальні розміри будівлі;
- камерного типу із сухою камерою – для насосів будь-якого типу за нульової, від’ємної та позитивної висот усмоктування. Потрапляння води в камеру виключається за рахунок ущільнення в місцях проходження трубопроводу через стінку камери. За значних коливань рівня і вертикальних насосних агрегатів отримуємо будівлю шахтно-камерного типу;
- камерного типу з мокрою камерою і сухим насосним приміщенням – для насосів будь-якого типу. Коливання рівнів можуть бути значними;
- з мокрою камерою і зануреним насосом – для вертикальних насосів за значних коливань рівнів. Максимальний рівень води в камері не повинен доходити до верхнього підшипника;
- плавучі – за класифікацією належать до будівель із сухою камерою, основою яких є вода. Корпус станції виготовляють із листової сталі або залізобетону.

Крім розглянутих типів, для насосних станцій малої продуктивності застосовують також звичайні незаглиблені будівлі.

Меліоративні насосні станції призначені зазвичай для сезонної роботи. Вони допускають тимчасове зменшення подачі або короткочасне зупинення в роботі.

Контрольні питання

1. Дайте визначення насосної станції. У чому полягає призначення насосної станції на каналі?
2. У чому полягає призначення насосних станцій водопостачання? Наведіть їх класифікацію.
3. У чому полягає призначення насосних станцій водовідведення? Наведіть їх класифікацію.
4. Для чого використовують насосні станції сільськогосподарського призначення?

ТЕМА 9 ОСНОВИ ПРОЄКТУВАННЯ РЕГУЛЯЦІЙНИХ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД

Використання водних об'єктів та освоєння прилеглих до них прибережних територій зазвичай супроводжуються впливом річок на інженерні та культурні об'єкти, викликають небезпечні порушення їх функціонування або руйнування. При цьому небезпека залежить як від природних, так і від природно-антропогенних процесів [21].

При розмиваннях берегів часто руйнуються прибережні будови, дороги та інші комунікації, у тому числі збудовані в той час, коли річка була далеко від них, підмиваються берегові опори мостів, провисають трубопроводи, дюкери, кабелі, прокладені через річки, втрачаються родючі землі та лісові угіддя. Акумуляція наносів у руслах призводить до замулювання або занесення водозаборів та водовипусків, акваторій портів та суднових ходів.

Небезпечні прояви руслових процесів, спричинені господарською діяльністю в руслах річок, на заплавах та прирічкових територіях, пов'язані з:

- функціонуванням водосховищ (врізанням русел у нижніх б'єфах гідровузлів);
- видобутком будматеріалів з русел та розробкою в них розсипних родовищ корисних копалин;
- зведенням споруд, що змінюють гідравлічні характеристики потоку і викликають місцеві розмив або намив в руслах.

Регулювання русла проводиться для захисту територій, населених пунктів та господарських об'єктів від затоплення високими водами, покращення умов судноплавства та лісосплаву, утримання річок біля поселень, водозаборів, мостів тощо, захисту берегів від розмиву, боротьби з глибинною ерозією річок, з селевими потоками, для закріплення ярів та ін.

Регуляційна споруда (також виправна споруда) – гідротехнічна споруда, створена для «регулювання» (виправлення форми та водного режиму) русла річки з метою захисту від повені чи забезпечення судноплавства.

Регуляційні споруди можуть бути поздовжніми (розташованими вздовж русла, наприклад, вал), поперечними (наприклад, запруда) і комбінованими. Суцільні споруди блокують весь потік води, наскрізні пропускають частину потоку, тим самим перерозподіляючи витрату води (і з ним швидкість течії і кількість наносів) за перерізом русла.

Довготривалі споруди важкого типу (наприклад, дамби) є капітальними спорудами і повинні протистояти руйнуванню від води та льоду, а також деформаціям основи; при їх будівництві використовується кам'яний начерк, матрацева кладка, фашини, пальові та ряжеві конструкції, ґрунт з кам'яним або фашинним облицюванням.

Легкі регуляційні споруди застосовуються на малих річках і найчастіше є тимчасовими, виконуються у вигляді тин і завіс з хмизу, загороджень з гілок, ґрунтових насипів без покриття.

Регуляційні (руслорегулюючі) споруди змінюють місцевий (у межах русла) режим потоку. Вони призначені для забезпечення необхідної глибини,

швидкості течії та форми русла для судноплавства та сплаву (лісу) на річках; зміни напрямку та форми русла на користь, наприклад, судноплавства (створення так званих руслових каналів чи судових ходів); регулювання ерозійної діяльності водотоку; захисту русла та берегів від розмивів, відкладення наносів, впливу льоду та ін. Регуляційними спорудами є дамби і канали, що зводяться в руслах; струмонаправляючі пристрої (буни, щити тощо); берегоукріплювальні споруди тощо.

Такі споруди призначають для штучного втручання у напрямі течії річки, тобто вони змінюють русло. Споруди називають струмонаправляючими. Вони зводяться у кілька етапів – регулюються береги, ширина річки, потім, за потреби, глибина. Цього можна досягти шляхом вистилання дна на певній ділянці. Обмежувачі та струмонаправники формують потік та його швидкість у вже підготовлених рамках.

Так підтримується оптимальний рівень фарватеру, водойма не виходить зі свого місця, а найближче виробництво може скористатися водним ресурсом.

Для будівництва водозабірних конструкцій або гребель, які забезпечують спрямований потік високої потужності, іноді потрібно правильно підвести русло. Для цього за попередньою схемою облаштовуються береги та дно.

За потужністю розрізняють регуляційні конструкції двох типів:

- постійні – багатоярусні установки для повного виправлення русла, кривизни та швидкості потоку;
- тимчасові – більш легкі пристрої, які швидше допомагають річці знайти більш оптимальний вигин, ніж її змінюють.

Перші складаються з великих дамб, гребель, запруд, валів. У разі потреби можуть підключити насосну станцію. Такий комплексний підхід практично повністю дає взяти контроль за стихією в людські руки.

Другі – це легкі насипи, зміцнення берегів. Такі заходи швидше запобігають неправильній течії, трохи змінюють напрямок.

Регуляційні споруди мостових переходів призначені для регулювання водного потоку, що перетинається дорогою, з метою забезпечення течії води та руху наносів у потрібному напрямку за дотримання необхідних умов експлуатації мостового переходу та водотоку. Вони повинні забезпечувати:

- плавне введення заплавного потоку в отвір моста, щоб уникнути збою струменів безпосередньо біля моста;
- рівномірний розподіл витрати води по всьому отвору, щоб не допустити зосередження розмиву в окремих частинах живого перерізу та пов'язаного з цим підмиванням опор;
- плавне виведення водного потоку з-під моста;
- попередження підмиву конусів моста та заплавних насипів;
- прямолінійний напрямок потоку під мостом;
- стійкість та незмінність русла річки у районі переходу.

В окремих випадках до завдання регулювання водного потоку входить спрямування русла, а також огороження населених пунктів та інших об'єктів від затоплення високими паводками у зв'язку зі зведенням мостового переходу.

Регуляційні споруди зменшують вплив льоду на опори мосту та насипу підходів, а також знижують висоту хвиль.

Русловий процес змінюється і порушується від наявних у природних водотоках гідротехнічних та інженерних споруд, причому це порушення може охопити значну по довжині ділянку річки (відбуваються загальні деформації). Крім загальних деформацій можливі і локальні порушення руслового процесу на ділянках розташування споруд, якщо останні сильно стискають потік або обмежують розвиток річкових звивин, або не забезпечують безперервне обтікання потоком споруд або їх елементів.

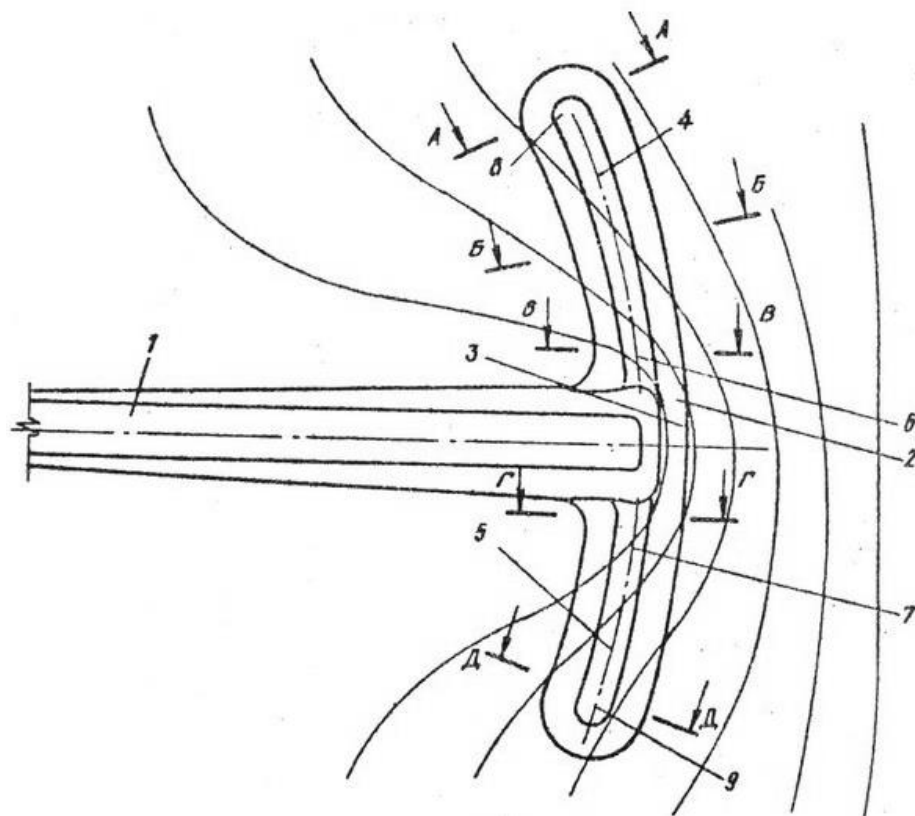
З метою підвищення надійності в роботі штучних споруд (мостів) на річці при різних рівнях води у водотоці можуть бути застосовані наступні удосконалення в конструкції регуляційних струмоспрямовуючих споруд.

На рисунку 9.1 зображено регуляційну струмоспрямовуючу споруду для мостового переходу, план, та необхідні розрізи.

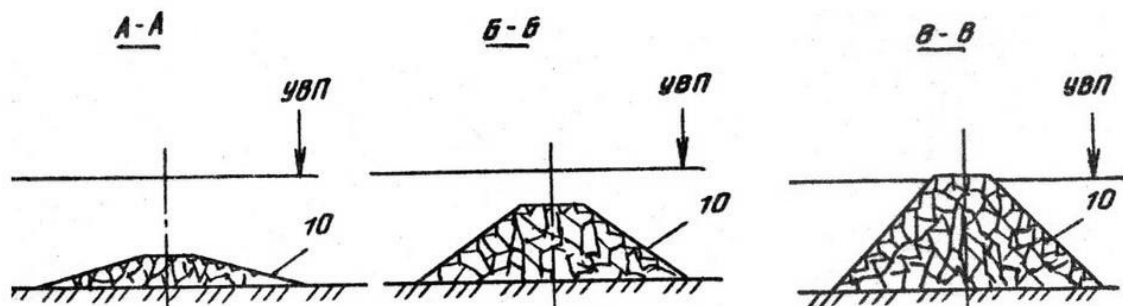
Регуляційна струмоспрямовуюча споруда включає підхідну дамбу (1) і струмоспрямовуючу дамбу (2), що примикає середньою частиною (3) до підхідної греблі (1) і має криволінійну верхову (4) і низову (5) ділянки.

Криволінійна верхова (4) і низова (5) ділянки виконані у вигляді підтоплюваних захисних валів, висота яких плавно зменшується від кореневих примикаючих частин (6) і (7) до головних частин (8) і (9) струмоспрямовуючої дамби (2). Закладення укосів (10) верхової (4) і низової (5) ділянок назад пропорційно висоті дамби (2).

Регуляційна струмоспрямовуюча споруда працює наступним чином. При затопленні заплави спочатку в роботу включаються основи головних частин (8) і (9) підтоплюваних верхової (4) і низової (5) ділянок струмоспрямовуючої дамби (2), що мають малу крутість укосів (10). Струмені потоку плавно обтікають головні частини (8) і (9) в ламінарному режимі в підмостовий перехід і його вихід відбувається з малими придонними швидкостями, при цьому зменшується розмив голів ділянок (4) і (5).



а)



б)

Рисунок 9.1 – Регуляційна струмоспрямовуюча споруда для мостового переходу:

а – план; б – розрізи;

1 – підхідна дамба; 2 – струмонаправляюча дамба; 3 – середня частина;

4 – криволінійна верхова ділянка; 5 – криволінійна низова ділянка;

6, 7 – кореневі примикаючі частини; 8, 9 – головні частини

струмоспрямовуючої дамби; 10 – нахил укосин

При подальшому підйомі води глибина водного потоку зростає і одночасно зростає ширина (4) верхової і низової (5) водозливних ділянок.

Кожні наступні струмені за висотою вливаються в потік по складних гвинтових траєкторіях, і, завдяки поверхні укосин (10), що мають змінне закладення, йде перемішування заплавного та руслового потоків, яке супроводжується гасінням енергії потоку. Зниження швидкості водного потоку призводить до зменшення деформацій підмостової частини русла.

У розглянутій регуляційній струмоспрямовуючій споруді банкетні захисні вали змінної висоти дозволяють плавно по висоті формувати струмені водного потоку на вході та виході, змінне закладення укосів забезпечує переміщення цих струменів, у зв'язку з чим зменшується розмив у основи регуляційної струмоспрямовуючої дамби, стабілізується живий переріз під мостом та підвищується надійність роботи мостового переходу.

Влаштування банкетних захисних валів мінімальної висоти біля голів і максимальної біля їх коренів, де відбувається поєднання верхнього і нижнього б'єфів через прямолінійну середню ділянку, дозволяє знизити витрату матеріалу, що йде на відсіпання тіла струминної дамби.

Таким чином, використання на практиці розглянутої споруди дозволить підвищити ефективність регулювання руслових процесів, зумовлених будівництвом мостових споруд.

9.1 Регулювання русла малих річок

Метод захисту від затоплення регулювання русла застосовують лише щодо малих річок, де спостерігається невелике перевищення паводкових витрат над межовими. Зазвичай регулювання стоку проектується у поєднанні з одним із основних методів захисту. Тільки така комбінація дає змогу забезпечити накопичення території та знизити позначку водоогороджувальної споруди [22].

Русла малих річок регулюють, поглиблюючи та розчищаючи дно, спрямовуючи трасу та зміцнюючи берег. Це дозволяє збільшити пропускну здатність річки з допомогою зменшення гідравлічного опору русла.

Дно зазвичай не тільки поглиблюють, але розчищають, зрізують нерівності, ліквідують каміння, корчі та інші перешкоди. Ці заходи супроводжуються видаленням прибережної деревини. При заглибленні передбачають збільшення гідравлічного ухилу русла, як у межах території, що захищається, так і поза її межами. Це дозволяє запобігти розмиву берегів вгору за течією від ділянки, що захищається, і виключити підпір нижче цієї ділянки. Загальна довжина ділянки (поглиблення) визначається за формулою:

$$L = l_1 + l_{dil} + l_2 = 2z/i_{dil} + l_{dil} + z/(i_{dil} - i), \quad (9.1)$$

де l_1 – загальна довжина ділянки поглиблення русла, м;

l_{dil} – довжина ділянки поглиблення русла в межах території, що захищається, м;

l_2 – необхідна величина зниження рівня води в річці, м;

z – довжини ділянок поглиблення дна за межами території, що захищається, м;

i – повздовжній нахил природного русла річки, тис. частки;

i_{dil} – повздовжній нахил проектної лінії дна, тис. частки.

Розрахунки проектного повздовжнього нахилу на всіх ділянках русла

$$i = \frac{V^2}{C^2 \cdot R}, \quad (9.2)$$

де V – середня розрахункова швидкість течії, що не розмиває, для верхньої ділянки і не замулює для нижньої, м/с;

R – гідравлічний радіус перерізу;

C – коефіцієнт Шезі, що залежить від шорсткості та форми русла.

При проектуванні враховують умови «щільності русла за глибиною», тобто витримують співвідношення між середніми швидкостями течії і середніми глибинами річки:

$$V = \alpha \cdot V_{\phi} \cdot H^a, \quad (9.3)$$

де H – середня глибина потоку, м;

α – коефіцієнт, що враховує вплив завислих наносів і приймається для гірських і передгірних ділянок річок 1, для рівнинних – від 1,1 до 1,15;

a – показник ступеня, що приймається за довідковими даними;

V_{ϕ} – гранична швидкість, коли русло не розмивається і забезпечується повний транзит донних наносів, м/с, наведена до одиниці глибини.

Ширина річки по урізу води також повинна задовольняти вимоги «щільності русла за шириною річки», тому її призначають з урахуванням запобігання можливості поділу потоку на рукави (протоки) та утворення мілин та островів. Ширина річки, яка відповідає цим вимогам,

$$B = D \cdot \frac{Q^{0,5}}{i_{\text{діл}}^{0,2}}, \quad (9.4)$$

де B – проектна ширина річки по урізу води, м;

Q – розрахункова руслоформуюча витрата води із забезпеченістю 3–10%, м³/с;

$i_{\text{діл}}$ – повздовжній нахил водотоку, що відповідає розрахунковій витраті;

D – параметр, значення якого для руслоформуючих витрат беруть за довідковими даними, с/м.

Зв'язок між умовою стійкості русла за глибиною та шириною

$$B = D^2 \cdot \frac{q^{0,5}}{i_{\text{діл}}^{0,4}} = V \cdot H, \quad (9.5)$$

де q – витрата, що припадає на одиницю ширини русла.

Пропускна здатність русла можна збільшити, спрямовуючи меандричні ділянки річки та засипаючи окремі місця старого русла (рис. 9.2). Площу перерізу спрямованого проєктованого русла визначають умовами пропуску паводків необхідної забезпеченості. Як правило, виправні роботи здійснюють разом із поглиблювальними. Якщо випрямлення використовують як боротьбу з деформацією русла, викликаною руйнівним впливом швидкостей течій річки, то цим не обмежуються. Зазвичай додатково створюють різні регуляційні гідротехнічні споруди: шпори, струмонаправляючі греблі, напівзапруды тощо.

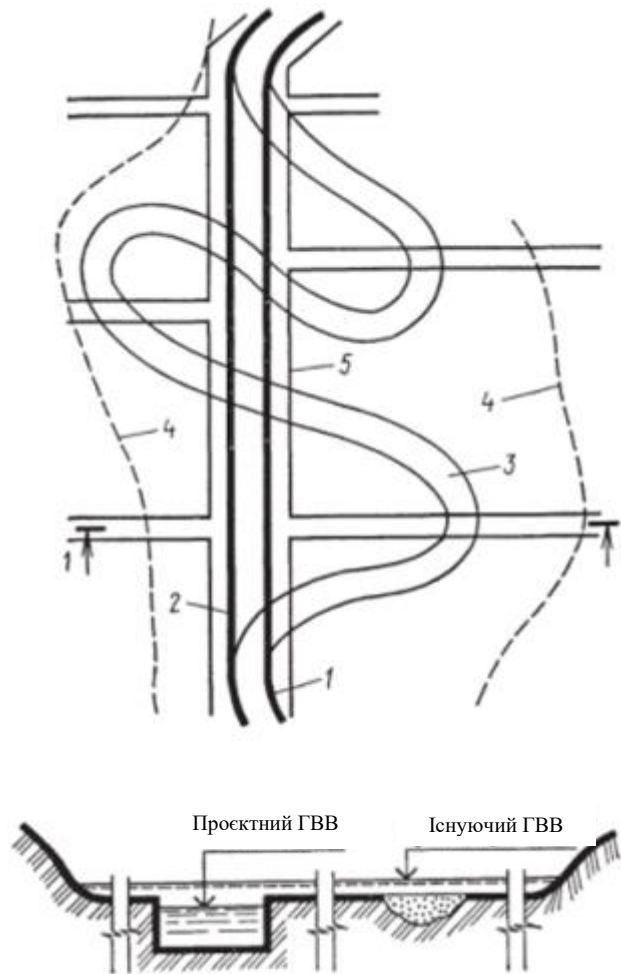


Рисунок 9.2 – Випрямлення русла річки:

1 – існуюче русло; 2 – проєктоване русло; 3 – засипане старе русло; 4 – межі затоплення до випрямлення русла; 5 – червона лінія забудови

Для фіксації лінії берега та захисту прибережних схилів від обвалення, підмиву та переробки проводять берегозміцнювальні роботи.

9.2 Регулювання русла річки біля водозабору

Основне завдання при водозаборі з річок полягає в тому, щоб забезпечити планову подачу води в канали при мінімальному надходженні великих наносів. Виконання цього завдання значною мірою залежить від умов протікання річки у районі водозабору. У більшості випадків поліпшення умов водозабору вимагає проведення в річковому руслі на ділянці водозабору комплексу регулювальних та захисних робіт. Завдання і склад цих робіт мають ряд специфічних особливостей, різних для водозаборів без та з греблями.

Регулювання русла при водозаборі без греблі. Численні приклади водозаборів, побудованих з метою зрошення, водопостачання та енергетики, показують, що регулювальні споруди та роботи мають велике

народногосподарське значення, особливо при водозаборі без влаштування греблі. І тут шляхом регулювання русла вирішуються такі основні завдання.

1. Відхилення потоку донних наносів від водозабірної споруди. Це завдання вирішують двома шляхами: улаштуванням водозабору на природному або штучно створеному увігнутому березі та застосуванням загороджувальної струмонаправляючої системи.

Така система відхиляє поверхневі струмені у бік водозабору, а донні в протилежний бік і тим самим дозволяють майже повністю відвести потік донних наносів від водозабірних споруд.

Вивчаючи ефективність очищення зрошувальних каналів від донних і придонних наносів різними способами, В. А. Шаумян і А. Г. Хачатрян дійшли висновку, що застосування струмонаправляючих систем знижує витрати робочої сили в 2,4 рази і витрати на очищення в 13 разів. У порівнянні з механічним очищенням виправдовує в перший же рік експлуатації всі витрати на їх будівництво.

2. Підтримання стрижня потоку біля водозабірної споруди. Залежно від причини, що викликала переміщення динамічної осі, це завдання вирішують наступними способами: зрізанням виступу, виправленням русла та установкою різних струмонаправляючих систем.

Найбільш міцне закріплення динамічної осі досягається при повному регулюванні русла на певній ділянці вище і трохи нижче за водозабірну споруду.

3. Підтримання командних рівнів та деяке їх підвищення. Це досягається такими способами:

а) улаштуванням довгих водозахоплювальних дамб з підвищенням рівня перед входом у канал за рахунок різниці ухилів у річці і в руслі, що підводить;

б) встановленням коротких дамб (струмозахоплювальних шпор) з незначним підвищенням рівня за рахунок часткового перетворення кінетичної енергії потоку на потенційну;

в) улаштуванням донних запруд або порогів у руслі нижче водозабірної споруди.

Залежно від конкретних умов при водозаборі без греблі виконують інші види регулювальних робіт.

Регулювання русла при водозаборі з улаштуванням греблі.

Будівництво греблі водозабірною вузла викликає різку зміну природного водного та наносного режимів потоку в результаті створення підпору та забору частини витрати води в канал без донних наносів. Тому у верхньому та нижньому б'єфах вузла протягом тривалого часу протікають особливі руслові процеси, які називаються процесами переформування.

У верхньому б'єфі (у зоні підпору) починається відкладення наносів та підвищення дна. Підйом дна супроводжується цілим рядом небажаних явищ:

- відбувається блукання та розподіл меженного потоку на рукави;
- підйом рівня води у річці у зоні підпору;
- збільшення дальності поширення кривої підпору;

– зменшення пропускної спроможності водозливної греблі у зв'язку з роботою її як водозливу з широким порогом та ін.

Отже, розрахункові рівні води та розміри регулювальних споруд (огороджувальних дамб) встановлюють з урахуванням нового, підвищеного положення дна річки та відповідного йому коефіцієнта витрати греблі.

Переформування русла в нижньому б'єфі проходить дві різні стадії.

На початку роботи вузла, коли основна маса наносів затримується у верхньому б'єфі, прояснена вода, що скидається, розмиває дно нижнього б'єфу. При великій ємності верхнього б'єфу цей процес відбувається протягом тривалого часу, розмив по глибині сягає значних розмірів і поширюється на багато кілометрів нижче греблі. Внаслідок цього рівні води в нижньому б'єфі падають, напір у порівнянні з розрахунковим збільшується, поєднання греблі з відвідним руслом може бути порушено тощо.

Після заповнення верхнього б'єфу наноси починають надходити в нижній б'єф у колишній кількості та внаслідок зменшення транспортуючої здатності потоку (частина витрати забирається в канал) починається зворотний процес – відкладення наносів у нижньому б'єфі. Цей процес може не тільки компенсувати розмив, що відбувся, але і викликати підйом дна вище попереднього рівня, так що поріг греблі може виявитися похованим у товщі наносів. Крім того, підвищення дна викликає підйом рівня води, зменшення діючого напору і як наслідок погіршення умови роботи, промивних отворів та ін.

Відповідно до процесів формування русла ставляться завдання його регулювання. Отже, при водозаборі з греблею доводиться регулювати русло як у верхньому, так і в нижньому б'єфі вузла споруд.

Схеми регулювання русел. Головне завдання регулювання русла у верхньому б'єфі полягає в тому, щоб забезпечити стійкий підхід річки до водозабірної споруди з такою гідравлічною структурою потоку, при якій поверхневі шари води прямують у водозабір, а донні шари з наносами – у скидання.

При двобічному водозаборі зарегульоване русло у верхньому б'єфі проектується здебільшого прямолінійним, щоб забезпечити рівномірніший розподіл донних наносів за шириною русла і створити для обох головних споруд приблизно однакові умови.

При двосторонньому послідовному водозаборі рекомендується перед кожним водоприймачем створити необхідний згин потоку для лобового водозабору з увігнутого берега.

У нижньому б'єфі греблі на першій стадії переформування русла мають бути вжиті заходи захисту проти підвищеної ерозійної діяльності потоку: зміцнення основ споруд та берегів русла, закріплення дна за допомогою донних порогів тощо.

У другій стадії переформування русла підвищують здатність потоку, що транспортує, для чого спрямовують русло, щоб збільшити ухили, зменшують шорсткість русла, надають йому гідравлічно найвигідніший поперечний переріз тощо.

При великому заборі води з річки та величезній кількості наносів може виявитися, що питання, пов'язані з нижнім б'єфом, не можна вирішити тільки способами регулювання русла.

Основні правила komponування регулювальних споруд при водозаборі з греблю. При проектуванні зарегульованого русла С. Т. Алтунін та І. А. Бузунов рекомендують дотримуватись таких правил:

1. Зарегульоване русло як у верхньому, так і в нижньому б'єфі проєктують криволінійним, тобто меандричної форми в плані по кривим, що сполучаються, двох радіусів, що забезпечує високу транспортуючу здатність донних наносів і створює в потоці, на підході до вузла, поперечну циркуляцію потрібного напрямку.

2. Ширину зарегульованого русла по урізу води визначають за формулою стійкої ширини, виходячи з величини руслоформуючої витрати, за яку приймається витрата паводку забезпеченістю 3–10%. Ширину русла в нижньому б'єфі встановлюють з урахуванням зменшення розрахункової витрати на величину водозабору.

3. Довжину зарегульованого русла приймають залежно від типу водозабору в таких межах: при односторонньому водозаборі у верхньому б'єфі не менше (5–6)В, в нижньому не менше (4–5)В; при двосторонньому водозаборі у верхньому б'єфі не менше (6–7)В, у нижньому (3–4)В; при двосторонньому послідовному водозаборі у верхньому б'єфі не менше (8–10)В і в нижньому (4–5)В (В – ширина стійкого русла на прямій ділянці у верхньому і нижньому б'єфах).

4. Конструктивно регулювальні споруди оформляють у вигляді поздовжніх струмонаправляючих дамб з місцевого ґрунту з облицюванням бетонними плитами або рваним каменем.

Контрольні питання

1. З якою метою необхідно запроваджувати регуляційні споруди на водних об'єктах?

2. Дайте визначення регуляційної споруди, для чого вони призначені?

3. Опишіть принцип роботи та влаштування регуляційної струмонаправляючої споруди для мостового переходу.

4. З якою метою впроваджується регулювання русел малих річок? В чому воно полягає?

5. З якою метою та як відбувається регулювання русла річки біля водозабору?

ТЕМА 10 ПРИНЦИП ДІЇ ТА ПРИЗНАЧЕННЯ ІРИГАЦІЙНИХ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД

Іригація (зрошення) – підведення води на поля, що відчувають нестачу вологи, і збільшення її запасів у шарі ґрунту з кореневою системою рослин з

метою збільшення родючості ґрунту. Зрошення, разом із осушенням, є основним видом меліорації – гідротехнічним. Зрошення покращує постачання коренів рослин вологою та поживними речовинами, знижує температуру приземного шару повітря та збільшує його вологість.

Зрошення відноситься до гідромеліорації, яка є рядом заходів, спрямованих на довготривале поліпшення водного режиму ґрунту з метою підвищення його врожайності. Гідромеліорація здійснюється шляхом будівництва інженерних гідротехнічних споруд, за допомогою яких здійснюється прорахована зміна або регулювання водного режиму території. Якщо зрошення потрібно здійснювати для бідної водними запасами місцевості, то попередньо слід провести обводнення території, оскільки постійне транспортування необхідних для зрошення обсягів води було б надзвичайно неефективне і дороге. За допомогою обводнення забезпечується надходження води природним ходом, що дозволяє її використовувати надалі безпосередньо в зрошувальних системах.

Ефективним є використання зрошення разом з іншими видами меліорації, наприклад, з агролісомеліорацією, яка включає створення захисних лісосмуг і ділянок. У цьому можна досягти як поліпшення ґрунтових умов, так і зміни на краще мікрокліматичних умов, коли поліпшується місцевий вологообіг в цілому [23]. У посушливих регіонах тільки зволоження ґрунту може бути недостатньо, тому що при дії сухих вітрів випаровування з поверхні рослин посилюється, і швидкість підживлення з кореневої системи може виявитися недостатньою, що призводить до в'янення. Також можна відзначити такі види меліорації як опріснювальні меліорації, які полягають у виведенні з ґрунту шкідливих солей, та теплові меліорації, коли полив культур виробляється теплою водою.

Загалом, зрошення застосовується в різних ділянках за кліматичними умовами. Очевидно, що найбільша потреба в зрошенні спостерігається в регіонах зі спекотним сухим кліматом, що характеризуються малою кількістю опадів (200–300 мм на рік). Показник зволоження (відношення річної суми опадів до потенційної випаровуваності) менше 0,33, а дефіцит випаровуваності (різниця між можливою випаровуваністю за вегетаційний період і опадів, що продуктивно використовуються) перевищує 5 000 м³ на гектар. Даний клімат типовий для країн Середньої Азії, де основною культурою, що вирощується за допомогою зрошення, є бавовник.

Також зрошення дуже ефективно у субаридних областях. Для них показник зволоження становить менше 0,77, а дефіцит випаровування – 2 000–5 000 м³ на гектар. Клімат у таких областях сприятливіший, ніж у зонах аридного клімату, проте раз на кілька років тут трапляються посушливі періоди, що може завдавати великої шкоди сільському господарству. Зрошення тут грає дещо іншу роль, служить не так для створення можливості зростання, скільки для вирівнювання коливань обсягу одержуваної продукції за роками і більш ефективного використання земель з можливістю знімати врожай кілька разів на рік. Визначальними культурами є кормові та зернові (притаманно для східних та південних областей України).

Залежно від місцевої ситуації можливі різні методи проведення зрошень. По-перше, може зрошуватися як повністю вся площа угідь, що притаманно для посушливого клімату, і окремі ділянки певних культур, що властиво для більш вологих кліматичних районів. По-друге, зрошення може здійснюватися один раз за рік (так зване лиманне зрошення), при якому в ґрунті створюється необхідний запас води, що використовується рослинами протягом року, або зрошення може проводитися постійно.

Види та класифікація іригаційних гідротехнічних споруд припускають розподіл за наявністю гребель – без греблі або з греблею. Перші системи припускають створення штучного каналу, що відходить від річки під певним кутом і забирає частину витрати водотоку. Щоб наноси з дна не потрапляли в зрошувальний канал, такі споруди розташовуються на увігнутих ділянках берега. Якщо витрати води значні, тоді потрібне зведення гребельних споруд, які, у свою чергу, можуть бути поверхневими або глибинними [24].

У завдання зрошення входить визначення кількості води, необхідної для зрошувальних робіт з максимальною ефективністю. Для цього враховують як місцеві кліматичні умови, так і вид зрошуваних рослин та необхідні їм умови для максимального зростання та кількості води в різні періоди росту. Слід знати фази розвитку тієї чи іншої культури та забезпечувати необхідні умови для кожної фази. Можна виділити такі фази зростання: проростання, кущіння, цвітіння та дозрівання. Найбільш водовитратною для злакових культур є фаза кущіння, тоді як, наприклад, для бавовнику – фаза цвітіння.

Розрізняють *поливну норму* – кількість води, необхідну сільськогосподарській культурі на один полив, і *зрошувальну норму* – весь обсяг води на період зрошення. *Коефіцієнтом водоспоживання* називають кількість води, витрачену рослинами, на одиницю врожаю.

10.1 Зрошувальні системи

Зрошувальна система – територія, на якій розташовані гідротехнічні (водозабірні та водонапірні споруди, канали, трубопроводи) та експлуатаційні (дороги, мости) споруди, що забезпечують її зрошення, бувають відкриті та закриті. Зрошувальні системи у загальному випадку складаються з кількох компонентів:

- вододжерело – річка, ставок, водосховище, свердловина, що забезпечують необхідний обсяг води;
- водозабірна споруда – регулює забір води в систему;
- мережа лінійних водопровідних пристроїв – канали, лотки, трубопроводи;
- поливна мережа та пристрої – безпосередньо поливні смуги, борозни, чеки, яруси, поливальні машини та пристрої;
- водозбірно-скидна мережа – для збирання та відведення поверхневого стоку з ділянки;
- дренажна мережа – для регуляції рівня підземних вод та відведення солей;

– допоміжні споруди – для регулювання напору, витрати та об'єму води, очисні споруди та ін.;

– інфраструктура – дороги, лісосмуги, споруди енергопостачання, виробничі та житлові будівлі, ставки-накопичувачі та ін.

Відповідно, можна виділити кілька типів зрошувальних систем залежно від компонентів, що застосовуються. Наприклад, якщо у якості водозабірної споруди використовуються насосні станції, то система є з *механічним водопідйомом*, на відміну від *самопливної системи*. За типом відкритості можна розрізнити *відкриті системи*, де використовуються канали і лотки, та *закриті*, де використовуються трубопроводи.

Також системи розрізняються за способом поливу:

- поверхневого поливу;
- дощувальні;
- рисові;
- лиманного зрошення;
- краплинного зрошення;
- внутрішньогрунтового зрошення.

Вивчення і прогнозування властивостей ґрунтової вологи є одним із найважливіших завдань у зрошенні, тому що саме для її регулювання зрошення і призначене. До ґрунтової вологи відносять вологу, що міститься у верхньому шарі землі в межах зони аерації. Ключовим параметром, що характеризує ґрунтову вологу, є її рухливість, залежно від величини якої ґрунтову вологу поділяють на кристалізаційну, тверду (лід), пароподібну, міцно пов'язану, рихлозв'язану і вільну. Завданням зрошення є створення певної вологості, яка б забезпечувала максимальний урожай сільськогосподарської культури, що засіюється на даній ділянці. При цьому виділяють кілька видів вологості ґрунту, що дозволяє максимально точно розраховувати її властивості:

Максимальна гігроскопічність дозволяє оцінити, скільки вологи може містити ґрунт, перш ніж припиниться процес вбирання.

Найменша вологоємність показує, скільки води залишиться у ґрунті, після того як стіче вся гравітаційна вода.

Повна вологоємність визначає максимальну кількість вологи, здатну утримуватись у ґрунті.

Вологість зав'ядання – вологість, при якій припиняється процес засвоєння вологи з ґрунту певною рослиною і починається процес зав'ядання. Ця характеристика залежить як від типу ґрунту, а й від сорту сільськогосподарської культури.

Швидкість вбирання води у ґрунт можна визначати за формулою:

$$U = \alpha \cdot K \cdot t^{\alpha-1}, \quad (10.1)$$

де U – швидкість вбирання, мм/хв.;

α – редуційний параметр;

K – параметр, що має розмірність швидкості вбирання;

t – час від початку вбирання.

Проінтегрувавши цей вираз, можна отримати шар вологи, яка була увібрана ґрунтом за час t :

$$H = K \cdot t^{\alpha}. \quad (10.2)$$

Для того щоб не почався процес іригаційної ерозії, потрібно, щоб вся волога, що надходить, вбиралася в ґрунт.

Для оцінки властивостей з віддачі води тих чи інших ґрунтів можна використовувати *коефіцієнт водовіддачі*, який дорівнює відношенню обсягу води, яка вільно випливає з ґрунту, до обсягу цього ґрунту, виражений у відсотках. Значення коефіцієнта водовіддачі складають від 0,01 для глин до 20 у дрібнозернистих пісків.

До основних способів зрошення належать:

- полив борознами водою, що подається насосом або зі зрошувального каналу;
- розбризкуванням води із спеціально прокладених труб;
- аерозольне зрошення – зрошення найдрібнішими краплями води для регулювання температури та вологості приземного шару атмосфери;
- підґрунтове (внутрішньоґрунтове) зрошення – зрошення земель шляхом подачі води безпосередньо в зону кореневої системи рослин;
- лиманне зрошення – глибоке одноразове весняне зволоження ґрунту водами місцевого стоку.
- дощування – зрошення з використанням самохідних та несамохідних систем кругового або фронтального типу.

При помилках у створенні меліорації зрошувальне землеробство може викликати цілий ланцюг негативних екологічних наслідків. Головними з них є:

- іригаційна ерозія;
- накопичення агроіригаційного культурного горизонту ґрунтів;
- вторинне засолення ґрунту;
- заболочування ґрунту;
- забруднення поверхневих та підземних вод;
- обмілення річок;
- осідання рельєфу місцевості.

Вторинне засолення – одне з головних наслідків зрошення земель в умовах аридного клімату. Воно пов'язане з підйомом мінералізованих ґрунтових вод до земної поверхні. Ґрунтові води, що містять солі, починають при цьому інтенсивно випаровуватися, внаслідок чого ґрунт насичується надмірною кількістю солей.

Гостра екологічна проблема зрошуваного землеробства – забруднення поверхневих та ґрунтових вод. Це результат поливу угідь та використання води для розсолу ґрунтів. Більшість річок, води яких використовуються для зрошення, мають мінералізацію 0,2–0,5 г/л. Нині їхня мінералізація зростає вдасятеро, що призвело до зростання вторинного засолення. Проблеми засолення ґрунтів та вод погіршуються застосуванням мінеральних добрив.

Зведення негативного екологічного ефекту до мінімуму можливе при правильному плануванні та проведенні зрошення, оскільки більшість недоліків не є органічно властивими йому.

Економічна ефективність заходів зрошення залежить від того, чи зможуть додаткові доходи, одержувані внаслідок проведення зрошувальних заходів, перевершити витрати на їх здійснення. Відповідно, потрібно мати інформацію про те, скільки коштів потрібно вкласти в будівництво меліоративної системи, представляти отримуваний додатковий обсяг продукції, а також розрахувати величину витрат, що витрачаються на виробництво сільськогосподарської продукції.

Слід враховувати, що обсяг капітальних вкладень у зрошувальні системи включає не тільки кошти на самі ці системи, але також й кошти на створення відповідної інфраструктури, наприклад, на створення внутрішньогосподарської мережі доріг, електрифікацію, будівництво додаткових будівель для виробничих потреб та проживання обслуговуючого персоналу та ін.

Річні витрати виробництва продукції під час запровадження зрошувальних систем зростають. Крім звичайних витрат на добрива, посів, збирання та транспортування врожаю тощо з'являються витрати на обслуговування самих зрошувальних систем, які можуть включати витрати на оплату робітників, на амортизацію обладнання, на додаткові земляні роботи (наприклад, очищення каналів, нарізку тимчасових зрошувальних мереж), на поливи.

У зв'язку з цим перед запровадженням систем зрошення потрібний ретельний аналіз, який супроводжується економічними розрахунками і техніко-економічним порівнянням кількох варіантів. Для цього можуть знадобитися дані про види та площі передбачуваних до зрошення земель, оцінка їх меліоративного стану, геодезичні роботи зі зйомки місцевості, з метою складання топографічних планів та профілів угідь, дані про фізико-хімічний склад ґрунтів, геологічні дані про ґрунтові основи та рівень підземних вод.

Створення великомасштабних зрошувальних систем потребує участі спеціалізованих проєктних інститутів та наукової підтримки через значні витрати, так і можливий кардинальний вплив на природу та населення регіону. Здобути максимальну вигоду з впровадження меліорації можливо при загальному розвитку сільськогосподарської галузі, коли відбувається впровадження сучасної сільгосптехніки, створюються професійні кадри працівників, а також розвивається соціальна сфера на селі [25].

10.2 Крапельне зрошення

У наш час для іригації використовують поверхневі або підземні води. Поверхневі води – це струмки, річки та озера. Зведення гребель через річку дозволяє накопичувати велику кількість води, створюючи штучне озеро або резервуар. Ця вода і використовується для іригації у посушливий сезон. Ґрунтову воду беруть із колодязів, рідко з неглибоких свердловин. У районах сильно віддалених джерел прісної води використовують системи опріснення,

доставляючи отриману воду на поля через систему каналів, канав, насосів і труб.

Сучасні технології дозволяють уникнути перевитрати води та засолення ґрунтів. Найбільш перспективний спосіб сучасної іригації – це крапельне зрошення. Краплинний полив дозволяє створювати рукотворні оази. Таким чином, крапельне зрошення дозволяє вирощувати овочі та фрукти, плодові та декоративні дерева, чагарники, багаторічні квіти та троянди, здійснювати озеленення та створення газонів та клумб, практично в умовах напівпустелі та пустелі [26].

Крапельне зрошення – це організація поливу, коли вода (часто разом із поживними елементами) вноситься малими дозами безпосередньо у прикореневу зону (рис. 10.1). При поливі малими порціями та кілька разів на день рослини засвоюють вологу та поживні речовини найбільш ефективно. При цьому зберігається повітряна проникність ґрунту, що дозволяє корінням «дихати». Через те, що при краплинному поливі внесення води і добрив відбувається в прикореневу зону культурних рослин, то для інших рослин (бур'янів) створюються несприятливі умови, і розвиток їх сповільнюється або зовсім зупиняється. Рівномірність, яку забезпечують системи краплинного зрошення (розкид менше 10%), дозволяє забути про можливе при звичайному поливі перезволоження одних ділянок (рослин) та недозволоження інших.

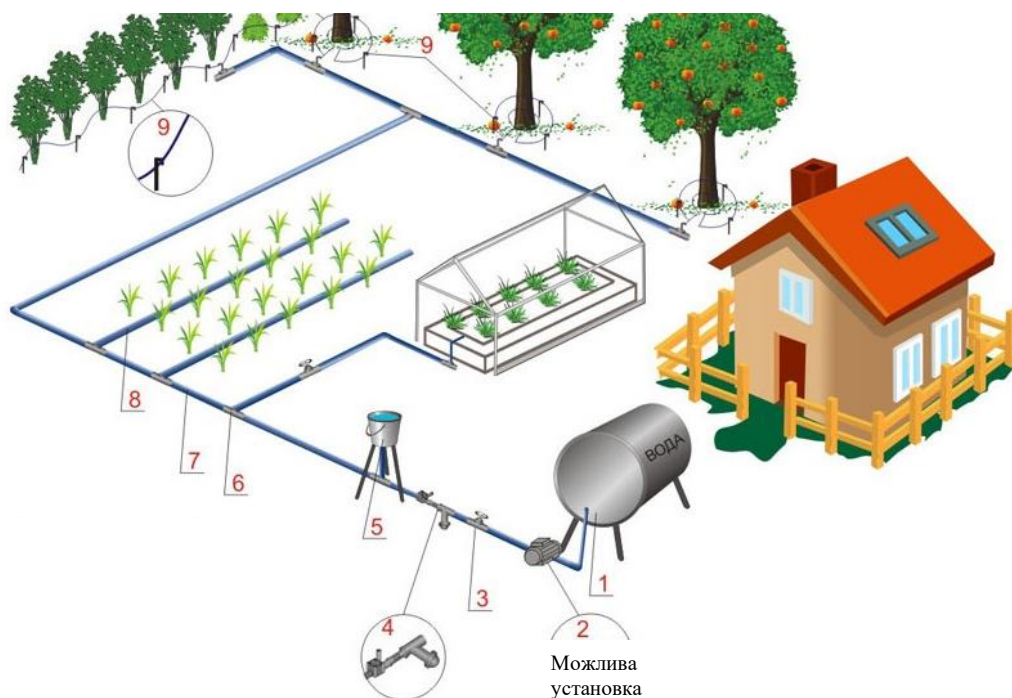


Рисунок 10.1 – Система крапельного зрошення:

- 1 – накопичувальна ємність; 2 – насос; 3 – запірний кран; 4 – фільтр;
5 – вузол внесення добрив; 6 – трійник-перехід; 7 – підвідна магістраль;
8 – овочева крапельна стрічка; 9 – садова крапельна стрічка

Краплинний полив дозволяє при малій витраті води виконувати роботи зі зміцнення схилів і укосів автомагістралей шляхом посіву багаторічних трав, що запобігають поверхневому змиву ґрунту в період дощів.

Переваги крапельного поливу:

- значне примноження врожайності в теплицях та на ґрунтах (для томатів, огірка, капусти, картоплі, цибулі в 2 рази);
- істотне зниження трудовитрат на полив та обробку як на відкритому ґрунті, так і в теплицях (з 30–40 до 2–4 люд.-год/га);
- поліпшується якість продукції, товарний вигляд;
- економія води та добрив (у 2–3 рази);
- ефективне споживання рослинами добрив (до 80 %), не відбувається засолення ґрунту;
- можливість поливати будь-коли, не ризикуючи викликати сонячний опік.

При малооб'ємній технології вирощування (обсяг кореневої системи обмежений і значно менший за зелену масу рослини) поживні елементи до рослин надходять лише з водою. Ціна помилки в таких системах дуже висока через малу ємність субстрату і для забезпечення точності використовують компенсовані зовнішні крапельниці. Некомпенсовані зовнішні крапельниці часто використовуються там, де довжина магістралі невелика і падіння тиску за довжиною несуттєво впливає на витрату крапельниці.

Трубки з вмонтованими всередину крапельницями завдяки простоті виробництва (малій вартості) та застосування, а також можливості потайного розміщення в ґрунті набули широкого поширення, переважно у відкритому ґрунті. Компенсовані крапельні лінії застосовують при значних довжинах лінії або значних схилах (грядки, поливної ділянки). У таких умовах застосування компенсованих крапельниць більш ніж виправдане. Некомпенсовані крапельні лінії успішно справляються із завданнями поливу при незначних ухилах і довжинах крапельних ліній (для крапельниць різних виробників це може бути від кількох десятків до сотень метрів при розкиданні витрати менше 10%).

Іншим обов'язковим елементом систем крапельного поливу є трубопровід, що доставляє воду до ділянок зрошення і розводить воду всередині нього, а також запірні арматура. Трубопровід має бути розрахований з урахуванням конкретних умов поливу та розміру ділянки. На великих площах зрошення здійснюють розбивку на більш дрібні, а полив кожної з них здійснюють по черзі. Крани та клапани дозволяють ізольовано зрошувати одну або кілька ділянок.

Важливим є застосування в краплинному зрошенні системи фільтрів. Справа в тому, що навіть застосування чистої води (наприклад водопровідної) не гарантує відсутність мікрочастинок в ній. Тим паче, якщо використовується ємність попереднього зберігання поливної води та/або добрив. Застосування фільтрів дозволяє очистити воду від шкідливих мікрочастинок, тим самим захистивши рослини від ураження та можливих захворювань.

Для формування добрив на промислових підприємствах застосовуються спеціалізовані автоматичні розчинні вузли, які самостійно готують поживний розчин відповідно до програми живлення, що розробляється агрономами. Автоматизовані розчинні вузли є обов'язковими при використанні малооб'ємної технології.

10.3 Наслідки застосування систем іригації

Найпоширеніше і найнеприємніше явище при зрошенні – це засолення ґрунтів. У ґрунтах і підстилаючих їх шарах багато легкорозчинних солей. Внаслідок витоків води з каналів та подачі на поля надмірної кількості води починає підніматися рівень ґрунтових вод. Від цього рівня по системі капілярних порожнин до поверхні ґрунту надходить вода і входить у процес випаровування. Ґрунтова вода, промочивши товстий шар підґрунтя та ґрунту, виносить до поверхні розчини солей, які після випаровування залишаються поблизу або на поверхні ґрунту. Ґрунт таким шляхом засолюється, змінює свої властивості та структуру та втрачає родючість. На місці оазису виникає засолена пустеля, створена руками людини. В наш час, бездумна іригація призвела до відомої всім екологічної та соціальної катастрофи, пов'язаної з використанням джерела прісної води річок Амудар'ї та Сирдар'ї, яке порушило живлення Аральського моря і призвело до його осушення та подальшого засолення ґрунтів регіону.

Не можна сказати, що ситуація сильно змінилася за минулий час, за винятком того, що зрошувана територія зараз сильно розширилася, і це призвело до такого ж великого розширення площі земель, що заселяються.

Україна належить до країн, найбільш забезпечених земельними ресурсами. Однак за досить великих розмірів території наша країна має відносно невелику кількість земельних угідь, сприятливих для життя та господарської діяльності людини. Понад 10 % площі країни зайнято малопродуктивними землями степів, 8 % – болотами та заболоченими землями, 15 % – напівпустель, у тому числі 3 % – з рухомими пісками, 5 % – з високогірними районами. Сільськогосподарські угіддя становлять лише 25 % від загальної площі України. Площі меліорованих земель, які перебувають у незадовільному стані, загалом по Україні скоротилися на 105 тис. га. У незадовільному стані перебувають 771 тис. га зрошуваних земель, у тому числі через неприпустиму глибину рівня ґрунтових вод – 325 тис. га, засолення – 292 тис. га, одночасної наявності неприпустимої глибини рівня ґрунтових вод та засолення ґрунтів – 154 тис. га. Загальна площа засолених земель становить 18,4 млн га (19,9 % площі сільгоспугідь), у тому числі 25,6 млн га ґрунтів солонцевих комплексів. Площа орних засолених земель – 12,9 млн га [27].

Не кращі справи і в інших країнах; у США, наприклад, засоленню піддається близько 40 % зрошуваних земель. Таким чином, із 260 млн га зрошуваних у всьому світі земель до 100 млн га потребує проведення заходів щодо розсолу або захисту від засолення. Багато засолених земель занедбано. У всьому світі занедбаних через іригацію засолених земель в даний час більше

ніж зрошуваних, тому що при бездренажному зрошенні та без використання спеціального сівообміну 70–80% зрошуваних земель повністю або частково втрачають родючість. У ґрунтах під чорноземами практично повсюдно встановлено існування 3–5 стародавніх сольових і солонцюватих горизонтів, які свідчать про минулі зволоження цих територій. Тому переполив і втрати води з зрошувальних систем на глибоке просочування – це основна проблема зрошуваних чорноземів. Підйом рівня ґрунтових вод до 2–2,5 м від поверхні призводить до швидкого засолення ґрунту та виходу його із земельного орного фонду.

У наш час вважається, що найбільш ефективним вирішенням проблеми засолення ґрунтів є хороший дренаж, який дозволяє опустити рівень ґрунтових вод набагато нижче за рівень залягання коренів. При цьому іригаційна вода вимиває солі з верхнього шару ґрунту, відновлюючи його родючість.

Нещодавно група біологів з університету Торонто запропонувала ще один можливий шлях вирішення проблеми засолення ґрунту. Вони виявили ген, який дозволяє рослинам не лише протистояти граничній засоленості, а й «висмоктувати» сіль із ґрунту. За словами керівника групи вчених Блумвальда, їхньою метою була розробка методів вирощування врожаїв на землях, які більше не використовуються через засолення. Якщо вдасться отримати більш активний варіант гена, вирощування рослин на засолених ґрунтах дозволить відновлювати родючість цих земель.

Порушення екологічного балансу. Історія Аральського моря

Мільйони років тому північно-західна частина сучасного Узбекистану та південні області Казахстану були вкриті величезним морем. Коли вода відступила, утворився великий масив дуже засолених ґрунтів. Один із залишків древнього моря і став Аралом, четвертим у світі внутрішнім морем. Аральське море є внутрішнім солоним морем без стоку води. Живиться за рахунок двох річок – Амудар'ї та Сирдар'ї. Прісна вода з цих двох річок підтримує рівень води та соляний баланс Аральського моря.

На початку 60-х років ХХ століття уряд узяв курс на перетворення Радянського Союзу на державу, яка зможе повністю забезпечити себе бавовною. Вирішили також збільшити виробництво рису. Урядовці наказали, щоб додаткову кількість води отримували з двох річок, що впадають в Аральське море. На обох річках були побудовані великі греблі, прокладено 850 миль центрального каналу із системою «живлення» каналів, розрахованої на великі відстані. Коли систему зрошення було завершено, мільйони гектарів з обох боків основного каналу було затоплено. Протягом наступних 30 років Аральське море досягло серйозного зниження води, його береги відступили, а вміст солі зріс. Морське середовище стало загрожувати життю морських рослин та тварин. Як тільки морське життя зійшло нанівець, почала відчувати труднощі й рибна промисловість.

Радянська система була заснована на будівництві серії гребель на двох річках. Мета була одна – створити водосховище, канали якого (завдовжки 40 000 км) зрошували б поля. Поля процвітали, але наявність таких великих площ монокультури змушувало фермерів використовувати дуже багато

пестицидів. А іригація була така, що солі виступили на поверхню ґрунту і дедалі більше накопичувалися.

Коли на Амудар'ї поблизу Нукуса було збудовано Тахіаташську греблю, вода в руслі річки пересохла на сотні кілометрів навколо. На подив жителів Муйнака Арал почав скорочуватися. Спочатку вони припустили, що це тимчасове явище, і рили канал до берега, що віддаляється, оскільки човни продовжували курсувати, а в доках, на причалах кипіла робота. Але стічні води, що досягають моря, вже були отруєні смертельною сумішшю солі та пестицидів з бавовняних полів. Населення риб різко скоротилося і, нарешті, коли канал досяг 30-ти кілометрової довжини, і море ще більше пішло, човни стали нагадувати великих чудовиськ, що лежали на піску, який колись був морським дном.

Арал був багатий на рибу. Біологи визначили близько 20 видів риби, у тому числі осетрових та сома. Муйнак, розташований біля моря, був промисловим містом, що також приваблювало туристів. Сьогодні Муйнак – пустельний місто, розташоване на відстані понад сто кілометрів від моря. Єдиним нагадуванням про колись процвітаючий рибний промисел є іржаві кістяки і стародавня рибна плантація. Море скоротилося до двох п'ятих від свого колишнього розміру, і зараз перебуває на 10-му місці у світі. Рівень води впав на 16 метрів, а його обсяг зменшився на 75 %, що еквівалентно кількості води в озерах Ері та Гурон. Екологічні наслідки були руйнівними, а економічні, соціальні та медичні проблеми у регіоні катастрофічні. Всі 20 відомих видів риб у басейні Аральського моря нині зникли, їм не вдалося вижити в токсичному та засоленому середовищі.

Зміни в одному регіоні часто спричиняють зміни екології та клімату в інших регіонах. Ось деякі результати висихання Аральського моря: оскільки вода з річок йшла на полив бавовняних полів, концентрація солі в морській воді значно підвищилася. Оскільки з річок було вилучено дуже багато води, рівень моря знизився більш ніж 60%. Запаси питної води скоротилися. Через те, що у господарствах даної галузі використовувалися деякі високотоксичні пестициди та інші шкідливі хімічні речовини, вода була забруднена пестицидами, сільськогосподарськими хімікатами, а також бактеріями та вірусами. Протягом десятиліть ці хімікати зливались до Аральського моря.

Озера і моря мають пом'якшувальну дію на клімат. Іншими словами, земля поруч із джерелом води тепліша взимку і прохолодніше влітку, ніж земля, де немає водойм. Але оскільки Арал втратив воду, клімат став різко континентальним.



а)

б)

Рисунок 10.2 – Розміри Аральського моря (фото до та після будівництва системи зрошування для вирощування бавовни):
а – червень-вересень 1969 року; б – серпень 2003 року

Так тисячолітній спосіб життя людей у цьому регіоні зник протягом десятиліть. Величезна площа висушеного моря вкрита пестицидами, тому, коли дме вітер, заповнені бурі поширюють солі та токсичні речовини на сотні, якщо не на тисячі кілометрів навколо. Згідно з оцінками, щорічно на Центральну Азію обрушуються 75 млн. тон токсичних солей та пилу. Якщо Аральське море висохне повністю, після нього залишиться 5 млрд. тон солі.

10.4 Оптимізація землеробства та іригаційних систем

Традиційне вирощування сільськогосподарських культур поступово здає позиції, тому будівництво іригаційних систем рано чи пізно піде іншим шляхом. Наприклад, хороші результати показує гідропоніка як розумна та високотехнологічна альтернатива звичайному городу. Цим способом можна отримати рекордно високі врожаї на порівняно малій площі, та й води при цьому потрібно набагато менше [28–29].

Примітивний полив рослин передбачає великі втрати вологи за рахунок випаровування. Відкриті канали та водосховища втрачають мільйони тонн прісної води – вона буквально випаровується в атмосферу. В той же час, прикореневий краплинний полив рослин дозволяє суттєво знизити втрати води, і цим необхідно користуватися, адже навіть вартість доставки прісної води неухильно зростає.

Зрошення ґрунту потребує великої кількості ресурсів (у тому числі водних, енерговитрат, сільськогосподарської техніки, робочої сили). Тим не менш, їх використання при іригації має бути раціональним та доцільним.

Шляхи оптимізації іригації:

- підвищення вологоутримуючої здатності ґрунту;

- зниження розтріскування ґрунту шляхом додавання органічних субстратів;
- закріплення ґрунту рослинами з сильною кореневою системою;
- попередження засолення ґрунту достатнім дренажем, а алкалінізації – додаванням гіпсу;
- використання багаторічних культур при сівозміні для підвищення вологоутримуючих властивостей ґрунту;
- не допускати переущільнення ґрунту;
- зменшення випаровування вологи;
- захист поля лісонасадженнями і тим самим зниження випаровування вологи через сильні вітри;
- необхідно рідше розпушувати ґрунт;
- застосування мульчування;
- висадження покривних культур;
- встановлення підземного поливу.

Оптимізація витрат водних ресурсів:

- розглянути альтернативні варіанти джерела водних ресурсів для зрошення полів (збирання дощової води, у тому числі для крапельного поливу);
- по можливості використовувати перероблену / очищену стічну воду;
- подавати воду безпосередньо до рослин – встановлення наземної чи підземної системи крапельної іригації;
- відстеження необхідності проведення поливу;
- контролювання витрати води;
- слідкування за прогнозами погоди та очікуваними опадами;
- поєднання іригації з внесенням добрив (краплинна фертигація).

Системи іригації популярні у всьому світі: вони значно полегшують фермерську працю та знижують витрати. Але навіть одноразова відсутність своєчасного поливу може занепасти весь урожай. Постійно контролювати ситуацію – досить складне завдання, але його виконання можливо успішно доручити спеціалізованим агроплатформам та додаткам.

Точне землеробство і точна іригація зокрема дозволяє економити цінні ресурси і при цьому не допускати дефіциту вологи, життєво важливої для зростання культур. Як правило, в іригаційних системах поливу у фермерських господарствах використовуються сенсори на полях – погодні та ґрунтові контролери.

Погодний контролер визначає необхідність зрошення по випаровуванням з поверхні рослин та ґрунту, а для більшої точності аналізує погодні умови. Залежно від принципу роботи виділяють кілька різновидів погодних контролерів. Подача води в них здійснюється:

- за сигналом через бездротове з'єднання;
- за заздалегідь запрограмованою схемою з урахуванням історичних даних;
- за графіком, що ґрунтується на локальних погодних умовах.

Ґрунтовий сенсор вимірює вологість ґрунту в прикореневій зоні та передає дані на контролер. Іригація проводиться:

– за розкладом – полив включається та вимикається у встановлений час. Крім того, подача води припиняється, якщо сенсор визначає, що вологи у ґрунті достатньо;

– без розкладу – іригація відбувається за потребою. Додатково встановлюються час, день та контрольні рівні вологості (мінімальний та максимальний), коли полив відповідно вмикається та вимикається.

Сенсори – не єдиний спосіб отримати інформацію про рівень вологості на полях. Альтернативним та менш витратним варіантом є супутникові знімки. Нова функція *Crop Monitoring* аналізує вологість ґрунту і дозволяє фермерам вчасно отримувати повідомлення про очікувані посухи або підтоплення. Крім того, точний прогноз погоди на 14 днів дає змогу планувати польові роботи найефективніше. Так, наприклад, не потрібно проводити іригацію чи вносити добрива перед дощем. Таким чином, фермер заощаджуватиме ресурси і сприятиме захисту навколишнього середовища, оскільки не допустить, щоб пестициди та хімікати змивалися з рослин під час небажаних злив.

EOS Crop Monitoring пропонує багато корисних функцій, зокрема графіки опадів та погодних умов. Користувач може аналізувати значення накопичених опадів та визначати рівень вологості на конкретному полі. Таким чином, він приймає надійні рішення щодо необхідності проведення іригації та коригує час проведення польових робіт залежно від метеорологічних явищ. Це дозволяє уникнути надмірної або, навпаки, недостатньої іригації.

Функція Зонування розбиває поле на зони за рівнем продуктивності. Отримана інформація, а також дані вегетаційних індексів допомагають фермеру ефективно впроваджувати системи краплинного зрошення та, таким чином, економити час та ресурси.

В результаті може бути складений та реалізований максимально ефективний план іригації.

Фермери отримують точні звіти в реальному часі та тримають ситуацію під контролем, а *Crop Monitoring* відстежує стан зволоження поля. Управління системами зрошення за допомогою онлайн інструментів забезпечує максимум прибутку з найменшими витратами.

Контрольні питання

1. Для чого потрібні іригаційні гідротехнічні споруди? Наведіть класифікацію іригаційних гідротехнічних споруд.
2. Наведіть принцип дії та призначення зрошувальних систем, їх класифікацію.
3. У чому полягають основні переваги крапельного зрошення?
4. Які наслідки має неправильне зрошення земель? Які заходи необхідні запроваджувати для зменшення негативного впливу зрошувальних систем на навколишнє середовище?
5. У чому полягає оптимізація землеробства та іригаційних систем?

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Соколов В. І. Гідравліка : навч. посібник / В. І. Соколов, О. С. Кроль, О. В. Єпіфанова. – Сєвєродонецьк : Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2017. – 160 с.
2. Інженерна гідравліка = Engineering hydraulics : навч. посібник / Донбас. нац. акад. буд-ва і архітектури ; [уклад.]: В. І. Нездоймінов [та ін.]. – Донецьк : Ноулідж, Донец. вид-ня, 2014. – 252 с.
3. Науменко І. І. Гідравліка : Підручник / І. І. Науменко. – Рівне : НУВГП, 2005. – 475 с.
4. Левицький Б. Ф. Гідравліка. Загальний курс / Б. Ф. Левицький, Н. П. Ленін. – Львів : Світ, 1994. – 264 с.
5. Справочник по гидравлике / В. А. Большаков, Ю. М. Константинов, В. Н. Попов [и др.]. – [2-е издание]. – Київ : Вища школа, 1984. – 343 с.
6. Водомерные устройства на очистных сооружениях. Электронные текстовые данные. – Режим доступа : <http://www.bibliotekar.ru>, свободный.
7. Hydraulics. Hydraulic machines / E. Krasowski, I. Nicolenco, J. Gliński, A. Dashchenko, S. Sosnowski. – Lublin, 2011. – 350 p.
8. ДБН В.2.4-20:2014 Греблі з ґрунтових матеріалів. Основні положення. Електронні текстові дані. – Режим доступу : https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/grebl_i_z_gruntovikh_materialiv/1-1-0-1749, вільний.
9. Плотины. Электронные текстовые данные. – Режим доступа : https://referatwork.ru/category/tehnologii/view/499594_plotiny, свободный.
10. Эксплуатационные наблюдения за состоянием плотин. Электронные текстовые данные. – Режим доступа : <http://svaika.ru/ekspluatatsionnie-nabliudeniya-za-sostoyaniem-plotin>, свободный.
11. Руководство по гидравлическим расчетам малых искусственных сооружений. – М. : Транспорт, 1967. Электронные текстовые данные. – Режим доступа: <http://www.infosait.ru>, свободный.
12. Искусственные сооружения на автомобильных дорогах. Электронные текстовые данные. – Режим доступа : <http://www.referat.ru>, свободный.
13. ДБН В.2.5–75: 2013 Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. Чинний. – Київ : Мінрегіон України, 2013. – 128 с.
14. Отстойники. Электронные текстовые данные. – Режим доступа: <http://eslovar.com.ua>, свободный.
15. Системы тонкослойного отстаивания. Электронные текстовые данные. – Режим доступа : <http://www.etek.ru>, свободный.
16. Гидроциклон. Электронные текстовые данные. – Режим доступа : <http://slovar.coolreferat.com>, свободный.
17. Водоснабжение, водоподготовка и очистка сточных вод. Электронные текстовые данные. – Режим доступа : <http://stringer46.narod.ru>, свободный.
18. Боковое водозаборное сооружение ковшового типа на р. Куршаб / Н. П. Лавров, А. И. Рохман, В. А. Биленко, Г. И. Логинов. – Киргизстан: ВЕСТНИК КРСУ. – № 4, 2002. Электронные текстовые данные. – Режим доступа : <http://www.krsu.edu.kg>, свободный.

19. Основы гидротехники. Электронные текстовые данные. – Режим доступа : <https://leg.co.ua/arhiv/generaciya/osnovy-gidrotehnik-4.html>, свободный.
20. Підконтрольна експлуатація обладнання насосних станцій : навчальний посібник / В. О. Панченко, В. Ф. Герман, О. В. Івченко та ін. ; за загальною редакцією В. О. Панченка. – Суми : Сумський державний університет, 2020. – 270 с.
21. Регулирование русла для целей защиты прибрежных территорий. Электронные текстовые данные. – Режим доступа : <http://kadastr.org/conf/2014/pub/prirresurs/regul-rusla-zashch.htm>, свободный.
22. Инженерная подготовка городских территорий. Регулирование русла рек. Электронные текстовые данные. – Режим доступа : https://studme.org/295267/stroitelstvo/regulirovanie_rusla, свободный.
23. Ирригационная система. Электронные текстовые данные. – Режим доступа : <https://goo.su/msG>, свободный.
24. Гидротехнические сооружения: виды и классификация. Электронные текстовые данные. – Режим доступа : <https://goo.su/wTS>, свободный.
25. Черемисинов А. Ю. Сельскохозяйственные мелиорации: Учебное пособие / А. Ю. Черемисинов, С. П. Бурлакин. – Воронеж: ФГОУ ВПО ВГАУ, 2004. – 247 с. ISBN 5-7267-0365-0.
26. Строительство ирригационных систем. Ирригационные системы: история появления и использование в современном мире. Электронные текстовые данные. – Режим доступа : <https://petryashin.ru/stroitelstvo-irrigacionnyh-sistem-irrigacionnye-sistemy-istoriya/>, свободный.
27. Земельные ресурсы мира и проблемы экологии. Земельные ресурсы Украины. Электронные текстовые данные. – Режим доступа : https://vuzlit.ru/1332101/zemelnye_resursy_ukrainy, свободный.
28. Ирригация полей: системы орошения и их применение. – Электронные текстовые данные. – Режим доступа : <https://eos.com/ru/blog/irrigacziya/>, свободный.
29. Строительство ирригационных систем. Ирригационные системы: история появления и использование в современном мире. – Электронные текстовые данные. – Режим доступа : <https://petryashin.ru/stroitelstvo-irrigacionnyh-sistem-irrigacionnye-sistemy-istoriya/>, свободный.
-

Навчальне видання

ШЕВЧЕНКО Тамара Олександрівна

СПЕЦІАЛЬНІ ПИТАННЯ ГІДРАВЛІКИ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

*(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
всіх форм навчання спеціальності
194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології)*

Відповідальний за випуск *Г. І. Благодарна*
За авторською редакцією
Комп'ютерне верстання *Т. О. Шевченко*

План 2021, поз. 211Л

Підп. до друку 24.12.2021. Формат 60 × 84/16.
Електронне видання. Ум. друк. арк. 6,1.

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.
Електронна адреса: office@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 5328 від 11.04.2017.