

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

О. Л. Пальченко

ВІДНОВЛЕННЯ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД
КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

*(для здобувачів першого (бакалаврського)
рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання
зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія)*

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2026

Пальченко О. Л. Відновлення гідротехнічних споруд : конспект лекцій для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія / О. Л. Пальченко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2026. – 197 с.

Автор

канд. техн. наук, доц. О. Л. Пальченко

Рецензенти:

О. І. Вайнберг, доктор технічних наук, професор, академік (ПРАТ «УКРГІДРОПРОЕКТ», м. Харків);

А. О. Мозговий, доктор технічних наук, доцент, професор кафедри геотехніки, підземних споруд та гідротехнічного будівництва (Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова)

Рекомендовано кафедрою геотехніки, підземних споруд та гідротехнічного будівництва, протокол № 6 від 27.11.2025

Конспект складений з метою допомогти студентам будівельних спеціальностей вишів під час підготовки до занять та заліків з дисципліни «Відновлення гідротехнічних споруд».

© О. Л. Пальченко, 2026

© ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2026

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 ХАРАКТЕРИСТИКА ГІДРОТЕХНІЧНОЇ СПЕЦІАЛЬНОСТІ	6
1.1 Загальні положення	6
1.2 Профіль гідротехнічної спеціальності	7
2 ВОДНІ РЕСУРСИ ТА ЇХНЄ ВИКОРИСТАННЯ	13
2.1 Водні ресурси	13
2.2 Розподіл водних ресурсів	17
3 ЕТАПИ ГІДРОТЕХНІЧНОГО БУДІВНИЦТВА	18
3.1 Гідротехнічне будівництво у стародавні часи	18
3.2 Сучасне гідротехнічне будівництво	18
4 ВОДНІ ОБ'ЄКТИ, ЇХНЯ ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА ОХОРОНА	22
4.1 Водні об'єкти і процеси, що в них протікають	22
5 ВОДНЕ ГОСПОДАРСТВО	34
5.1 Основні складові водного господарства	34
6 ОХОРОНА ВОДНИХ РЕСУРСІВ	38
6.1 Рациональне використання природних ресурсів	38
6.2 Наслідки створення гідротехнічних об'єктів	43
7 РІЧКОВІ ГІДРОТЕХНІЧНІ СПОРУДИ. ГІДРОВУЗЛИ	45
7.1 Призначення гідротехнічних споруд	45
7.2 Гідровузли комплексного призначення	52
8 ГРЕБЛІ	54
8.1 Загальні вимоги	54
8.2 Греблі з ґрунтових матеріалів	57
8.3 Греблі зі штучних матеріалів	59
8.4 Водоскидні греблі	63
8.5 Берегові водоскиди	65
8.6 Затвори та підйомники	68
8.7 Водоприймачі	70
8.8 Водоводи	78
8.9 Водосховища	88
8.10 Рибопропускні споруди	91
9 ВОДНИЙ ТРАНСПОРТ	96
9.1 Історія водних шляхів і водного транспорту	96
9.2 Способи перевезення вантажів та типи суден	97
9.3 Річки в їхньому природньому стані та поліпшення їхніх суднохідних умов	99
9.4 Суднопропускні споруди	101
9.5 Міжбасейні воднотранспортні з'єднання	104
9.6 Порти	104
9.7 Причальні споруди	107
10 ІНЖЕНЕРНІ МЕЛІОРАЦІЇ ТА ВОДОПОСТАЧАННЯ	110
10.1 Інженерні меліорації сільськогосподарських земель	110
10.2 Осушення і захист територій	114

10.3 Боротьба з зсувами та захист берегів	118
11 ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА ВОДОВІДВЕДЕННЯ	122
11.1 Водопостачання	122
11.2 Водовідведення (каналізація).....	125
11.3 Водопостачання промислових підприємств та електростанцій...	126
12 АВАРІЇ Й ПОШКОДЖЕННЯ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД ТА ЇХНЄ ВІДНОВЛЕННЯ	132
12.1 Загальні положення	132
12.2 Пошкодження та аварії ґрунтових гребель	133
12.3 Пошкодження та аварії бетонних та кам'яних гребель	136
12.4 Ушкодження водоскидів та механічного обладнання	139
12.5 Ушкодження та аварії інших споруд	142
12.6 Ремонт пошкоджень на гребнях та укосах ґрунтових споруд.....	145
12.7 Усунення підвищеної фільтрації через ґрунтові греблі, основи та берегові примикання	152
12.8 Ремонт протифільтраційних елементів	154
12.9 Ремонт дренажних систем ґрунтових споруд	160
12.10 Усунення загальних та місцевих пошкоджень бетонних масивних споруд	164
12.11 Усунення протікань через шпонки, шви, тріщини та відновлення водонепроникності та міцності бетону	167
12.12 Проведення ремонтних робіт у нижньому б'єфі гідротехнічних споруд	174
12.13 Особливості ремонту тунельних та трубчастих споруд	178
12.14 Особливості ремонту гідротехнічних споруд гідромеліоративних систем	181
12.15 Реконструкція ґрунтових гребель	185
12.16 Реконструкція бетонних гребель	188
12.17 Особливості реконструкції водоскидів, водозаборів, відстійників, магістральних каналів	193
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ	196

ВСТУП

Програму вивчення варіативної навчальної дисципліни «Відновлення гідротехнічних споруд» складено відповідно до освітньої професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія.

Дисципліна «Відновлення гідротехнічних споруд» відноситься до циклу вибіркових дисциплін професійної підготовки.

Метою викладання навчальної дисципліни «Відновлення гідротехнічних споруд» є формування системи знань, пов'язаних з загальними відомостями про гідротехнічні і гідроенергетичні об'єкти різного призначення та основи їх проектування, будівництва та експлуатації.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми здобувачі вищої освіти повинні володіти певними компетентностями, серед яких: знання і розуміння предметної області та розуміння професії; здатність описувати будову об'єктів професійної діяльності, пояснювати їх призначення, принципи та режими роботи.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ГІДРОТЕХНІЧНОЇ СПЕЦІАЛЬНОСТІ

1.1 Загальні положення

Гідротехніка – одна з найскладніших галузей будівельного мистецтва. Складністю своєї вона зобов'язана залежності від природних і господарських умов – топографії та геології місця будівництва, гідрологічної характеристики річки, клімату, призначення вузла споруд, що будується. Поєднання даних умов настільки різноманітні, що кожен великий гідровузол – це сукупність гідротехнічних споруд, і він має компонуватися індивідуально, кожна споруда повинна проєктуватися стосовно місцевих умов для досягнення максимального економічного ефекту. Такий підхід приносить тут більше користі, ніж проєктування типових гідротехнічних споруд. До індивідуального проєктування розумно звертатися, маючи на увазі значні розміри, велику трудомісткість та високу вартість таких споруд, тривалість їхнього будівництва. У низці сфер гідротехніки будуються та експлуатуються численні невеликі споруди одноманітного призначення. Економічність цих споруд базується на правильному виборі їх типових розмірів та конструкцій. Зрозуміло, типи та конструкції гідроспоруд залежать і від технічної оснащеності суспільства, наукового рівня та досвіду спеціалістів. Тільки на основі досягнень епохи науково-технічної революції стало можливим проєктувати і будувати дійсно гігантські енергетичні споруди практично на будь-яких багатоводних річках земної кулі, повертати до життя шляхом зрошення зневоднені пустелі, з'єднувати судноплавними каналами річки цілого континенту, приборкувати річки, що приносять повені, за допомогою гідроспоруд використовувати невичерпну механічну енергію припливів, захищатися від морських повеней тощо.

Значення гідротехніки неможливо переоцінити. Все живе на Землі з'явилося з вод Світового океану та розвивається завдяки використанню води. Людське суспільство не могло б виникнути, досягти сучасної чисельності та рівня розвитку та оптимістично дивитися в майбутнє, якби не мало в своєму розпорядженні достатні для цього водні ресурси, тобто найбагатші джерела і запаси води.

Гідротехніка – це водна майстерність, у перекладі з давньогрецької – забезпечує людству можливість найбільш ефективно користуватися водними ресурсами та охороняти їх, захищатися від ексцесів водної стихії, піклуватися про оточуючу людину живу природу, яка також потребує використання води і не може бути її позбавлена.

Щоб досягти цієї комплексної мети, людям необхідно було вивчати водні ресурси та будувати спеціальні, тобто гідротехнічні, споруди для їхнього використання, освоювати та вдосконалювати цю галузь будівельного мистецтва (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Гребля Гувера, Гранд Каньйон, Аризона, США
(<https://www.getyourguide.com/uk-ua/las-vegas-l58/grand-canyon-west-hoover-dam-combo-tour-t113335/>)

У використанні водних ресурсів у тій чи іншій формі, у тому чи іншому обсязі зацікавлені практично всі галузі народного господарства. Зазвичай ці галузі розділяють на водоспоживачів і водокористувачів. Для задоволення потреб перших створюються системи господарсько-питного та комунального водопостачання та технічного водопостачання – для промислового та сільськогосподарського виробництва.

До водоспоживачів входять також системи зрошення та обводнення сільськогосподарських земель.

Для водоспоживачів водні об'єкти потрібні не тільки як джерела води, але і як місця прийому води, що брала участь у технологічних процесах і пройшла очищення. Для скидання цієї води служать системи водовідведення.

До другої групи галузей народного господарства – водокористувачів належать гідроенергетика, водний транспорт, включаючи лісосплав, рибне господарство та інші. Підприємства даних галузей не споживають воду безповоротно і практично не змінюють її властивостей.

1.2 Профіль гідротехнічної спеціальності

Відповідно до видів використання водних ресурсів змінюється профіль гідротехнічної спеціальності. Найважливіші з них: водопостачання та водовідведення (каналізація), гідромеліорація (зрошення та осушення), гідроенергетика, будівництво водних шляхів і портів, а також загальна спеціальність – гідротехнічне будівництво річкових споруд, однаково

орієнтована на будь-який різновид гідротехніки. Інженерна діяльність гідротехніків, крім розподілу за згаданими спеціальностями, поділяється також за видами роботи. Вони можуть брати активну участь у дослідженнях – гідрологічних та метеорологічних, топографічних та інженерно-геологічних, включаючи гідрогеологічні та сейсмологічні, та в інженерно-економічних дослідженнях. Результати цих досліджень, проведених гідротехніками спільно з фахівцями інших галузей науки і техніки, повинні дати всебічне уявлення про водні ресурси району, що вивчається, про мінливість стоку рік і про запаси води в озерах, про порівняльне багатство тих чи інших джерел, та їх забезпеченість. Дані дослідження дають також вичерпні відомості про умови будівництва – рельєф місцевості та властивості гірських порід, їх придатності як основи гідротехнічних споруд та містечка будівельників, про властивості ґрунтів як основний матеріал, з якого зводяться ґрунтові споруди. На основі отриманих даних з'ясовується і сучасна економічна характеристика району, можливі перспективи його господарського розвитку, обсяг споживання та використання водних ресурсів (рис. 1.2).



Рисунок 1.2 – Гребля Дворжак, США
(https://en.wikipedia.org/wiki/Dworshak_Dam)

Провідну роль грають гідротехніки у проєктуванні вузлів гідротехнічних споруд галузевого чи комплексного призначення, хоч і не обходиться без участі електриків, машинобудівників, корабелів, агрономів, архітекторів, економістів та інших фахівців. Проєктування ведеться в такій послідовності: спочатку вирішуються принципові питання, що впливають на обсяг робіт, терміни будівництва гідровузла та економічний ефект його експлуатації, включаючи його вплив на навколишнє середовище, яке може мати і негативні сторони. Намічається з використанням аналогів і зіставляється необхідна кількість варіантів – вододжерел, схем гідровузла, складу та типів споруд та обладнання,

способів виконання робіт. Приймається та затверджується проєктне рішення. Надалі проєкт деталізується за вибраним варіантом, компоновання та параметри споруд та обладнання уточнюються на основі відповідних розрахунків – продуктивності, міцності, стійкості, довговічності, економічності. Уточнюються на основі розрахунків та чинних норм тривалість етапів виконання робіт та терміни будівництва, потреба у матеріалах та парку будівельних машин, складається взаємопов'язаний для всіх об'єктів календарний план будівництва. Складається та затверджується кошторис та план фінансування робіт. Далі паралельно з будівництвом з необхідним випередженням виготовляються робочі креслення, якими поєднуються в реальні споруди, обладнання та технологічні процеси всі елементи розробленого проєкту (рис. 1.3).



Рисунок 1.3 – Дністровська ГАЕС, р. Дністер, Україна
(https://uhe.gov.ua/media_tsentr/novyny/chomu-ges-i-gaes-neobkhidni-energetichniy-sistemi-kraini)

Основний вид роботи гідротехніків – це будівництво. Хоч би яку діяльність обрав гідротехнік, для успіху його роботи необхідно мати будівельний досвід. Особливо це важливо для проєктувальників. Гідротехніки на будівництві працюють разом з монтажниками електричного, гідросилового та механічного обладнання (турбін, насосів, затворів, обладнання шлюзів та суднопідйомників) та представниками багатьох інших спеціальностей. Різновиди робіт на будівництві численні – це земляні та скельні виїмки, розробка кар'єрів, насипу та намивання різних ґрунтів у споруди, проходка тунелів, бетонні та залізобетонні роботи на землі та підземні, буріння свердловин та нагнітання розчинів в основу споруд (зокрема, цементація) з метою підвищення міцності та щільності та зниження деформативності порід.

Гідротехніки будують також промислові та цивільні будівлі, дороги, мости та інші споруди, що належать до гідровузла. Особливістю роботи гідротехніків є спорудження там, де безперервно тече річка, тобто необхідність відводити води річки у бік на той час, поки в природному руслі ведуться роботи під захистом перемищок – невеликих часових гребель.

Гідротехніки працюють і на експлуатації гідровузлів спільно з електриками, механіками. Хоча керують роботою гідровузла енергетики чи працівники водного транспорту та сільськогосподарських об'єднань, робота гідротехніків теж складна та відповідальна. Вони ведуть спостереження за станом і функціонуванням величезних споруд і потужного обладнання, проводять їх профілактичний і капітальний ремонт, здійснюють реконструкцію у зв'язку з прогресом техніки. Варто пам'ятати, що аварія на гідротехнічних спорудах, особливо на напірних, таких як греблі, шлюзи, гідроелектростанції, може мати катастрофічні наслідки, включаючи загибель людей (рис. 1.4).

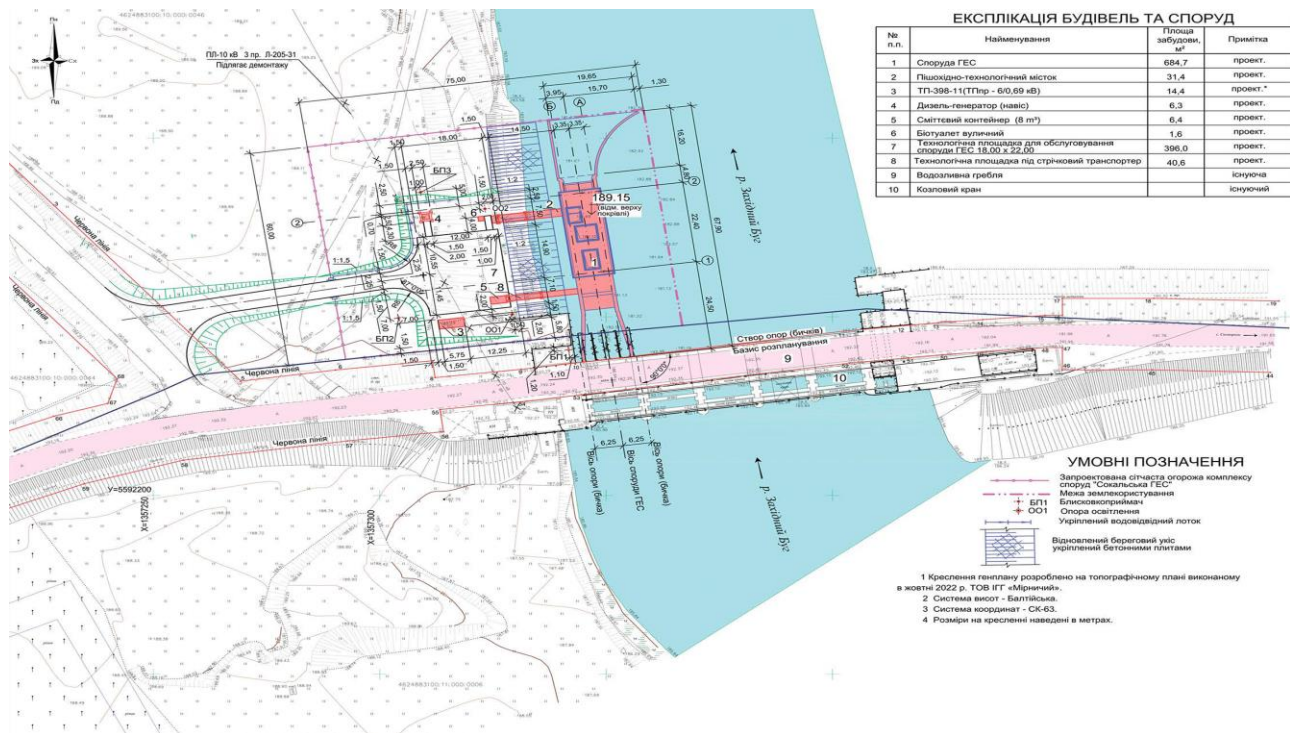


Рисунок 1.4 – Сокальська ГЕС на річці Південний Буг, Україна
 (<https://eprints.kname.edu.ua/73268/1/%D0%A0%D1%8F%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B2%20%D0%92.%D0%92.pdf>)

Не останнє місце займають у гідротехніці наукові дослідження, тематика яких є достатньо широкою, а ефективність пропорційна величині та трудомісткості споруд. Дослідження супроводжують дослідження, підвищуючи точність вихідних даних для проекту, забезпечуючи прогноз поведінки водотоку, стану русла і берегів, сусідніх об'єктів живої та мертвої природи. У процесі проектування споруд дослідження потрібні на вирішення нових технічних завдань, які постають у кожному черговому проекті. Наприклад, гідравлічні дослідження уточнюють питання, пов'язані з протіканням води

через водопропускні споруди, а також питання фільтрації в основі споруд та у ґрунтових напірних спорудах. В результаті дослідження міцності матеріалів (бетону, сталі, дерева, полімерів) та конструкцій з них досягається економічність споруд при збереженні надійності. На основі дослідження ґрунтів та гірських порід забезпечуються необхідні якості основ споруд та самих споруд, що зводяться із ґрунтів. Теплотехнічні дослідження дозволяють прогнозувати температурний режим, а отже, напружений стан і міцність масивних бетонних споруд, передбачати зимовий режим у водосховищах і водотоках (льодостав, утворення шуги), танення вічної мерзлоти після будівництва гідровузла.

Аналогічні дослідження проводяться і в процесі будівництва, до них додаються дослідження технології різних видів робіт – земельно-скельних, буровибухових, бетонних і залізобетонних, асфальтобетонних. Надалі під час експлуатації гідротехніки-дослідники допомагають вивчати стан споруд, що дозволяє коригувати теоретичні положення, що обґрунтовують проєкт, створюють нові методи розрахунку, надійно підтверджені досвідом експлуатації.

Вивченню спеціальних курсів, присвячених гідротехнічним спорудам різного призначення, передують багато загальнотеоретичних і загальнотехнічних дисциплін, без знання яких спеціальні курси вивчати неможливо. До таких дисциплін, що вивчаються студентами відносяться, зокрема, геодезія, нарисна геометрія, теоретична механіка, будівельні матеріали, та гідрогеологія, механіка ґрунтів, основи та фундаменти, будівельні конструкції, архітектура, гідравліка, гідрологія, основи ВІМ (рис. 1.5).



Рисунок 1.5 – ВІМ модель Дніпровської ГЕС, Україна
(<https://uhp.kharkov.ua/projects/dnipro-hpp-uhp-ua>)

Розумінню та запам'ятовуванню основних положень цих загальнотехнічних дисциплін багато в чому сприяє ясне уявлення про те, як ці положення реалізовуватимуться в майбутній інженерній діяльності, а також у

процесі навчання – у курсових проєктах із спеціальних дисциплін та дипломного проєкту. Найбільш повно це може бути розкрито, якщо: по-перше, використовувати гідротехнічні споруди як об'єкти застосування основ загальнотехнічних дисциплін (у прикладах розрахунків, графічних та курсових роботах), по-друге, знайомити здобувачів вищої освіти із цими спорудами завчасно.

Таким чином, основним призначенням курсу «Основи гідротехнічного будівництва» є: заздалегідь ознайомити студентів з основними об'єктами їхньої майбутньої діяльності – гідротехнічними спорудами – та зробити знайомими та зрозумілими без додаткових пояснень об'єкти застосування теорій, що вивчаються у загальнотехнічних дисциплінах. Крім того, попереднє знайомство з гідроспорудами у курсі «Основи гідротехнічного будівництва» полегшує вивчення спеціальних курсів, а також входження до курсу робіт, що виконуються на будівництві.

Контрольні запитання

1. Дати загальну характеристику гідротехнічної спеціальності.
2. Описати види використання водних ресурсів, в залежності від яких змінюється профіль гідротехнічної спеціальності.
3. Описати наукові дослідження у гідротехніці.

2 ВОДНІ РЕСУРСИ ТА ЇХНЄ ВИКОРИСТАННЯ

2.1 Водні ресурси

Водними ресурсами називають воду джерел та водойм, яка може бути використана людиною для тієї чи іншої мети. Загальна кількість води в гідросфері, тобто на поверхні землі і на доступній глибині під поверхнею, оцінюється в 1 400–1 500 млн км³, переважно це вода морів і океанів. Об'єм води суходолу становить приблизно 90 млн км³, головні складові цього об'єму – це підземні води (60 млн км³) та вода льодовиків (29 млн км³ – Арктика, Антарктика, Гренландія та ін.). У цьому балансі на озера падає 750 тис. км³, ґрунт містить 75 тис. км³ води. У річках тече в кожен момент часу всього 1 200 км³ води, в живих організмах води (біологічної) 50 км³. В атмосфері (що не входить у поняття гідросфери) обсяг води становить 13–15 тис. км³. Між гідросферою та атмосферою відбувається безперервний обмін об'ємами води: вода випаровується з поверхні як суші, так і морів і повертається назад у вигляді опадів. Протягом року цей обсяг становить 520 тис. км³, тобто обмін відбувається у середньому 40 разів щорічно. При цьому частку суші припадає 109 тис. км³ опадів і 72 тис. км³ випарів, так що надлишок води виноситься річками в моря, де різниця опадів і випарів має зворотний знак.

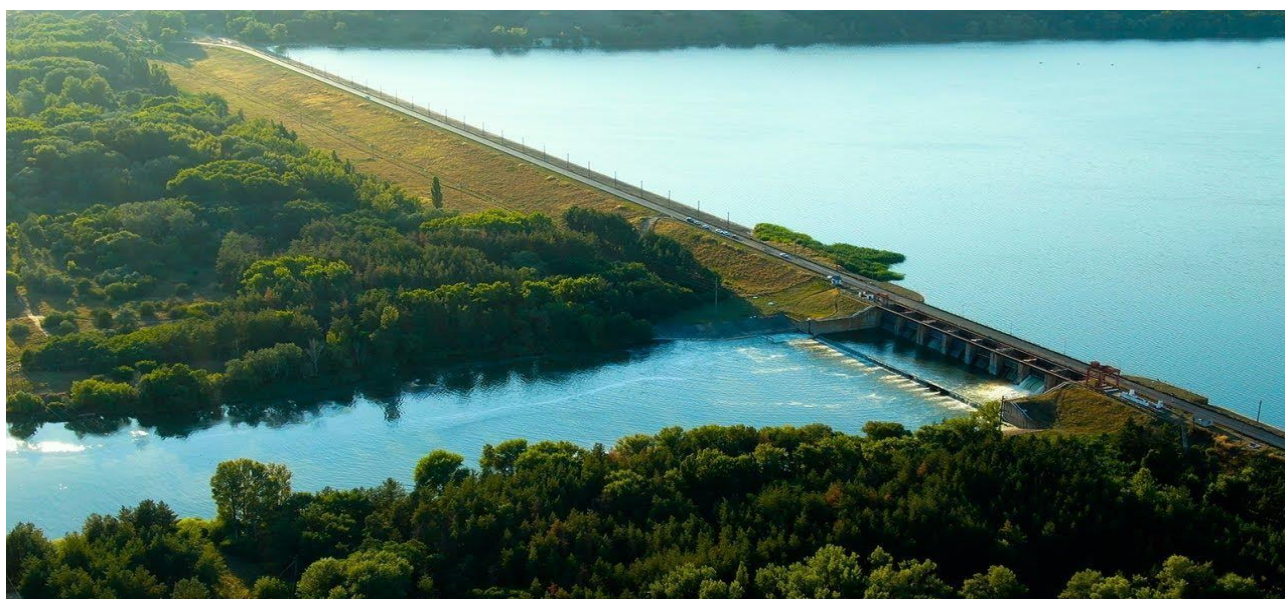


Рисунок 2.1 – Печенізьке водосховище. Гребля. Харківська обл., Україна
(фото з відкритих джерел)

Найбільший інтерес для гідротехніків, які займаються використанням водних ресурсів, представляють прісні поверхневі води *річок* та *озер*. Запаси води в *болотах* є достатньо малими, а її якість не задовольняє багатьох споживачів. Тому гідротехніки будують споруди на болотах не з метою

використання водних запасів, а з метою раціонального осушення території боліт і використання її в подальшому в сільському господарстві. Практичну цінність становлять і ґрунтові води. Лід льодовиків вимагає надто багато енергії, щоб перетворювати його на воду, і цей ресурс поки що не використовується, хоча висловлюються ідеї буксирування айсбергів від берегів Антарктиди в райони, де людина освоює безводні пустелі.

Використання водних ресурсів – поняття дуже багатогранне і гідротехніки різних спеціалізацій можуть трактувати його кожен по-своєму. Для гідроенергетики корисні ресурси річки полягають у її багатоводності у поєднанні з великим ухилом, що дозволяє отримати на гідроелектростанції електричну енергію завдяки потенційній енергії великих мас води під час переміщення з високих позначок на низькі. Кіловатами потужності ГЕС вимірює енергетик водні ресурси.

Для будівельника водних шляхів і річкових портів найбільший інтерес представляють річки з великою шириною і глибиною русла і малими швидкостями, а отже, з малим ухилом. Чим більшою є глибина річки, тим більшою може бути осадка суден та їх вантажопідйомність, й тим більшим може бути вантажообіг водного шляху (рис. 2.2). Велика ширина річки дозволяє суднам йти повним ходом, без затримок під час зустрічного руху. Великі плеси з великою глибиною дозволяють вибрати зручне місце для будівництва порту. Кілометрами водного шляху, тонно-кілометрами перевезень, тонами на рік вантажообігу портів вимірюють працівники транспорту водні ресурси річок.



Рисунок 2.2 – Канівський шлюз на річці Дніпро, Україна
(https://ukrris.com.ua/ris/hydraulic/status_and_shipping_locks_work.php)

Для будівельника морських портів багатими водними ресурсами є зручні бухти з достатніми глибинами, захищені від вітрових хвиль, льоду та наносів.

Витрати на днопоглиблення та будівництво захисних молів та хвилеломів у цьому випадку є мінімальними, а ефект такої роботи вимірюється квадратними кілометрами акваторії. Для будівельника глибоководних споруд для видобутку мінеральних ресурсів із підводних родовищ вода – це перешкода на шляху до видобування корисних копалин, яку потрібно долати.

Гідротехніків, що займаються зрошенням сільськогосподарських земель, цікавить багатоводність річки, можливість вилучити безповоротно частину її стоку.

Річка як джерело водопостачання теж має бути достатньо багатоводною, проте якщо водопостачання побудовано за оборотною системою, то вимога багатоводності відпадає; якщо за проточною системою, то до вимоги багатоводності додається можливість прийому в річку стічних вод, попередньо очищених від усіх видів забруднення – мінерального, органічного, бактеріального, радіоактивного, теплового та інших.

Комплексне використання водних ресурсів дозволяє забезпечити взаємне поєднання інтересів усіх водокористувачів і водоспоживачів і досягти загального вищого економічного ефекту в народному господарстві. Принцип комплексного використання водних ресурсів характеризує господарство України.

Зокрема, будівництво греблі на річці, необхідне для концентрації перепаду рівнів у зручному для гідроелектростанції місці, збільшує одночасно глибини у верхньому б'єфі, що корисно для судноплавства; при цьому виникає необхідність пропускати судна через шлюзи або суднопідйомники для подолання перепаду (рис. 2.3).

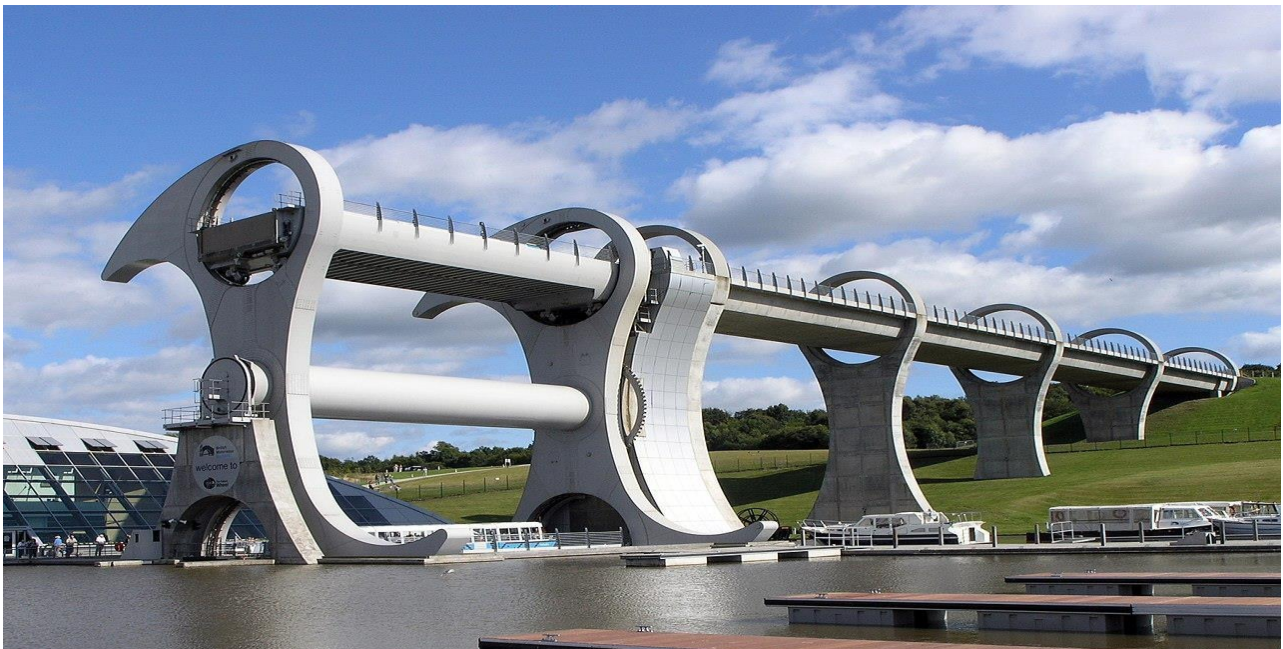


Рисунок 2.3 – Суднопідйомник Фолкирське колесо, Шотландія
(Fot. Sean Mack, CC BY-SA 3.0, via Wikimedia Commons)

З погляду енергетики нерівномірне електричне навантаження («піки» добового графіку навантаження) необхідно покладати на гідроелектростанції,

які можна швидко і з мінімумом втрат включати, змінювати їх потужність і зупиняти. Відповідно швидко коливається рівень води в річці нижче ГЕС за течією, що ускладнює роботу розташованих там систем зрошення та водопостачання, водного транспорту. Доводиться споруджувати нижче ГЕС водосховище (рис. 2.4), куди вода надходить від гідроелектростанції нерівномірно, а випускається постійним обсягом в одиницю часу, тому інтереси інших водокористувачів і споживачів не порушуються.

Варто зазначити, що загальним інтересам народного господарства слугує, зокрема, регулювання стоку річки, тобто перерозподіл обсягу стоку в часі по сезонах року і по роках з метою зробити його можливо більш рівномірним.



Рисунок 2.4 – Водосховище Мозенбоден, Австрія
(фото з відкритих джерел)

Для можливості регулювання стоку необхідно створення на річці перед греблею водосховища великого об'єму, щоб запасати в ньому воду під час повеней та паводків й витратити її в період межені. Водосховище водночас використовується для зменшення шкоди від повеней на частині річки нижче за греблю, якщо вони раніше там траплялися. Питання регулювання та розподілу стоку між споживачами вирішуються на основі спеціальних водогосподарських розрахунків.

Одним з основних положень водного господарства є бережне ставлення до водних ресурсів. Воно полягає у застосуванні економічно обґрунтованих норм водоспоживання, в організації оборотних систем водопостачання, дотриманні норм очищення стічних вод, що сприяє неодноразовому використанню водних ресурсів річки, перш ніж її стік потрапить у море.

2.2 Розподіл водних ресурсів

Розподіл водних ресурсів територією континентів є вкрай нерівномірним. Нерівномірним він є і за територією України. Нерівномірна забезпеченість водою характерна для європейської частини країни, причому її вплив на розвиток регіонів посилюється нерівномірним розподілом водоспоживачів за всією територією держави.

Свого часу виникла потреба в міжбасейновому і навіть міжрегіональному перекиданні стоку. Деякі з таких трудомістких і дорогих заходів вже реалізовано, низка інших планується.

Розпоряджаючись по-господарськи стоком річок, не варто забувати про природних водоспоживачів. Будівництво гідровузла та створення водосховища істотно впливає на режим річки та природну обстановку на її берегах, включаючи мікроклімат, що відображається на умовах існування представників тваринного та рослинного світу, підводного та наземного світів.

Побудова греблі перешкоджає міграції прохідних риб, тому для пропуску риби передбачаються у складі гідровузла рибопропускні споруди. У той же час більша площа водосховища сприятлива для місцевих риб. Ґрунтова вода по берегах водосховища впливає на склад трав'яної та деревної рослинності, зокрема культурних посівів та посадок, що варто враховувати (змінювання сортів рослин, способи обробки ґрунту) під час проектування.

Складність проблеми комплексного використання водотоків та водойм та транстериторіальний масштаб, який вона набуває, призвели до того, що для планомірного та найбільш ефективного використання поверхневих вод складено «Генеральну схему комплексного використання та охорони водних ресурсів», в якій на основі глибокого аналізу дано перспективний план порайонного та галузевого використання водних ресурсів, намічено заходи щодо очищення використаної води промислових та комунально-побутових стоків. У міру розвитку державного господарювання країни ця схема періодично уточняється та переробляється.

Контрольні запитання

1. Описати використання водних ресурсів у гідроенергетиці.
2. Описати використання водних ресурсів з точки зору зрошення сільськогосподарських земель.
3. Описати складність проблеми комплексного використання водотоків та водойм.

3 ЕТАПИ ГІДРОТЕХНІЧНОГО БУДІВНИЦТВА

3.1 Гідротехнічне будівництво у стародавні часи

Ймовірно, з колодязів, невеликих земляних гребель і ставків почала розвиватися така галузь гідротехніки як водопостачання, з того моменту, як тільки людина перейшла до осілого способу життя і стала займатися сільським господарством. Примітивні причали для човнів і переволоки стали тоді першими спорудами для водного транспорту.

Пізніше великі державні об'єднання древнього світу в Єгипті, Месопотамії, Індії, Китаї, у Середній Азії та в Закавказзі, що мали великі людські резерви, виявилися здатними створити і експлуатувати вельми трудомісткі споруди-греблі, канали для зрошення і водопостачання, інтенсифікації землеробства і тваринництва на берегах багатоводних рівнинних річок.

У Стародавній Греції та Римі споруджуються водопровід і каналізація, ведеться осушення боліт.

Низькі ділянки території нинішніх Нідерландів захищаються від морських повеней захисними дамбами.

На берегах і островах Середземного моря будуються порти.

Ніл з'єднують з Червоним морем судноплавним каналом.

Водяні млини – прообраз сучасних гідроенергетичних об'єктів – набули розвитку значно пізніше.

3.2 Сучасне гідротехнічне будівництво

На початку ХХ ст. експлуатувалися численні гідротехнічні споруди для водопостачання великих міст і промислових підприємств, для зрошення, для міжбасейнових водотранспортних з'єднань (Дніпро – Буг, Дніпро – Донбас, Дніпро – Неман).

У 30-х та 40-х роках ХХ століття гідротехніка, особливо гідроенергетика, отримують в Україні потужний розвиток. Побудована Дніпровська ГЕС, 560 МВт (1932). Поліпшилося судноплавство Дніпром (пороги були затоплені підпором греблі Дніпрогес), створено нові зрошувальні системи. Під час будівництва перших великих ГЕС інженери користувалися консультаціями іноземних фахівців зі Швеції, США, Італії, наприкінці 30-х років у цьому не було потреби.

З 1944 року, а потім у післявоєнний період починається відновлення зруйнованих, пошкоджених, демонтованих гідроелектростанцій.

Великим кроком у розвитку гідротехніки в Україні є будівництво Дніпровського каскаду, що має комплексне народногосподарське призначення і повністю використовує ресурси більшості великих річок європейської частини країни.

Будуються великі канали для перерозподілу стоку річок, підведення води до посушливих і пустельних районів країни, як, наприклад, Дніпро – Донбас (рис. 3.1), Південно-Український та Північно-Кримський (з Дніпра).



Рисунок 3.1 – Ділянка каналу Дніпро – Донбас, Харківська обл., Україна
(<https://www.photoukraine.com/ukrainian/articles?id=26>)

Основними напрямками економічного та соціального розвитку планується будівництво нових ГЕС комплексних гідровузлів (верхньо Дністровський каскад), у поєднанні з водним транспортом, зрошенням, боротьбою з повенями. У європейській частині країни намічено будувати гідроакумуючі електростанції, що працюють поперемінно в режимі ГЕС та насосної станції, з метою підвищення ефективності роботи всіх електростанцій єдиної енергетичної системи України. Не варто забувати також про енергетичні ресурси малих річок. Продовжуються дослідження доцільності проектування і будівництва в Україні припливних гідроелектростанцій (ПЕС).

На сьогодні прийнято Енергетичну програму розвитку, в якій відображено основні положення розвитку енергетики на найближчу та тривалу перспективу.

Великий внесок у розвиток матеріально-технічної бази агропромислового комплексу повинні зробити гідротехніки-меліоратори, вводячи в експлуатацію додатковий земельний фонд шляхом зрошування, осушування та обводнення територій.

Не менш багаті перспективи водно-транспортного будівництва на усіх великих річках України, будівництво річкових та морських портів (рис. 3.2), введення в експлуатацію морських промислів на континентальному шельфі тощо.



Рисунок 3.2 – Порт «Південний», Одеська обл., Україна
(<https://www.port-yuzhny.com.ua/>)

Подальший потужний розвиток можуть отримати водопостачання та зрошення – отже, невикористаних джерел для цього достатньо. Але, ймовірно, найбільш суттєвий якісний і кількісний стрибок повинен відбутися у водовідведенні, що включає, природно, очищення використаних стічних вод. Наша країна багата на водні ресурси, хоча вони і нерівномірно розподілені за її територією, і саме це не стимулювало розвиток цієї важливої галузі гідротехніки. Де води мало, а потреба в ній є великою, там стік річок не потрапляє в море, не будучи багаторазово взятим, використаним, очищеним і повернутим в річку для нового використання.

Одночасно в більшому масштабі будуть вирішуватися питання осушення зволжених і заболочених територій, а також осушення копалень і вугільних шахт. Рибне господарство, розведення водоплавних птахів та тварин потребує своїх гідротехнічних споруд.

Для боротьби з частими та руйнівними повеннями під час паводків на

річках зарегульовано стік і побудовано гідровузли, які дозволять залучити до господарського використання найбагатші природні ресурси даних районів (рис. 3.3).

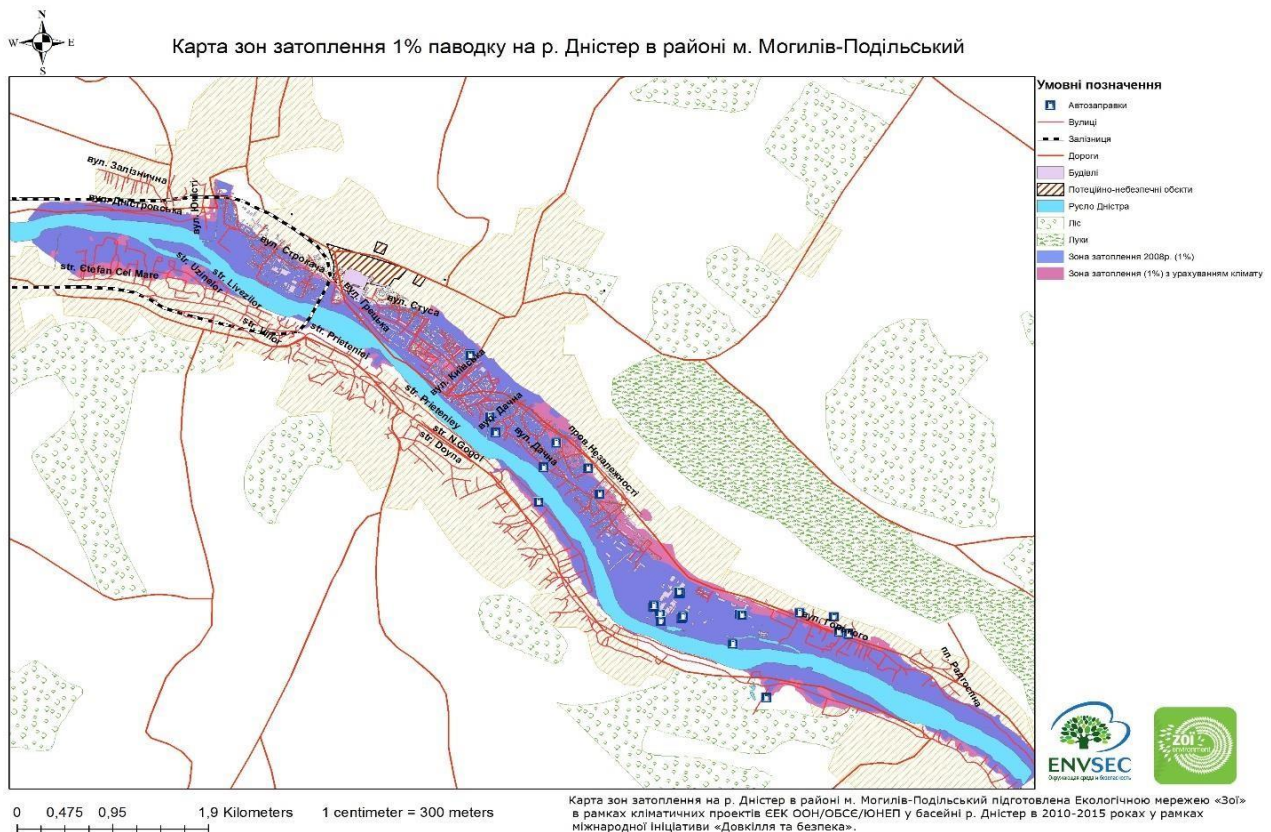


Рисунок 3.3 – Карта зон затоплення на р. Дністер, Україна
(<https://www.flickr.com/photos/zoienvironment/albums/72157664338002280/>)

На багатьох водотоках і водоймах у сприятливих кліматичних умовах розвивається гідротехніка, пов'язана зі зведенням санаторно-рекреаційних зон та спортивних споруд.

Контрольні питання

1. Описати етапи гідротехнічного будівництва в стародавні часи.
2. Описати перспективи і задачі гідротехнічного будівництва в наші часи.

4 ВОДНІ ОБ'ЄКТИ, ЇХНЯ ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА ОХОРОНА

4.1 Водні об'єкти і процеси, що в них протікають

Використання водних ресурсів та будівництво гідротехнічних споруд неможливо без знання явищ і процесів, що виникають і протікають у водних об'єктах. Ефективність роботи збудованих гідротехнічних споруд та їх надійність залежать від того, наскільки докладно вивчений водний об'єкт та чи правильно використані отримані про нього відомості при складанні проекту. Неможливо стати хорошим інженером-гідротехніком, не навчившись збирати відомості про водний об'єкт, де варто будувати гідротехнічну споруду, не набувши досвіду кваліфікованого їх аналізу та отримання розрахункових характеристик, від яких залежать типи конструкцій та розміри споруди. Аварії гідротехнічних споруд значною частиною відбуваються через недостатню вивченість режиму процесів, що протікають у водному об'єкті, або неправильного їх тлумачення. А такі аварії можуть мати тяжкі наслідки, тому інженер має вміти передбачати аварійні ситуації та технічними засобами запобігати їхньому виникненню. Для цього необхідно знати, як взаємо сприяє та чи інша споруда з різними проявами процесів у водному об'єкті, і вміти вибирати такі конструкції споруд, які меншою мірою схильні до шкідливих впливів і надійні під час сприйняття виникаючих навантажень.

Більшість вод землі зосереджена Світовому океані. Світовий океан, або просто Океан – це величезна скарбниця мінеральних ресурсів, сховище сонячної енергії, регулятор кліматичних змін, джерело утворення прісної води на планеті, місце виникнення всього життя земної кулі і проживання багатьох її видів.

Моря та океани, що розділяють материки, широко використовуються для цілей транспорту як шляхи сполучення, найбільш економічні, часом єдині. Незважаючи на сильний розвиток авіації, основний потік вантажів між материками йде і ще довго йтиме саме морями. З вод океанів і морів людство видобуває значну частину харчових ресурсів та технічної сировини. Теплову та механічну енергію Океану людина тільки починає використовувати. У майбутньому не тільки ці види енергії чекають широкого використання, але, ймовірно, джерелом енергії може послужити *важка вода*, запаси якої у Океані є значними.

Обсяг води в Океані величезний, але всі запаси прісної води, без якої не може жити на суші ніщо живе, зосереджені на материках. Більшість водойм та водотоків суші є джерелом прісних вод для побутових та промислових цілей, для сільського господарства, гідроенергетики та транспорту. Водні ресурси прісних вод є невеликими, проте завдяки безперервному природному відновленню їх можна використовувати як завгодно довго за умови дбайливого ставлення до водних об'єктів.

Раціонально використовувати водні ресурси, багатства вод Океану та водне середовище для транспорту та проживання можна тільки в тому випадку,

якщо достатньо повно вивчити процеси, що протікають у водних об'єктах – морях, озерах, річках, льодовиках. Вивченням природних вод, явищ і процесів, що у них протікають, від яких залежить розподіл вод по земній поверхні та в товщі ґрунтів, а також вивченням закономірностей, за якими ці явища та процеси розвиваються, займається *гідрологія*.

Істотна відмінність процесів, що відбуваються у водах суші, від процесів в Океані, зумовила і відмінність у методиці їх досліджень. Гідрологія за видом об'єктів, що вивчаються, ділиться на гідрологію суші, яку називають просто гідрологією, і гідрологію океанів і морів, звану *океанологією*. Розділи гідрології, які безпосередньо пов'язані з вирішенням практичних інженерних задач, узагальнено називають *інженерною гідрологією*. За тематикою питань гідрологія суші і моря ділиться на розділи: *гідрометрія*, в якій розглядаються методи вимірювань та спостережень, що проводяться на водних об'єктах; *гідрографія* та *океанографія*, завданням яких є опис конкретних водних об'єктів суші та Океану з їх якісною та кількісною характеристикою, а також виявлення закономірностей географічного розподілу вод на земній кулі, власне *гідрологія*.

В інженерній гідрології особливо важливими для практики є *гідрологічні розрахунки*. У завдання гідрологічних розрахунків, як наукової дисципліни, входить розробка методів, які дозволяють розрахувати різні закономірні зміни стану водного об'єкта в часі, зумовлені фізико-географічними умовами та кліматичними особливостями. Важливе значення при експлуатації гідротехнічних споруд мають *гідрологічні прогнози* – передбачення розвитку процесів та явищ у водних об'єктах на основі систематичних спостережень.

Відновлення водних ресурсів на суші відбувається завдяки *кругообігу води* на земній кулі. Кругообігом води в природі називається безперервне переміщення великих її обсягів, що формується внаслідок випаровування, циркуляції повітряних струмів, океанічних течій і опадів. Основним джерелом кругообігу води, як і всіх фізичних процесів на Землі, є енергія, що надходить від Сонця. На суші теплова енергія Сонця витрачається переважно на випаровування та теплообмін у водних об'єктах та атмосфері, причому випаровування значною мірою залежить від вологості ґрунту. У районах достатнього зволоження найбільші витрати теплоти на випаровування спостерігаються у теплий період року, у районах недостатнього зволоження витрати теплоти на випаровування визначаються річним перебігом опадів. Річний хід випаровування з Океану є оберненим річному ходу випаровування з суші: максимальне випаровування з води спостерігається в холодну пору року, коли вода Океану зберігає більш високу температуру в порівнянні з повітрям і материками.

Можна розрізняти три види кругообігу води на Землі: *загальна* – для всієї земної кулі, *океанічна* і *внутрішньоматерикова* (рис. 4.1). У першому кругообігу беруть участь вітрові переміщення вологи повітряних мас, морські течії, що захоплюють всю планету; у другому – переміщення вологи тільки в межах Океану; в третьому – волога, що випарувалася з Океану і з суші,

частково випадає у вигляді опадів на материк, але більша її частина повертається знову в Океан; при цьому помітна частка води повертається із суші в Океан у вигляді стоку річок.



Рисунок 4.1 – Внутрішньоматериковий кругообіг води:
(https://vue.gov.ua/%D0%9A%D1%80%D1%83%D0%B3%D0%BE%D0%BE%D0%B1%D1%96%D0%B3_%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%B8)

- 1 – річка; 2 – озеро; 3 – водосховище; 4 – океан; 5 – опади;
6 – випаровування; 7 – напрямок руху води;
8 – водопроникні породи; 9 – слабопроникні породи;
10 – водонепроникні породи

Річки розподілені територією суші нерівномірно. Їх *стік* (обсяг води, що протікає в даному місці річки за певний час) у різних місцях є неоднаковим, він залежить від сукупності факторів, що впливають на водність річки, переважно від клімату. Клімат впливає на водність річкової системи крім безпосереднього впливу, ще й у вигляді рослинного покриву. Основними кліматичними факторами стоку є опади та випаровування, а оскільки вони є дуже мінливими в часі і за земною поверхнею, то і стік річок є надзвичайно мінливим і в часі, і в просторі. Характеристика стоку річки у певному її місці зображується *гідрографом* – графіком зміни витрат води у часі (рис. 4.2). *Витрата* – це об'єм води, що протікає в одиницю часу через живий перетин річки (вимірюється в кубічних метрах за секунду).

Фаза водного режиму річки, яка щорічно повторюється в один й той самий сезон, що характеризується найбільшою в році водністю, називається

повінь (рис. 4.3).

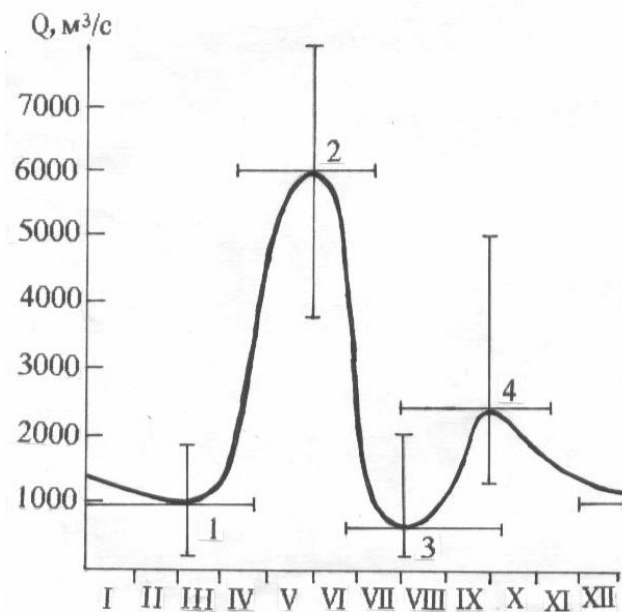


Рисунок 4.2 – Типовий гідрограф річки із східно-європейським типом водного режиму:

1 – зимова межень; 2 – весняна повінь; 3 – літня межень;
4 – літньо-осінній паводок



Рисунок 4.3 – Повінь у Саксонії, Німеччина

(<https://www.ukrinform.ua/rubric-world/3282971-povin-u-nimeccini-z-rau-do-pekla.html>)

На рівнинних річках України повинь формується завдяки *сніготаненню* (весняне половіддя), на гірських річках завдяки танення снігу та льодовиків (літня повинь), у мусонних зонах – через випадання літніх затяжних дощів. Короткочасне, в порівнянні з повинню, підвищення стоку, яке неприурочене до певного періоду року і яке повторюється в деякі роки кілька разів, називається *паводком*. Паводки, зазвичай, виникають від дощів, але в умовах нестійкої зими вони можуть бути обумовлені і інтенсивним короткочасним сніготаненням. Бувають змішані сніго-дощові повені та паводки. Обсяг води, що протікає в річці в період весняної повені (стік весняної повені), залежить від запасів води в сніговому покриві, тривалості та інтенсивності сніготанення. Зливовий стік паводку залежить від інтенсивності зливи, її тривалості та площі басейну річки, що охоплюється зливою. Фаза стоку річки, що характеризується невеликими витратами, називається *межень* (рис. 4.4). Під час межені стік річки формується завдяки ґрунтовим водам та незначним опадам. Коли опади практично відсутні протягом тривалого часу, а запаси ґрунтових вод невеликі, річка влітку пересихає, а взимку промерзає до дна. Періодичне зникнення стоку характерне для малих річок, русло яких врізано неглибоко. Промерзають взимку річки в області поширення *вічної мерзлоти*.



Рисунок 4.4 – Межень на р. Ельба біля м. Дрездена (червень 2005), Німеччина (<https://vue.gov.ua/%D0%9C%D0%B5%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D1%8C>)

Зміни витрати вод у річці супроводжуються коливаннями рівнів; однак, крім стоку, на рівні можуть впливати й інші фактори: заростання русла водною рослинністю, деформація русла течіями, льодові явища та вітер; у гирлах річок, що впадають у моря, періодичні зміни рівня відбуваються в результаті припливів і відливів. Часто коливання рівнів відбуваються під дією кількох факторів, створюється складний рівень режиму.

Характерними елементами гідрологічного режиму річки є *льодостав* та інші льодові явища. Початком льодоставу прийнято вважати момент стійкого зниження температур повітря нижче нуля; кінцем льодоставу – момент очищення річки від льоду. У певних умовах лід може утворитися не так на поверхні води, але й на дні і всередині потоку. Лід, що формується всередині потоку, називається *шугою*; шуга може забивати русло річки, вище за течією створюється підпір, загалом таке явище називається *зажором* (рис. 4.5). Суцільний крижаний покрив за низьких температур інтенсивно наростає; площа живого перерізу річки, тобто поперечного перерізу потоку, при цьому може настільки зменшитися, що вода, опинившись під підвищеним тиском, виходить по тріщинах у крижаному покриві і утворює *наледь*.



Рисунок 4.5 – Зажор льоду на річці
(фото з відкритих джерел)

Навесні з настанням позитивних температур сніг тоне, витрата води в річці збільшується, рівні підвищуються, лід зламається і починається весняний *льодохід*. У звужених ділянках русла під час льодоходу можуть нагромаджуватися великі маси льоду і утворюватися *затор*, що призводить до підйому рівня води вище за затор і затоплення берегів. Затори частіше виникають на річках, що течуть з півдня на північ, розтин яких у нижній течії відбувається пізніше, ніж у верхній.

Великі підвищення рівнів у річці – *наводнення* – можуть відбуватися з різних причин і не тільки навесні і влітку, але і взимку. У населених районах повені завдають величезних збитків, тому одним із завдань гідротехнічного будівництва є вміння розраховувати імовірності повеней і зниження їх шкідливих наслідків.

Річковий потік води зазвичай переміщає тверді частинки ґрунту різної крупності, які називаються сукупністю *наносами*. Ці частинки ґрунту можуть бути змиті з берегових схилів русла річки потоками дощової води або від танення снігу, але можуть вимиватися і самим річковим потоком з берегів і з дна річки. Серед наносів, що переміщуються потоком, розрізняють *тягнуті по дну* (донні) і *несомі у зваженому стані* (зважені). Особливо багатими на наноси є річки зі змішаним льодовиковим, сніговим та зливовим харчуванням, що беруть початок у горах. Гірські потоки, що несуть велику кількість (до 75 % загальної маси потоку) мінеральних частинок та уламків гірських порід, називають *сілями* (рис. 4.6). Сілі мають велику руйнівну силу. Під час сильних дощів у рівнинних річках також може бути велика кількість мулистих і піщаних наносів (до кількох десятків кілограмів на 1 м³ води), зазвичай їх значно менше (десятки або сотні грамів на 1 м³ води).



Рисунок 4.6 – Сілевий потік

(<https://pershij.com.ua/selevyi-potik-u-karpatakh-na-vulytsi-znosyt-vse-na-svoiemu-shliakhu-video/>)

Інтенсивність утворення наносів тим більше, чим швидше наростають паводки, чим слабкішим є ґрунт, що складає береги та ложе річки.

Після спаду паводку велика кількість наносів осідає на дно – акумулюється, утворюються мілини, берегові коси та інші форми руслових відкладень. *Переформування* русла річки може відбуватися і завдяки гвинтовому руху струменів на поворотах, в результаті якого виникає розмив

увігнутих берегів; при цьому змитий з берега матеріал відкладається на мілинах протилежного опуклого берега і частково зноситься вниз за течією, відкладаючись там у вигляді перекатів; глибина річки на перекатах зменшується, що заважає судноплавству. Режим наносів та пов'язані з ним руслові процеси – найскладніші для вивчення та прогнозування задачі інженерної гідрології.

Серед водних об'єктів суші велике народногосподарське значення, як природне багатство, мають також озера. Вода в озеро надходить у вигляді поверхневого та підземного припливу, конденсації водяної пари та випадання атмосферних опадів на поверхню озера. Витрата води з озера відбувається шляхом випаровування з його поверхні, а також поверхневого та підземного стоку. Те чи інше співвідношення між припливом води та її витратою викликає підвищення або зниження рівня води у озері. Зміна рівня води в озерах, крім того, пов'язана з переміщенням водних мас з течіями і коливальними рухами. До коливальних рухів водних мас озера відносяться *вітрові хвилі* та *сейші*. *Сейша* – це коливання всієї маси води озера, спричинене різницею атмосферних тисків у протилежних його берегів (рис. 4.7).



Рисунок 4.7 – Сейша
(фото з відкритих джерел)

Для різних водогосподарських цілей створюють штучні водоймища – водосховища та ставки. Гідрологічні процеси, що протікають у цих водоймах, багато в чому є подібними до тих, що спостерігаються в озерах.

У морях і океанах гідрологічні процеси є більш масштабними і мають свою специфіку. Під впливом сил тяжіння Місяця та Сонця безперервно

відбуваються періодичні коливання рівня моря: *припливи* та *відливи*. При таких коливаннях частинки води описують замкнуті еліптичні орбіти. Проекція руху частинок на вертикальну вісь орбіти характеризує вертикальні періодичні коливання водних мас, приливно-відливні коливання рівня моря. Проекція руху частинок на горизонтальну вісь орбіти визначає горизонтальні періодичні переміщення водних мас, припливно-відливні течії. Проміжок часу між двома найбільшими рівнями (*повна вода припливу*) або двома найменшими рівнями (*мала вода відливу*) називається *періодом припливу*. Різниця рівнів суміжних повної та малої води називається *величиною припливу*. У дні астрономічних *сизигій*, коли Земля, Місяць і Сонце знаходяться в одній площині, перпендикулярній земній орбіті, спостерігаються сизигійні припливи, що характеризуються найбільшою величиною припливу. Коли Місяць і Сонце розташовуються щодо Землі у двох взаємно перпендикулярних площинах, перпендикулярних до земної орбіти, що буває в дні астрономічних *квадратур*, спостерігаються квадатурні припливи, при цьому наявна найменша величина припливу.

З усіх переміщень води, що зачіпають водні маси Океану, припливні течії є найсильнішими та найнебезпечнішими. Морські течії (рис. 4.8), крім того, можуть бути викликані вітром або різницею атмосферних тисків у різних точках горизонтальної площини водойми, або різною щільністю води, або припливом води. Такі течії є неперіодичними.

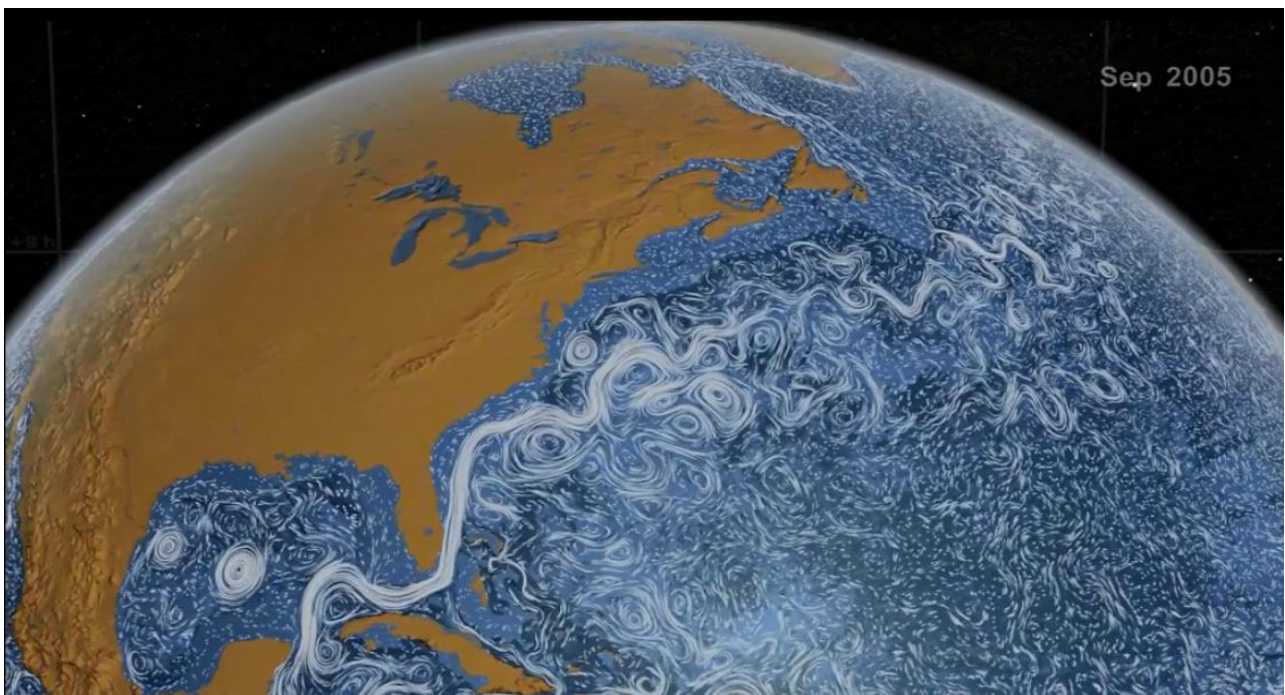


Рисунок 4.8 – Схема океанічних течій, створена фахівцями НАСА на основі знімків із космосу

(<https://spacegid.com/karta-techeniy-okeanov.html>)

У прибережній зоні морів спостерігаються дві групи течій: періодичні та

тимчасові, викликані вищезгаданими причинами, і течії, пов'язані з хвильовим рухом води. Течії першої групи більш чітко виражені у мористій частині прибережної зони, течії другої групи розвиваються на прибережній міліні. Однак у реальних умовах течії у прибережній зоні морів є результатом складання течій обох груп, тому вони мають складний характер.

Характерним елементом гідрологічного режиму морів та озер є хвилювання. *Вітрові хвилі*, які сформовані вітром і які продовжують перебувати під його впливом, називаються *вимушеними*, а хвилі, що вийшли з району дії вітру, або розповсюджуються після його припинення – *вільними* хвилями, або *зиббю*. В результаті складання вимушених хвиль і зибі, що прийшла із сусідніх районів моря, утворюються *змішані хвилі* (рис. 4.9). При поширенні хвиль у бік берега під впливом глибин, що зменшуються, відбувається безперервна зміна характеристик хвилювання – висоти хвиль, довжини, швидкості поширення. При косому підході хвиль щодо ліній рівних глибин відбувається додатково викривлення ліній гребнів хвиль, розгортання в бік берега, що пов'язане із зменшенням швидкості поширення хвиль на менших глибинах. На певній глибині, яка називається *критичною*, хвиля руйнується, і тоді берега досягає або *прибійна хвиля* (з пінистим гребнем), або окремі заплески гребнів хвиль. Від крутих укосів глибоких берегів, де глибини води біля берега більше деякого критичного значення, і від стін гідротехнічних споруд хвилі відбиваються і в результаті інтерференції прямих і відбитих хвиль можуть утворюватися *стоячі хвилі*, або *товчєя*. Вітрове хвилювання активно впливає на береги, розмиває їх у одних місцях, а в інших разом із течією сприяє відкладенню наносів. Розмив берегів і підмив основи споруд є серйозною проблемою гідротехнічного будівництва.



Рисунок 4.9 – «Квадратні» хвилі

(https://travel.24tv.ua/yak-vinikayut-kvadratni-hvili-chim-voni-novini-ukrayini-i-svitu_n1628544)

До елементів гідрологічного режиму водойм відноситься і льодовий режим. Льоди, що зустрічаються в морі, можуть бути морського походження, річкового та материкового. *Морський лід*, що утворюється з морської води, він становить основну масу льодів у морі. Його особливістю є солоність, яка з часом зменшується, тому багаторічна морська крига може бути майже прісною. *Річковий лід*, що потрапив у море, утворюється з прісної річкової води і часто відрізняється коричневим кольором внаслідок великої кількості домішок; зазвичай ці льоди зустрічаються в морі поблизу усть річок. *Материковий лід* утворюється внаслідок обламування льодовиків, що спускаються з берега, і найчастіше зустрічається в морі у вигляді крижаних гір – *айсбергів*.

Товщина льоду, що утворюється на воді, залежить від суми факторів: середньодобових негативних температур повітря, товщини і щільності снігового покриву на льоді, розподілу температури, солоності води та швидкості течій під льодом. Багаторічний товстий та щільний лід називають *паковим льодом*; при сильному стисканні крижаного поля утворюються нагромадження крижин – *тороси*. Крім плавучого льоду, біля берегів морів зустрічається не рухливий лід – *припай*, ширина якого може досягати в північних морях десятків і сотень кілометрів. Сприятливими умовами для розвитку припаю є мілководдя, порізаність берегів, наявність островів, банок, мілин, захищеність від хвилювання, опріснення води річками. Плаваючі льоди під час ударів, а льоди припаю під час температурного розширення можуть чинити великий тиск на гідротехнічні споруди, що повинно враховуватися під час проєктування. Самі споруди можуть сприяти утворенню торосів, що посилює льодові на них впливи.



Рисунок 4.10 – Руйнування берегового укусу Кременчуцького водосховища (<https://zmist.pl.ua/news/na-ukriplennya-berega-kremenchuczko-go-vodoshovyshha-vytratyly-ponad-30-miljoniv-gryven>)

Абразійний вплив – руйнування берега (рис. 4.10) і знесення ґрунту берегового укосу прибоєм у прибережній зоні моря – призводить до того, що там накопичується уламковий матеріал, який може залишатися нерухомим, утворюючи постійні форми рельєфу, або під впливом хвилювання і течій переміщатися в межах прибережної зони. Першу форму скупчень називають *морськими відкладеннями* (найбільш типовою їх формою є *пляжі*), другий вид рухомого матеріалу – морськими *наносами* (рис. 4.11). Залежно від напрямку руху щодо берегової лінії, розрізняють поперечне і поздовжнє переміщення наносів. Найчастіше ці переміщення наносів відбуваються разом.



Рисунок 4.11 – Морські відкладення
(фото з відкритих джерел)

Гідротехнічне будівництво на морських берегах та активне освоєння шельфу для господарських цілей можуть бути успішними лише за хорошої гідрологічної вивченості районів будівництва. Тому гідрологічні дослідження, що дозволяють вирішувати задачі з освоєння та використання водних ресурсів суші та Океану, мають велике народногосподарське значення.

Контрольні запитання

1. Описати розділи гідрології за тематикою та задачі гідрологічних розрахунків.
2. Описати сукупності факторів, що впливають на водність річки.
3. Описати механізм утворення твердого стоку (наносів).
4. Описати припливно-відливні коливання рівня моря, морські течії.
5. Описати вітрові хвилі.
6. Описати льодоутворення.
7. Описати абразивний вплив берегів.

5 ВОДНЕ ГОСПОДАРСТВО

5.1 Основні складові водного господарства

Галузь науки і техніки, що орієнтована на використання природних водних ресурсів для різних потреб суспільства, становить частину народного господарства України, яку називають *водним господарством*. Потреби у воді сучасного суспільства є дуже значними та різноманітними.

Водне господарство має такі основні складові: використання водної енергії водотоків та водойм, забезпечення судноплавства та лісосплаву по річках, каналах, озерах та водосховищах, зрошення та обводнення посушливих земель, осушення територій та рудників, водопостачання населення та промислових підприємств, охорона та поліпшення стану водних джерел та водосховищ.

Крім великої і безперечної користі, вода може приносити і значну шкоду, виступаючи як стихія, що призводить до повеней, затоплення обжитих територій, обвалення берегів, завалу корисних земель наносами тощо. Тому поряд із заходами з господарського використання води часто доводиться вести боротьбу з її руйнівними діями, що також входить до задач водного господарства.

Зі сказаного тут видно, що вода може бути використана для самих різних цілей, причому одна і та ж річка може служити одночасно і судноплавним шляхом і джерелом електричної енергії і рибогосподарським угіддям тощо.

Щоб природні водні ресурси використовувалися з найбільшою користю в народному господарстві, заходи, що проводяться в галузі водного господарства, повинні мати *комплексний характер*, ґрунтуватися на принципі всебічного використання вод потоку та враховувати інтереси всіх існуючих у зоні дії цих заходів водоспоживачів. Прикладами комплексного використання водних ресурсів можуть бути, наприклад, великі транспортно-енергетичні гідровузли на Дніпрі які використовуються також для водопостачання, зрошення тощо. Виконання принципу комплексності водного господарства та охорони навколишнього середовища пов'язане з принципом державної власності на землю, воду, надра та ліси.

Окремі складові водного господарства не однаково використовують водні ресурси. Одні, як, наприклад, водопостачання, зрошення, обводнення, безповоротно відбирають воду з водних джерел (річок, озер, водосховищ) і витрачають її на свої потреби; вони є, таким чином, водопостачанням. Інші галузі, як водний транспорт, гідроенергетика, рибне господарство, не споживають води, тому що воду, забрану з річки, озера, водосховища, відразу повертають у той же водотік або водоймище. Їх називають *водокористувачами*.

У комплексних гідровузлах узгодження інтересів водоспоживачів і водокористувачів (через наявність протиріч у їх вимогах до кількості води, що забирається, та режиму її використання в часі) є складним завданням (рис. 5.1).



Рисунок 5.1 – Дністровський каскад

(https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%BD%D1%96%D1%81%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B2%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%BA%D0%B0%D1%81%D0%BA%D0%B0%D0%B4_%D0%93%D0%95%D0%A1#/media/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB:Dniester_reservoir.JPG)

Потреба у воді різних галузей народного господарства є дуже нерівномірною в часі. Наприклад, гідроелектростанціям потрібно більше води взимку, коли електричні навантаження енергосистем досягають максимуму, а влітку менше. Маючи в своєму розпорядженні резерв встановленої потужності і володіючи маневреністю, тобто здатністю швидко і без втрат реагувати на зміну електричного навантаження, гідроелектростанції беруть на себе покриття змінної частини її добового графіку: вони змінюють свою потужність, а отже, і витрату води протягом доби в широкому діапазоні – від максимуму в години піку навантаження до нуля вночі.

Водний транспорт зацікавлений у великих глибинах і, отже, великих витратах води в річці в період навігації, а взимку, після льодоставу, потреби в глибокій воді у водного транспорту немає. Значні внутрішньодобові коливання витрат, швидкостей і глибин для водного транспорту, звісно, шкідливі, а то й сказати неприйнятні.

Зрошення сільськогосподарських земель проводиться у вегетаційний період, тобто в теплу пору року. Взимку поливів немає. Промислове та комунально-побутове водопостачання за сезонами змінюється мало. Зменшення споживання води вночі у цих галузях народного господарства закономірне.

З зазначеними коливаннями потреби у воді протягом року і в межах доби не узгоджуються водні ресурси річок: більша частина стоку річок припадає на період весняної повені та час коротких літньо-осінніх зливових паводків, тоді як літні та зимові меженні періоди характеризуються маловоддям. У добах

витрати води в річках суттєво не змінюються.

Звідси виникає головне завдання водного господарства – пристосувати нерівномірний стік річок до графіків потреб водоспоживачів або, як кажуть, *зрегулювати стік*. Для цього необхідно створити на річці водосховище достатньої місткості, щоб запасати в ньому можливо більшу частину надлишкового стоку повені й паводків і витратити цей запас, коли межений стік річки малий. Це так зване *річне або сезонне регулювання стоку*.

Графічно описаний приклад сезонного регулювання подано на рисунку 5.2. Тут показаний гідрограф природного стоку річки 1 та витрата 2, необхідна для судноплавства. Дефіцит витрати 3 зображують ординати заштрихованої частини графіку. Абсциси графіка зображують час, тому заштрихована площа виражає у відповідному масштабі обсяг води у водосховищі, необхідний для забезпечення судноплавних глибин протягом навігаційного періоду.

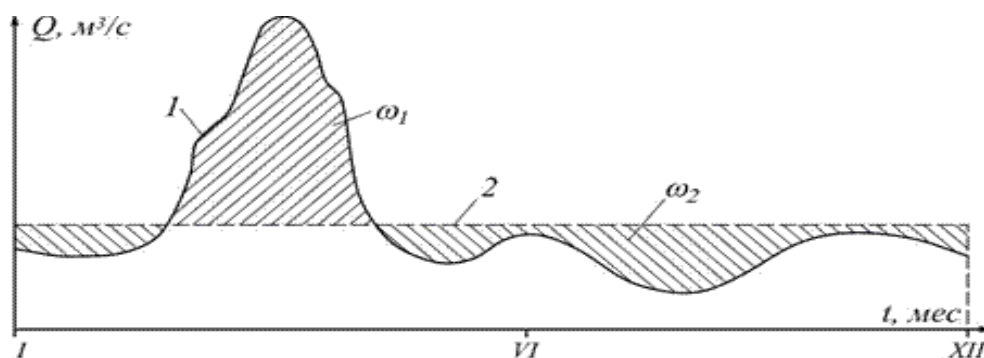


Рисунок 5.2 – Визначення обсягу водосховища для сезонного регулювання

Якщо водосховище доволі велике, то доцільно використовувати частину його обсягу для *багаторічного регулювання стоку* річки, тобто акумулювати в ньому частину стоку багато водних років, щоб витратити її в маловодні роки.

Описані види регулювання стоку орієнтовані зазвичай на вирівнювання витрат річки, мінливих у річному та багаторічному розрізі.

Добове і тижневе регулювання стоку так само вимагає для свого здійснення невеликої частини обсягу водосховища, але має іншу мету – перетворити більш менш постійну за короткий період витрату річки в змінну з різким її зменшенням вночі і у вихідні дні і зі збільшенням у робочі дні.

Акумуляція частини стоку особливо багатоводних повінь або раптових зливових паводків у спеціально незаповнюваній для інших цілей частині обсягу великого водосховища дозволяє перетворювати колишні короткі руйнівні повені на більш тривалі, але безпечні підйоми рівня.

У процесі виконання водогосподарських розрахунків, пов'язаних з регулюванням стоку річки та визначенням необхідної для цього місткості водосховища, і при оцінці позитивного ефекту регулювання стоку для всіх водокористувачів та водоспоживачів необхідно враховувати *втрати води* з водоймища, викликані *випаром* з його поверхні, *просочуванням* її в глиб землі через дно і береги.

Наскільки повно може бути вирішена поставлена головна задача водного господарства, залежить від місцевих умов, можливості будівництва високої греблі та створення ємного водосховища. Вибір рішення цієї задачі ґрунтується на техніко-економічному порівнянні варіантів. Техніко-економічний критерій максимального загальнонаціонального ефекту кладеться і в основу пошуку компромісного вирішення розбіжностей між водоспоживачами та водокористувачами з різних галузей народного господарства.

Коли запити споживачів перевищують можливості природних водних ресурсів певного джерела, тоді виникає потреба територіального *перерозподілу ресурсів річок* з районів, багатих на воду, в райони, де вода в дефіциті. Дані задачі пов'язані з тим, що економічні райони та великі регіони суттєво відрізняються один від одного за обсягом та розподілом у часі річкового стоку, а також за можливістю отримання додаткових обсягів води з інших річкових басейнів.

При перекиданні частини стоку річок, що характеризується значними обсягами води, виникають труднощі не тільки технічного порядку. Набагато більш значущими є можливі екологічні зміни та наслідки. Враховуючи значні обсяги перекидання стоку, здійснення цього завдання вимагатиме тривалого періоду часу та великих капіталовкладень.

Контрольні запитання

1. Описати основні складові водного господарства.
2. Описати комплексний характер використання природних водних ресурсів.
3. Описати пристосувати нерівномірний стік річок до графіків потреб водоспоживачів.

6 ОХОРОНА ВОДНИХ РЕСУРСІВ

6.1 Раціональне використання природних ресурсів

Формула «без води – немає життя» відома всім. Вода необхідна людям для фізіологічного процесу, санітарно-гігієнічних цілей та різноманітної виробничої діяльності. Весь тваринний і рослинний світ планети бере участь у кругообігу води.

У другій половині ХХ ст. у багатьох країнах почали виявляти небезпечне для життя забруднення природного середовища: атмосфери, води, ґрунту, надр. Спочатку це були окремі області, але в 1970-х роках проблема забруднення природного середовища відходами різносторонньої виробничої та побутової діяльності людини (так званий антропогенний фактор забруднення) набула загального, глобального характеру. Перед людством повсюдно постало завдання захисту природи від забруднення.

До обов'язків гідротехніків входить вирішення складних і відповідальних задач – зведення гідротехнічних споруд як для використання, так і для *охорони водних ресурсів*, і, в цілому, – для *охорони природного середовища*. Під *охороною природи* розуміється система заходів, яка забезпечує належні форми взаємодії між людиною та природним середовищем. Система природоохоронних заходів спрямована на усунення шкідливих впливів антропогенного чинника як на природу, так і на здоров'я самої людини. Система передбачає збереження та відновлення природних багатств, а там, де це можливо, так і їхнє примноження. Раціональне використання природних ресурсів передбачає дбайливе ставлення до них і захист від забруднень відходами виробництв.

Поверхневі та підземні, прісні та солоні води України є національним надбанням та становлять єдиний державний *водний фонд*. Цей фонд щодобово витрачається кожною людиною та кожним підприємством. Тому постають задачі юридичної регламентації водогосподарських відносин, основу яких становить державна власність на воду (рис. 6.1).

В Україні працює служба спостереження за станом вод річок, озер, водосховищ та морів.

Під якістю води зазвичай розуміють характеристики складу та властивостей води, за якими визначають придатність її для використання в тих чи інших цілях. Якість вод обумовлюється природними та антропогенними факторами.

Якість господарсько-питної води суворо регламентується нормативними документами. Якщо вода у річці чи водоймі не задовольняє вимогам, її піддають очищенню на спеціальних станціях. Сьогодні забороняється скидання стічних вод промислових підприємств та каналізаційних систем населених пунктів у водойми без попереднього очищення.

Контроль за дотриманням норм витрачання води та розпоряджень щодо якості цього природного ресурсу будь-якими підприємствами, населеними

пунктами, транспортними засобами тощо здійснюється басейновими водними інспекціями. Лабораторії водних інспекцій на основі взяття проб води спостерігають за ефективністю очисних споруд, станом водойм (річок, озер, ставків), які є приймачами стічних вод.



Рисунок 6.1 – Річкові басейни України
(<https://geomap.com.ua/uk-g8/876.html>)

Велика мережа станцій спостереження, збору та обробки даних про якість природних вод розподілена між багатьма відомствами. Тому стоїть завдання чіткої координації робіт усіх спостережних пунктів та лабораторій. Дані спостережень, що отримуються, накопичуються, і їх називають *банком вихідної інформації* для ухвалення рішень з управління запасами води. Збір інформації про якість вод проводиться стаціонарними та пересувними станціями. Доцільно застосовувати і авіаційно-космічні методи.

Вивчення поверхневих вод за допомогою літальних апаратів ведуть, користуючись візуальними спостереженнями або реєструючи дані на носії. Нові можливості відкривають космічні апарати.

Парк космічних літальних апаратів (КЛА) дуже різноманітний: балістичні ракети, пілотовані кораблі та станції, штучні супутники землі. Останні летять на висоті від 600 до 2 000 км. З такої висоти нині вивчають забруднення водоймищ, річок та інших водойм. Головна увага звертається на Світовий океан. Реєстрація даних проводиться фотографуванням і передається каналами космічного зв'язку на землю.

Зміна поверхні водойм внаслідок забруднень добре фіксується з КЛА. Крім того, ці апарати використовуються для спостережень за сніговим покривом для прогнозування паводків та визначення початку таких катастрофічних явищ, як повені. Досвід використання КЛА в Україні та в інших країнах свідчить про доцільність вивчення з їх допомогою процесів забруднення вод механічними домішками, біологічного та теплового забруднення, руху зважених наносів.

Вивчення процесів забруднення атмосфери, вод суші, Світового океану та ґрунтів необхідне не тільки для цілей контролю, але й для здійснення конкретних заходів щодо усунення забруднення.

Заходи з охорони навколишнього середовища, що передбачаються в планах комплексного економічного та соціального розвитку країни, району, підприємства, є дієвим шляхом узгодження господарської діяльності людини із закономірностями функціонування природи. Взаємодія між двома системами «людина» та «природа» вивчається у багатьох природних, гуманітарних та технічних наукових дисциплінах. Зараз найповніше така взаємодія досліджується наукою *екологією*. Участь екологів у вирішенні водогосподарських проблем є обов'язковою.

Зведення гідротехнічних споруд (гребель, каналів, портів та інших), створення водосховищ становлять особливий вид технічного впливу на природу. На теперішній час на земній кулі перебуває у експлуатації понад 250 тис. гребель. За оцінками комісії по великим греблям ICOLD (рис. 6.2) сумарна площа дзеркал водосховищ, створених людством, перевищує 600 тис. км². Підрахунки показують, що у 2 287 найбільших водосховищах (місткістю кожне понад 100 млн м³) зібрано на чотирьох континентах додатковий обсяг води, який дорівнює 5 832 км³. Інтенсивне будівництво гребель і створення водосховищ – веління часу, без цих об'єктів прогрес людства немислимий. Але, покращуючи умови проживання людини на планеті, водосховища – є акумуляторами прісної води – крім позитивного впливу на природу, в окремих випадках викликають побічні негативні явища.



Рисунок 6.2 – Комісія з великих гребель (ICOLD)
(<https://www.icold-cigb.org/>)

Еволюція *екосистем* в результаті гідротехнічного будівництва відбувається на територіях, прилеглих до водосховищ, і в самих водоймах. Після створення підпору та наповнення водосховища утворюються нові умови

для риб, водних рослин, водоплавних птахів та тварин, а також для гідробіологічних процесів. Ці процеси повинні контролюватись, і ними можна керувати, вживаючи ті або інші заходи.

Першочергові заходи – не забруднення водойми хімічними речовинами, що мають фізіологічну та мутагенну активність. Надходження таких речовин у неприпустимих кількостях призводить до серйозних наслідків для популяцій, що заселяють водойми.

Досвід показує, що екосистеми розвиваються прискореними темпами, якщо відбувається у невеликих розмірах «теплове забруднення» водойм. Підігріті води, що випускаються у водойми, сприяють рибопродуктивності. Однак під дією теплих вод змінюється іхтіофауна. Наприклад, відзначається подрібнення популяцій. Остаточно питання кінцевих результатів «теплого забруднення» ще не вирішено.

За біологічною продуктивністю водойм їх поділяють на три групи: *високопродуктивні*, з великим вмістом біогенних елементів, *малопродуктивні* та *дистрофні*, збагачені гуміновими речовинами. Еволюція водосховищ і озер під впливом антропогенного чинника протікає швидше, ніж у природному стані. Великі водосховища з високопродуктивних при неправильному водокористуванні через кілька років перетворюються на малопродуктивні і навіть на дистрофні.



Рисунок 6.3 – Цвітіння води озера Ері, Канада, 2019 рік
(<https://ecogrizzly.shop/water-blooms-causes-consequences/>)

Зростання у великих масштабах об'єктів флори та фауни, виробництво яких призводить до інтенсивного їх розкладання, позначається на якості води у бік її погіршення. Відбувається так зване *біологічне забруднення*, що часто ототожнюється з «цвітінням» води – великою кількістю фітопланктону (рис. 6.3). Таким чином, після створення на річці водосховища процес накопичення в ньому органічних речовин відбувається швидше, ніж процес

переміщення їх вздовж течії і розкладання. Отже, процес кругообігу хімічних та органічних речовин є неповним, переважає акумуляція їх у водосховищі. Уповільнення водообміну також сприяє зростанню фітопланктону, особливо синьо-зелених водоростей. Регулярне зростання у літній період синьо-зелених водоростей, які погіршують якість води, спостерігається у водосховищах багатьох країн, зокрема і в Україні. Концентрація водоростей знижує продуктивність рибних кормових баз та призводить до загибелі звичайних видів риб. Велика кількість водоростей ускладнює роботу очисних установок, зменшує пропускну здатність відстійників, а викинуті на берег водорості, що розкладаються, скорочують рекреаційні території для відпочинку і спорту на воді.

Боротьба з цвітінням води – задача першорядної важливості. Арсенал засобів для ліквідації цвітіння у водосховищах збагатився новими заходами. Зокрема, встановлено, що на початкових стадіях із синьо-зеленими водоростями можна боротися хімічними методами, штучною аерацією водойми. Є й біологічні методи боротьби – за допомогою рослиноїдних риб та лізогенних (що сприяють розчиненню) вірусів. Для зменшення цвітіння необхідно перешкодити надходженню у водоймища біогенних речовин, тобто добре очищати стічні води. У вітчизняній практиці для запобігання попаданню у водоймища біогенних елементів із сільськогосподарських земель упорядковують прибережну зону за допомогою лісопосадок. Або ж влаштовують «біофільтри», наприклад із тростини.

Найбільші водосховища світу було створено ХХ столітті. Саме вони істотно впливають на природу. Відзначається вплив водосховищ на мікроклімат, сейсмічну активність прилеглих територій, на ландшафти та інші елементи природного середовища (рис. 6.4).



Рисунок 6.4 – Вільшанське (Теребле-Ріцьке) водосховище, Україна
(<https://karpatium.com.ua/vodni-resursy/vilshanske-vodoskhovyshche>)

Доля природного ландшафту вирішується не тільки в ході проєктування, а й у процесі зведення гребель. Будівельники повинні прагнути менше наносити «ран» природній обстановці, і тоді не доведеться «заліковувати» пошкодження, завдані природі.

Гідротехнічні споруди впливають на природне середовище безпосередньо і побічно, через виробничі об'єкти, породжені створенням водосховищ та будівництвом гребель, гідроелектростанцій, шлюзів, портів, каналів. Перш ніж створювати велику греблю і водосховище, доводиться спочатку змінювати інфраструктуру району будівництва, тобто прокладати залізниці та шосейні дороги, будувати селища для робітників, зводити базу для розгортання робіт по основних об'єктах. Така підготовча діяльність не повинна негативно позначатися на місцевому природному середовищі. Частина коштів, що відпускаються на будівництво основного об'єкта, використовується для компенсації шкоди, завданої рослинному покриву та ландшафту території будівництва.

6.2 Наслідки створення гідротехнічних об'єктів

Перед гідротехніками стоять задачі зменшення негативних наслідків створення гідротехнічних об'єктів та збільшення дієвості позитивних факторів.

Програма покращення якості навколишнього середовища та оптимізації природокористування включає:

- будівництво водоохоронних об'єктів у басейнах Чорного та Азовського морів та у найважливіших промислових районах країни;
- здійснення заходів щодо посилення охорони морів, річок та інших водойм від забруднення;
- збільшення потужності систем оборотного та повторного використання вод, розробка та впровадження на підприємствах безстічних систем водокористування;
- покращення охорони водних джерел, зокрема малих річок та озер, від виснаження та забруднення;
- продовження роботи з охорони та раціонального використання унікальних природних комплексів;
- створення автоматизованих систем управління водогосподарськими комплексами в басейнах річок.

У вирішенні даних величезного масштабу завдань першорядна роль належить фахівцям-гідротехнікам, які здійснюють дослідження, проєктування, будівництво та експлуатацію гідротехнічних об'єктів і водогосподарських систем.

Проблеми раціонального водокористування та охорони вод від забруднення та виснаження виходять за межі державних кордонів та набувають міжнародного значення. Водогосподарська діяльність перебуває у полі зору ООН, її регіональних комісій та спеціалізованих організацій. Україна уклала низку двосторонніх та багатосторонніх міжнародних угод у галузі охорони

природного середовища.

Успішно ведеться співпраця щодо використання та охорони вод прикордонних річок.

Активна діяльність вчених і фахівців у міжнародних організаціях сприяє розробці методів охорони Світового океану від нафтового забруднення, підготовки та прийняття законів з охорони водного середовища.

Контрольні запитання

1. Описати систему природоохоронних заходів.
2. Описати систему контролю за дотриманням норм витрачання води.
3. Описати механізм біологічного забруднення («цвітіння») води.
4. Описати задачі зменшення негативних наслідків створення гідротехнічних об'єктів.

7 РІЧКОВІ ГІДРОТЕХНІЧНІ СПОРУДИ. ГІДРОВУЗЛИ

7.1 Призначення гідротехнічних споруд

Сукупність гідротехнічних споруд, що зводяться на річці, за складом і типом споруд суттєво залежить як від призначення гідровузла, так і від природних умов – характеристик річки і території будівництва.

Гідровузол енергетичного призначення, наприклад, на рівнинній річці включає, природньо, *гідроелектростанцію*.

Для того щоб турбіни гідроелектростанції працювали, потрібні не тільки безперервна витрата води, але і напір – різниця рівнів між *верхнім і нижнім б'єфами*, тобто ділянками річки вище і нижче гідроелектростанції за течією. Напір концентрується у зручному для використання місці внаслідок зведення *греблі* або іншої *водопідпірної споруди* та наповнення *водосховища*. Дані два елементи є важливими складовими частинами гідровузла. Водосховище необхідно також для регулювання нерівномірного стоку річки, приведення його у відповідність до водоспоживання, тобто в цьому випадку з графіком електричного навантаження – тобто гідроелектростанції.

Гідроелектростанції на багатоводних рівнинних річках розташовуються в їх руслі і носять назви або руслових низьконапірних (рис. 7.1), або пригребельних (рис. 7.2), якщо напір достатньо великий.



Рисунок 7.1 – Русловий низьконапірний гідровузол з гідроелектростанцією та судноплавним шлюзом (Київська ГЕС, Україна)(<https://uhe.gov.ua/>)

Оскільки акумулювати у водосховищі рідкісні багатоводні паводки економічно недоцільно і оскільки споживання електричної енергії, тобто використання запасу води, може внаслідок аварії перерватися, у складі

гідровузла повинен бути *водоскид* для пропуску води з верхнього б'єфу в нижній повз турбін, щоб уникнути переповнення водосховища і переливу води через греблю з руйнівними наслідками.



Рисунок 7.2 – Пригребельний гідровузол з гідроелектростанцією (ГЕС Три ущелини, Китай)(фото з відкритих джерел)

Пропуск води в нижній б'єф крім турбін у разі зупинки агрегатів гідроелектростанції може бути необхідний також і при ненаповненому водосховищі, якщо без надходження цієї води зазнають збитків розташовані нижче за течією річки водокористувачі – гідроелектростанції, водний транспорт, зрошувальні системи тощо, у складі гідровузла будують водопропускні споруди з глибинними отворами – *водовипуски*.

Пропуск води в нижній б'єф може знадобитися також з метою спорожнення водосховища для огляду та ремонту споруд гідровузла. Тоді у його складі мають бути передбачені *водоспуски* з глибинними чи донними отворами. Щоб подати велику кількість води за основним призначенням – до турбін гідроелектростанції, очистивши її від небезпечних включень – льоду, шуги, наносів, сміття тощо, необхідні спеціальні споруди – *водоприймачі*.

Гідроелектростанція може бути розташована на гірській річці не біля греблі, а нижче за течією на березі; вода до неї підводиться від водоприймача спеціальним водоводом і відводиться від неї в річку теж спеціальним водоводом, які в сукупності називають *деривацією*, а порізно – *підвідна* та *відвідна* деривації (рис. 7.3).

Мета влаштування деривації є такою ж, що й побудова греблі, – це концентрація напору для зручного використання. У гірських річках вода спадає

з великим ухилом поверхонь, розсіюючи свою потенційну енергію. Прокладений по берегу з мінімальним ухилом канал підводить воду до гідроелектростанції з рівнем поверхні, що мало відрізняється від рівня верхнього б'єфу. В результаті станція використовує більший напір та падіння великої ділянки річки не тільки завдяки підпору греблі, а й завдяки різниці ухилів річки та каналу.



Рисунок 7.3 – Гідроелектростанція з дериваційним каналом
(фото з відкритих джерел)

Аналогічна роль у відповідній деривації – рівень води в ній мало відрізняється від рівня води в річці в кінці деривації, так що на початку відповідної деривації у гідроелектростанції рівень виявляється нижчим, ніж у річці, що паралельно тече поряд. Наприклад, станція набуває ще більшого напору, використовуючи падіння додаткової ділянки річки.

Для того щоб вирішити: будувати високу греблю або деривацію великої довжини або, змінюючи положення греблі на річці, комбінувати її висоту і довжину деривації так, щоб споруди вийшли найбільш економічними, розробляють і порівнюють варіанти. Варіювати необхідно і поділ деривації на підвідну частину і відвідну частини, тобто положення гідроелектростанції на ній.

У деривації зазвичай більш велику довжину має частина, що підводить, оскільки влаштування відвідної частини нижче за рівень води в річці є більш складною задачею, ніж тієї її частини, що підводить, яка прокладається над річкою. Тільки тунельний тип деривації (рис. 7.4) дозволяє тієї її частині, що відводить, бути не дорожче за ту, що підводить.

Дериваційні гідровузли мають велику протяжність, тому в їх складі виділяють *головний вузол* з греблею, водоскидом і водоприймачем, *станційний*

вузол з напірним басейном, що завершує підвідну деривацію, трубопроводами, що підводять воду до турбін, і будівлю ГЕС та елементи деривації, згадані раніше.

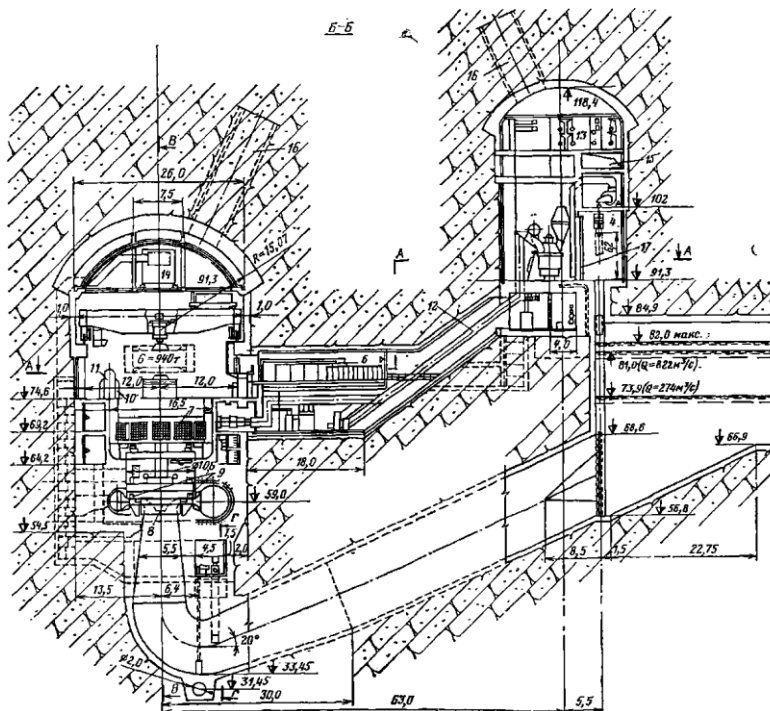


Рисунок 7.4 – Підземна гідроелектростанція з тунельною деривацією

Гідровузли водно-транспортного призначення споруджуються на судноплавних річках з метою збільшення в них глибини в навігаційний період, щоб використовувати судна з більшою осадкою і, відповідно, більшою вантажопідйомністю. У складі гідровузла повинна бути в цьому випадку *гребля*, що підпирає рівень і збільшує глибини у верхньому б'єфі, а також створює *водосховище* для регулювання стоку річки – акумулювання води під час повені і випуску її в нижній б'єф в період літньої межені. Збільшення витрати у нижньому б'єфі, звичайно, супроводжується підвищенням рівня та збільшенням глибин.

У складі гідровузла за наявності греблі повинні бути *водоскиди*, а також *водовипуски*, необхідні судноплавству. Обидві ці функції часто поєднуються в одній споруді. Внаслідок будівництва греблі між б'єфами виникає перепад (різниця рівнів), для подолання якого суднам як тим, хто йде вгору за течією, так і тим, які спускаються вниз за течією, необхідні *судно пропускні споруди* (шлюзи, суднопідйомники).

Часто поряд із гідровузлом будують *порт* із захищеною від штормових хвиль акваторією, причалами, затоном для зимівлі суден.

Підхідні канали до суднопропускної споруди (рис. 7.5), верхової та низової, утворюють свого роду деривацію, по якій йдуть судна, але протікає мало води, тільки для наповнення та спорожнення камери шлюзу в процесі шлюзування суден. Іноді ці канали набувають значної довжини, якщо

необхідно пройти незручну для судноплавства ділянку річки – спрямувати крутий закрут або обійти пороги тощо.

Канали великої довжини з багатьма шлюзами з'єднують різні річки між собою.

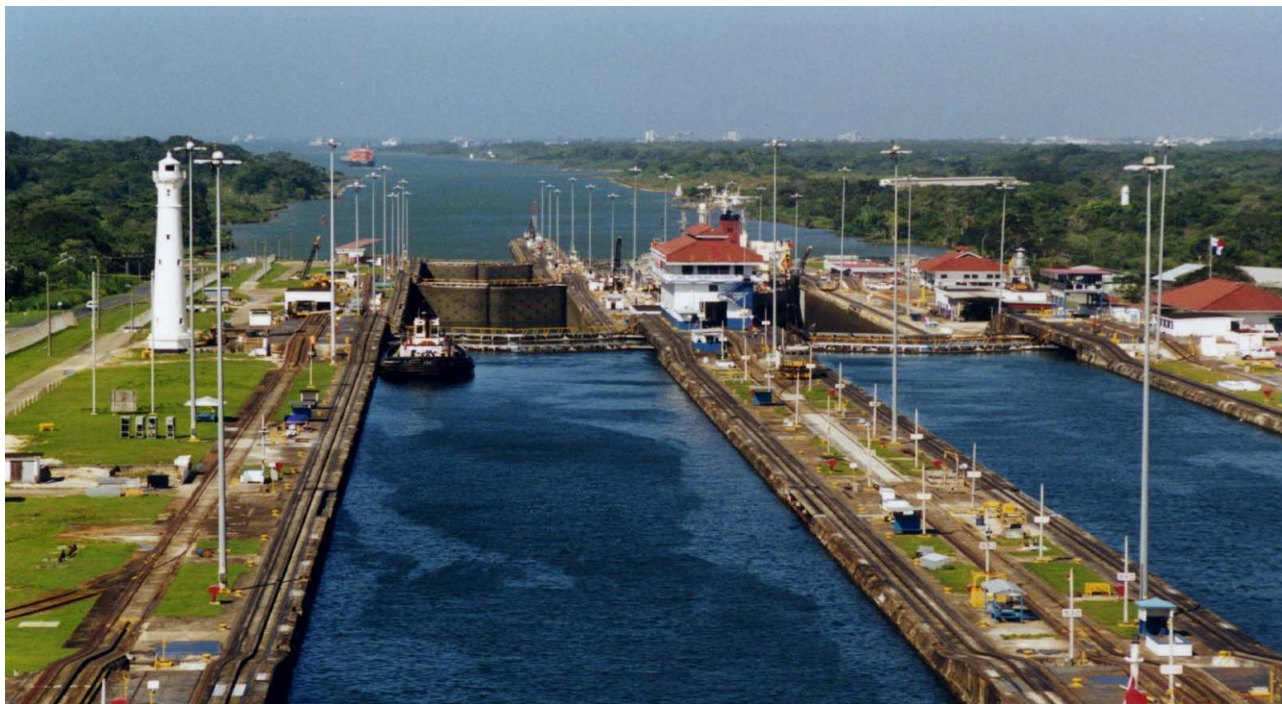


Рисунок 7.5 – Панамський канал

(https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B0%D0%BD%D0%B0%D0%BC%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%BA%D0%B0%D0%BD%D0%B0%D0%BB)

Одним із видів водного транспорту є *лісосплав*. Ліс може перевозитися на спеціальних судах або плотах – плитках (плоських) або пучках (овального перерізу), за допомогою буксирів. У цьому випадку для лісосплаву використовуються загальні водотранспортні споруди.

На малих річках у лісових районах, де немає судноплавства, застосовується сплав лісу в плотах, але можливий також сплав лісу розсипом за течією річки. Для підвищення ефективності такого виду лісосплаву вище за течією річки будують греблю, яка утворює водосховище, де акумулюється весняна вода. У літню пору, скидаючи воду, підтримують необхідні глибини та швидкості в нижньому б'єфі. Коли на шляху плотів або лісу, що сплавається розсипом, трапляються перешкоди – греблі, пороги, то для пропуску лісу влаштовують спеціальні споруди – *плотоходи*, *колодоспуски*. В обхід греблі будують лоток з великим ухилом – *швидкоток*, яким разом з невеликою витратою води зісковзують з верхнього в нижній б'єф плоту або окремі колоди.

Використання водних ресурсів для зрошення сільськогосподарських земель та обводнення посушливих територій вимагає зведення своїх комплексів гідротехнічних споруд, висуває свої вимоги до регулювання стоку річки.

Площа зрошуваних земель зазвичай є дуже великою, а розташовані на ній гідротехнічні споруди настільки численні, що їх комплекс не можна назвати гідровузлом, їх називають *зрошувальною системою*. Частина споруд, яка компактно розташована на річці, у складі *греблі*, що утворює *водосховище* для регулювання стоку річки, *водоскиду* для пропуску паводку, *водоприймача* і *відстійника* для осадження наносів з води, взятої на зрошення, називається *головним вузлом* зрошувальної системи.

Від головного вузла до зрошуваних земель вода подається *магістральним водоводом*, найчастіше каналом. Його довжина вимірюється десятками і сотнями кілометрів, на шляху від нього відходять розподільники, від них – *зрошувачі*. Невикористані залишки води з полів збираються *колекторами* і відводяться у *водоток*.

За значної висоти рівня води у водосховищі над зрошуваною територією на початковій частині магістрального каналу може бути побудовано гідроелектростанцію, що використовує дану різницю рівнів. Магістральний канал може приймати невеликі водотоки, які перетинає його траса. Якщо частина зрошуваних земель розташована вище за рівень води в магістральному каналі, вода для цих земель подається *насосними станціями* (рис. 7.6).



Рисунок 7.6 – Насосна станція (фото з відкритих джерел)

На самій зрошувальній мережі розташовуються регулятори, перепади, скидні споруди тощо.

Осушувальні системи в районах надлишкового зволоження земель, поширення боліт, природно, не вимагають зведення гребель. До комплексу споруд цих систем входять *дренажі*, малі та великі *канали*, різні споруди на осушувальній мережі; виконуються *виправні роботи на водотоках* (спрямування, розчищення, поглиблення, влаштування берегових гребель).

Осушувальна система може бути самопливною, проте, якщо рельєф території занадто рівний, можуть знадобитися насосні станції на мережі і для перекачування води у водоток.

Дуже складні і різноманітні комплексні *системи водопостачання-водовідведення (каналізації)*. Різнманітність таких систем залежить переважно від виду водоспоживача – комунально-побутове чи промислове водопостачання. Для багатьох галузей промисловості потрібно безперервне подання великих мас води, до них відносяться, наприклад, целюлозно-паперова, металургійна, хімічна, теплові та атомні електростанції (для охолодження конденсаторів). Перед тим, як частина цієї води, що залишилася, змінена у своїй якості (стічні води), буде скинута на водоток або повернена на виробництво (оборотне водопостачання), вона повинна бути очищена, знезаражена, охолоджена тощо. До складу комплексної системи водопостачання-водовідведення, крім *головного вузла* споруд на річці і *мережі водоводів* у споживача, входять *насосні станції та система очищення води, що забирається з водотоку*, а також більш складніша *система очищення води, що відводиться від споживача*.

Для інтенсифікації рибного господарства, для господарств, що розводять хутрових звірів, які ведуть напівводний спосіб життя, та водоплавних птахів, будуються і загальні та *спеціальні види гідротехнічних споруд* (рис. 7.7).



Рисунок 7.7 – Рибопрохід на греблі «Джон Дей» на річці Джон-Дей, США
(https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B8%D0%B1%D0%BE%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%BF%D1%83%D1%81%D0%BA%D0%BD%D1%96_%D1%81%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%83%D0%B4%D0%B8)

Гідротехнічні споруди входять також до складу багатьох курортів, будинків відпочинку, водно-спортивних баз. Буває і навпаки, ці останні зводять на річці, де побудовано велику гідроелектростанцію або гідровузол іншого призначення, створено штучне нове озеро – водосховище.

Для того, щоб запобігти *повені* або зменшити шкоду від неї, зводять різного виду гідротехнічні споруди, найпростіші з них *берегові дамби*, які захищають від високих рівнів схильну до повеней територію та об'єкти народного господарства. Але оскільки греблі є водонепроникними, вони перешкоджають стоку каналізаційних систем і річок, які йдуть по захищеній території, у водотік, що є причиною повеней. Ці стоки необхідно відводити водоводами і перекачувати насосами. Це швидше пасивний метод боротьби з повенями.

Активним і радикальним методом боротьби з повенями є регулювання *стоку* річки шляхом будівництва греблі, створення достатньо ємного водосховища та влаштування водоскидної споруди. Завдяки регулюванню короткочасний руйнівний паводок трансформується, тобто перетворюється на більш тривалий безпечний.

7.2 Гідровузли комплексного призначення

Для того щоб будівництво гідротехнічних споруд було найбільше економічно ефективним, необхідно в процесі проектування розглядати можливість створення гідровузлів комплексного призначення, які б задовольняли інтересам кількох галузей народного господарства.

Для всіх споживачів потрібне створення греблі та ємного водосховища з високими рівнями та великими глибинами. Різниця полягає лише у використанні ємності водосховища для регулювання стоку річки. Енергосистема вимагає вирівнювання нерівномірного за сезонами стоку річки, але дещо більших витрат узимку в період максимуму електричного навантаження та менших витрат влітку. Для судноплавства потрібні поступово високі витрати протягом усього періоду навігації. Для зрошення потрібні зарегульовані витрати протягом усього вегетаційного періоду, дещо більші за посушливі місяці літа. Для боротьби з повенями необхідно тримати незаповненою частиною місткості водосховища в очікуванні паводку. Розбіжності улагоджуються пошуком оптимального із загального погляду компромісного рішення, що дає максимальний сумарний економічний ефект переважають у всіх галузях.

При будь-якому поєднанні водокористувачів та водоспоживачів потрібне будівництво водоскидної споруди. Більшості водокористувачів потрібні водоводи, головним чином канали. Часто вдається поєднувати функції каналу, як деривації гідроелектростанції, судноплавного шляху, магістрального каналу зрошувальної системи. Гребля може бути потрібна не тільки водокористувачам, але і для сухопутних шляхів сполучення – як мостовий перехід через річку.

Як випливає з викладеного, гідровузли можуть бути *комплексного*

призначення та спеціалізовані, якщо для кооперації відсутні зацікавлені учасники або їхнє залучення економічно недоцільне. При цьому, ті самі споруди зустрічаються в гідровузлах різного призначення. До них відносяться греблі, водоскиди, водоприймачі, водоводи всіх видів. Це так звані споруди загального призначення. Інші споруди потрібні лише певним водокористувачам чи водоспоживачам. Це так звані спеціальні споруди – гідроелектростанції, шлюзи, порти, зрошувальні та осушувальні мережі, очисні споруди, рибопідйомники та рибоходи тощо.

Контрольні запитання

1. Описати призначення гідротехнічних споруд.
2. Описати мету влаштування деривації.
3. Описати гідровузли водно-транспортного призначення, підхідні канали до них.
4. Описати комплексні системи водопостачання-водовідведення (каналізації).
5. Описати гідровузли комплексного призначення.

8 ГРЕБЛІ

8.1 Загальні вимоги

Греблею називається споруда, що перегороджує водоток, яка підпирає воду до більш високого, ніж побутовий, рівня і концентрує таким чином в одному місці зручний для використання напір, тобто різницю рівнів води перед і за греблею. У складі будь-якого напірного гідровузла гребля займає важливе місце.

Греблі зводяться в різних кліматичних та природних умовах – у північних широтах та в районах вічної мерзлоти, а також на півдні, у тропічних та субтропічних зонах, з високими позитивними температурами. Місцем їх розташування бувають багатоводні рівнинні річки, що течуть у руслах, складених нескельними ґрунтами – пісками, супісками, суглинками та глинами, а також гірські річки, які протікають у глибоких скелястих ущелинах, де часто повторюються сильні землетруси.

Розмаїття природних умов, цілей створення гребель, масштабів та технічної оснащеності будівництва призвело до безлічі їх типів та конструкцій. Як і інші споруди, греблі можна класифікувати за багатьма ознаками, наприклад, за висотою, матеріалом, з якого вони зводяться, можливості пропуску води, характером їх роботи як підпірних споруд тощо.

Гідротехнічні водопідпірні споруди, до яких належать греблі, сприймають різні за походженням, характером і тривалістю дії сили, сумарний вплив яких є значно більшим і складнішим, ніж вплив сил на будівлі та споруди промислово-цивільного типу.

Щоб зрозуміти умови роботи водопідпірних споруд, розглянемо схему бетонної греблі з основними навантаженнями, що діють на неї. Як і всі протяжні бетонні споруди, гребля *розрізається на секції* швами, що дозволяють секціям вільно деформуватися за температурних впливів та усадки, що запобігає утворенню тріщин. На кожну секцію греблі (рис. 8.1) завдовжки L , висотою H і шириною по основі B діють наступні сили.

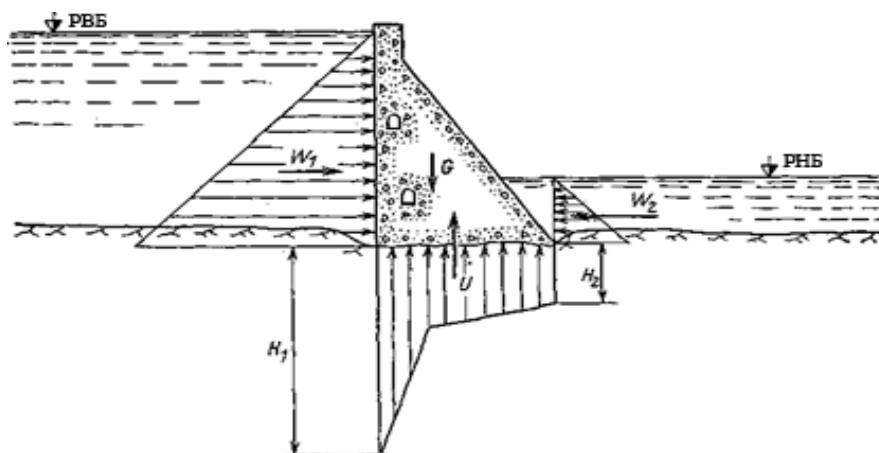


Рисунок 8.1 – Сили, що діють на греблю

Вага *секції* греблі G визначається за її геометричними розмірами та питомою вагою бетону $\gamma_6 = \rho_6 g$ (як відомо, питома вага речовини дорівнює добутку його щільності на прискорення вільного падіння).

Тиск фільтрованої води на підшву греблі виникає завдяки підземному струму води, що протікає під напором по порах і тріщинах у ґрунті основи греблі з верхнього б'єфу в нижній. Наближено значення цієї сили, яка називається *протитиском*, дорівнює:

$$U = \left[H_2 + \frac{\alpha}{2} (H_1 - H_2) \right] \gamma BL, \quad (8.1)$$

де H_1, H_2 – глибини води у б'єфах;

γ – питома вага води;

α – знижуючий коефіцієнт, що враховує вплив протифільтраційних пристроїв та дренажу в основі греблі.

Гідростатичний тиск води з боку верхнього та нижнього б'єфів визначається такими формулами:

$$W_1 = \frac{\gamma}{2} H_1^2 L; \quad W_2 = \frac{\gamma}{2} H_2^2 L. \quad (8.2)$$

Перелічені вище сили відносяться до категорії найголовніших та постійно діючих. Окрім них, у необхідних випадках за особливими формулами враховують динамічний тиск хвиль, тиск льоду, наносів, що відклалися у водосховище, а також сейсмічні сили. Додатковий вплив на міцність бетонної греблі надають нерівномірні коливання температури. Охолодження поверхонь греблі викликає в них розтягуючі напруження і в бетоні, який слабо їм опирається, можуть утворитися тріщини.

В умовах дії названих сил і напору води гребля має бути *міцною, стійкою проти зсуву та водонепроникною* (ця вимога поширюється і на її основу). Крім того, гребля має бути *економічною*, тобто з усіх варіантів, що задовольняють згаданим вимогам, має бути обраний варіант, який характеризується мінімумом витрат.

Щоб перевірити стійкість греблі проти зсуву, розглянемо ще раз сили, що діють на неї. Всі вони в найпростішому випадку можуть бути зведені до двох, а саме до *горизонтальної* сили $A = W_1 - W_2$ (алгебраїчна сума горизонтальних сил) і *вертикальної* сили $N = G - U$.

Перша активна сила прагне зрушити греблю у бік нижнього б'єфу. Друга активна сила підвищує реактивну силу опору зсуву, тобто міцність ґрунту основи, яка залежить не тільки від характеристик ґрунту та площі підшви греблі, а й від сили N . Граничне значення цієї сили опору становить:

$$R = fN + cBL, \quad (8.3)$$

де f, c – відповідно *коефіцієнт внутрішнього тертя* і *питоме* (віднесене до одиниці площі) *зчеплення* – характеристики міцності ґрунту основи, що визначаються *експериментально*, в натурі або в лабораторії.

Очевидно, граничні сили опору повинні перевищувати активні сили, що зрушують, а саме:

$$A < R, \quad (8.4)$$

причому різниця між ними повинна бути тим більшою, чим відповідальнішою є споруда та існує вірогідність отримати більше збитків від її руйнування.

Додатково необхідно підкреслити, що за нескельних ґрунтів основи поверхнею зсуву може бути не тільки плоский контакт споруди та основи, а й криволінійна поверхня, що захоплює частину ґрунту основи.

Крім стійкості, кожна бетонна гідротехнічна споруда повинна бути міцною, тобто такою, щоб діючі в неї екстремальні *напруження* були меншими за відповідні *характеристики міцності бетону*. Ця умова виражається такими нерівностями:

$$\sigma_3 < R_{\text{пр}}; \quad \sigma_1 < R_p \quad (8.5)$$

де σ_3 і σ_1 – відповідно найбільші напруження стиснення та розтягування в тілі греблі;

$R_{\text{пр}}$ і R_p – відповідно міцність бетону на стискування та на розтягування.

Між лівою та правою частинами нерівностей для надійності повинно дотримуватися узаконене нормами співвідношення. Значення бетонів різних марок у 10–15 разів менше за значення $R_{\text{пр}}$. У більшості бетонних гребель, крім аркових, розтягуючі напруження взагалі не допускаються.

Особливе місце в гідротехніці займають питання, пов'язані з *фільтрацією* води з верхнього б'єфу в нижній. Явище це неминуче, і завдання гідротехніки полягає в її прогнозуванні та організації, та запобіганні небезпечних або збиткових наслідків за допомогою інженерних заходів. Шляхами фільтраційних струмів можуть бути, тіло споруди, навіть якщо воно зведене з бетону; основа споруди, особливо коли вона являє собою нескельні або тріщинуваті скельні породи; берега у місцях примикання до них напірних споруд.

Шкідливими наслідками фільтрації є непродуктивні *втрати води* з водосховищ, яка не використовується, таким чином, для народногосподарських цілей, *протитиск*, що знижує ступінь стійкості напірної споруди, та *фільтраційні порушення* або деформації тіла ґрунтової греблі або нескальної основи, зокрема у вигляді суфозії чи випору.

Суфозією, зазвичай, називається винос фільтраційним струмом дрібних частинок через пори між більшими частинками; вона відбувається в незв'язних (сипких) ґрунтах – різнозернистих піщаних, піщано-гравелистих. При хімічній суфозії розчиняються солі, що залягають у скельних породах. *Випор* – це винесення підземним потоком, що фільтрується з-під напірної споруди в нижній б'єф, значних обсягів ґрунту основи, що складається зі зв'язних порід, наприклад суглинків, глин тощо. Інженерні заходи щодо боротьби з неприпустимими фільтраційними явищами залежать від типу греблі та властивостей основи.

8.2 Греблі з ґрунтових матеріалів

Стародавній тип напірних гідротехнічних споруд – це греблі з ґрунтових матеріалів. Залежно від використовуваних ґрунтів греблі бувають однорідні та неоднорідні, у поперечному профілі тіло останніх складається з кількох видів ґрунтів. Для зведення *однорідної ґрунтової греблі* використовуються різні маловодопроникні ґрунти – лес, супіски, суглинки та інші. За конструкцією греблі та її сполучення з основою – це найбільш простий тип напірної споруди (рис. 8.2).

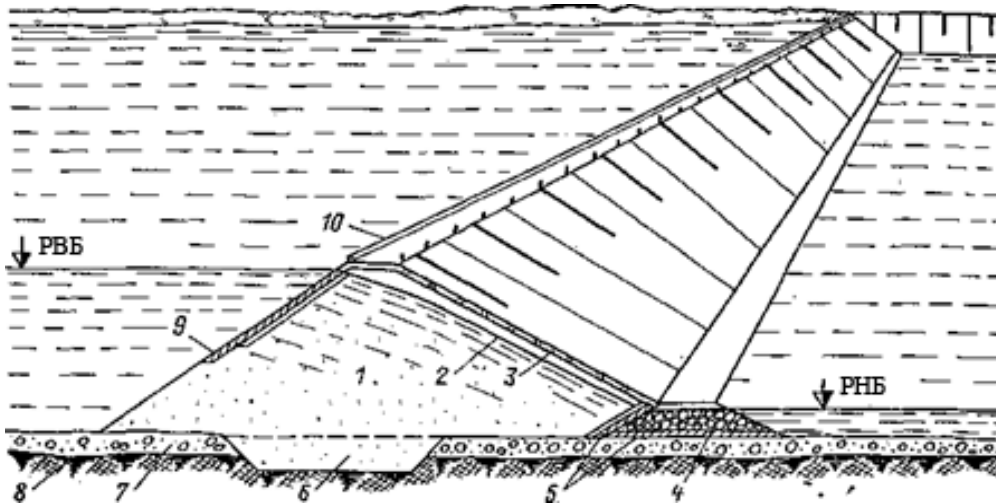


Рисунок 8.2 – Гребля з однорідного ґрунту:

- 1 – гребля; 2 – поверхня води, що фільтрується;
3 – кріплення укосу одерновкою; 4 – дренаж; 5 – зворотний фільтр;
6 – зуб; 7 – водопроникний ґрунт; 8 – водонепроникний ґрунт;
9 – кріплення укосу камінням; 10 – хвилевідбійний парпет

Неоднорідні ґрунтові греблі також поділяються на греблі з *екраном* з маловодопроникного ґрунту, що укладається з боку верхнього укосу греблі, і греблі з *ядром*, у яких маловодопроникний ґрунт розташовується в середині профілю греблі. Замість ґрунтового ядра можуть застосовуватися неґрунтові *діафрагми* з асфальтобетону, залізобетону, сталі, полімерів та інших матеріалів. Екрани також можуть виконуватися із зазначених неґрунтових матеріалів.

Залежно від способу виконання робіт ґрунтові греблі бувають *насипні*, з механічним ущільненням насипаного ґрунту, і *намівні*, що зводяться за допомогою засобів гідромеханізації. Останній спосіб зведення ґрунтових гребель за наявності відповідних умов (забезпечення водою, енергією та обладнанням, наявності відповідного складу ґрунтів тощо) відрізняється високою продуктивністю, що сягає 200 тис. м³/добу.

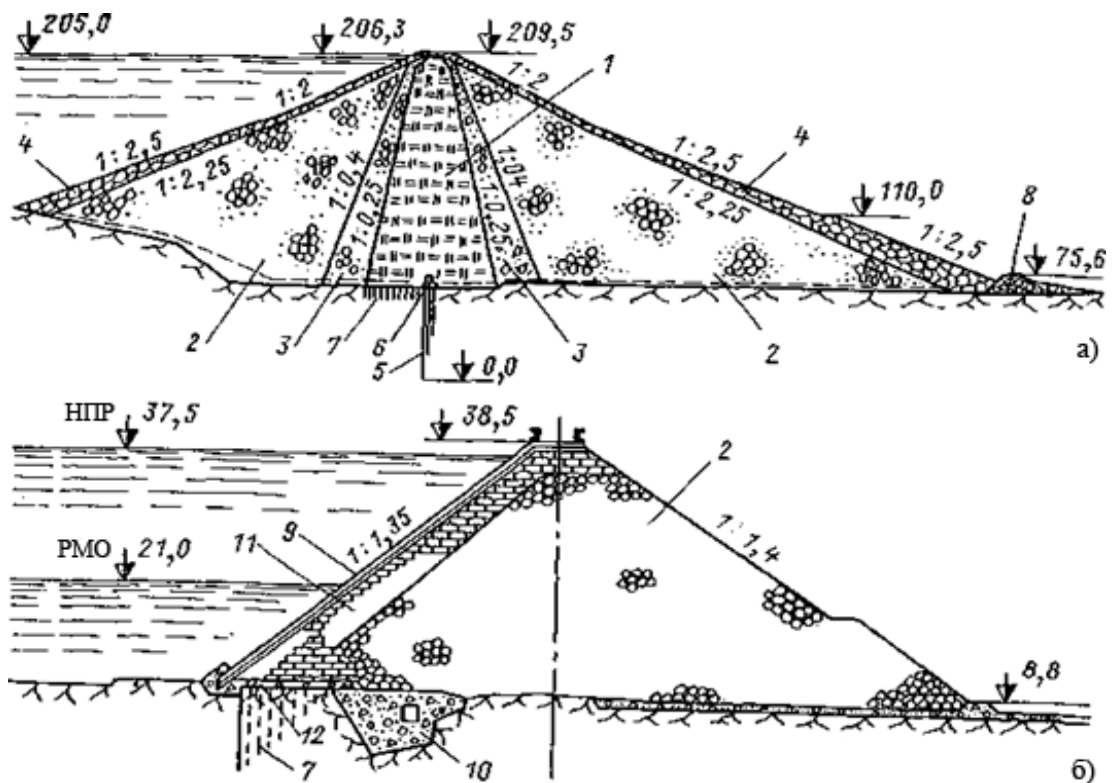


Рисунок 8.3 – Кам'яно-земляна та кам'яно-накидна греблі:

- 1 – ядро із суглинку; 2 – кам'яне накидання; 3 – перехідний шар;
 4 – привантаження з каменю; 5 – цементаційна завіса; 6 – цементаційна галерея;
 7 – зміцнювальна цементація; 8 – низова перемичка; 9 – сталевий екран;
 10 – бетонний зуб із цементаційною галереєю; 11 – підекранова кладка;
 12 – понур

Кам'яно-земляні греблі (рис. 8.3, а) зводяться в основній частині об'єму з накидання каменю; їх водонепроникність досягається влаштуванням *екрану* або *ядра*, що укладаються з маловодопроникних ґрунтів (глин, суглинків, супісків). Між каменем і дрібнозернистим ґрунтом влаштовуються *зворотні фільтри* – перехідні шари з піску і гравію з зростаючою у бік каменю крупністю, щоб запобігти суффузії ґрунту протифільтраційних пристроїв.

Такі греблі знайшли широке застосування у високонапірних гідровузлах на гірських річках. Перевагою їх порівняно з іншими типами гребель є використання наявних на місці будівництва каменю та ґрунту, можливість широкої механізації основних видів робіт (накидання каменю та відсіпання ґрунтів), а також достатня сейсмостійкість. Порівняно з іншими типами ґрунтових гребель кам'яно-земляні відрізняються більшою крутизною укосів, тобто меншим обсягом матеріалів.

Мала ширина малопроникного контакту кам'яно-земляної греблі з основою ускладнює конструкцію їх водонепроникного сполучення. У нескельних ґрунтах потрібно забиття *шпунтового ряду* або закладка *бетонної шпори*, а в скельних влаштовують *цементацийну завісу* шляхом нагнітання цементного розчину через пробурені свердловини в тріщини породи. Подібні сполучення запобігають небезпечним фільтраційним явищам в основі напірних

споруд.

Кам'яно-накидні греблі (рис. 8.3, б; 8.4) зводяться шляхом накидання або відсипання каменю, а їх водонепроникність забезпечується *екраном* на верховому укосі або *діафрагмою* в середині профілю, споруджуваними з негрунтових матеріалів (залізобетон, дерево, асфальтобетон, сталь, пластмаси).



Рисунок 8.4 – Кам'яно-накидна гребля
(фото з відкритих джерел)

Кам'яні греблі зводяться із сухої кам'яної кладки, що також вимагає влаштування екранів, або з кам'яної кладки на розчині. Дані греблі сьогодні будують дуже рідко.

8.3 Греблі зі штучних матеріалів

Бетонні греблі (рис. 8.5) мають широке застосування в гідротехнічному будівництві. Вони будуються в різних природних умовах і допускають переливання води через спеціальні прольоти на їх гребні (водоскидні греблі), що неможливо або нераціонально в греблях із ґрунтових матеріалів. Конструктивні форми їх є дуже різними, що залежить від багатьох чинників.

Полегшені бетонні греблі з'явилися пізніше масивних і мають порівняно невелике поширення. Найбільш відомим різновидом цих гребель є *контрфорсні греблі*. Перевагою їх перед масивними є менший обсяг бетонних робіт. У той же час вони вимагають міцнішого бетону, посилення його сталевую арматурою.

За конструкцією бетонні греблі поділяються на три різновидності: гравітаційні, арочні та контрфорсні.

Гравітаційні греблі (рис. 8.5, а; 8.6) за дії на них основних сил гідростатичного тиску забезпечують достатній опір зсуву, переважно завдяки великій власній вазі.

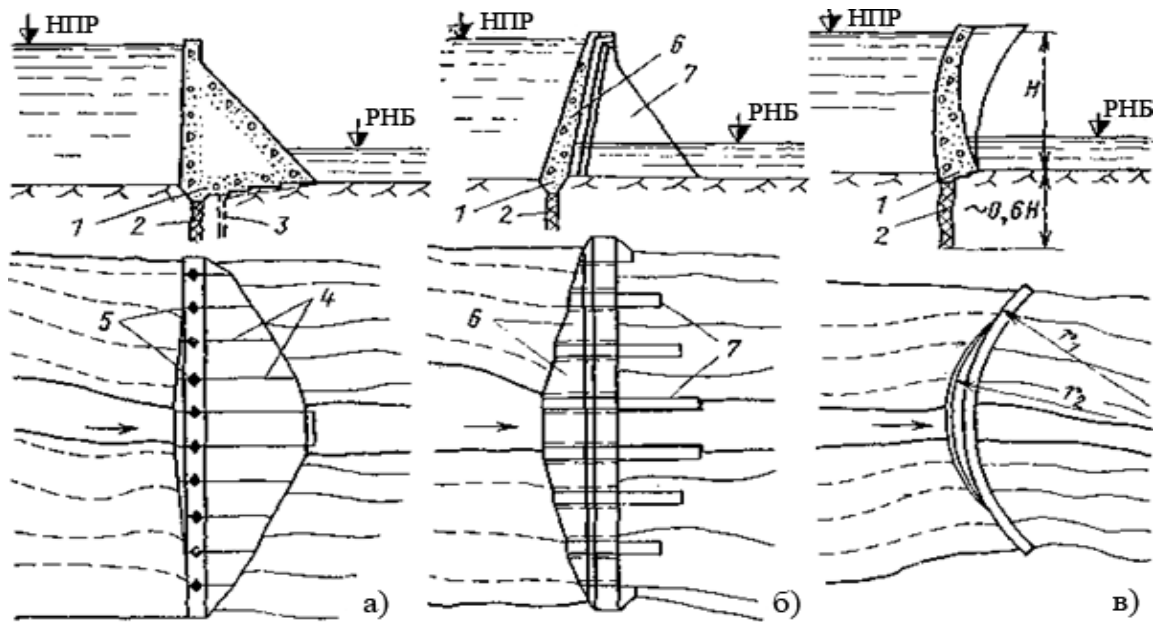


Рисунок 8.5 – Бетонні греблі:

а – гравітаційна; *б* – контрфорсна з плоским покриттям; *в* – аркова;
 1 – зуб; 2 – цементатійна завіса; 3 – дренаж; 4 – температурні шви;
 5 – ущільнення швів; 6 – плита покриття; 7 – контрфорс



Рисунок 8.6 – Бетонна гравітаційна гребля Уїллоу Крік, штат Орегон, США
<https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D1%86%D0%B8%D0%B8%D0%9E%D1%80%D0%B5%D0%B3%D0%BE%D0%BD%D0%B0>

Як показують розрахунки, стійкість і відсутність розтягуючих напружень у верхній грані бетонної гравітаційної греблі забезпечуються в тому випадку, якщо відношення ширини її по основі до висоти B/H становить 0,7–0,8 для скельних ґрунтів, близько 1,0 для піщаних ґрунтів і 1,3 для глинистих ґрунтів основи.

Найчастіше міцність бетону на стиск із надлишком задовольняє вимогам, особливо у верхній частині греблі. Тільки для дуже високих гребель ($H > 160$ м) на скельній основі за економічного відношення $B/H = 0,7$ доводиться застосовувати бетон підвищеної якості для дотримання критерію міцності на стиск у найбільш напружених ділянках греблі.

З метою боротьби з фільтрацією води в основі греблі влаштовують цементацийні завіси (у скельних основах), забивають шпунтові ряди (у нескельних основах). Для підвищення стійкості греблі організують дренажі, влаштовують порожнини, що знижують протитиск та інші заходи.

Аркові греблі (рис. 8.5, в; 8.7), криволінійні в плані з опуклістю у бік верхнього б'єфу, опираються дії гідростатичного тиску та інших горизонтальних зсувних навантажень переважно шляхом упору їх у береги ущелини (або стояни). При зведенні аркових гребель обов'язковою вимогою є наявність доволі міцних і малоподатливих скельних порід у прибережних берегових сполученнях греблі; для таких гребель зазвичай відношення $L/H < 5$, але може бути і більше. Ці греблі не вимагають подібно гравітаційним значної ваги бетонної кладки. Відношення B/H коливається в них у межах 0,1–0,4, і тому вони є більш економічними за гравітаційні греблі. Радіуси кривизни їх аркових елементів збільшуються знизу вгору.



Рисунок 8.7 – Аркова гребля Кельнбрейн, Австрія

(https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D1%80%D0%B5%D0%B1%D0%BB%D1%8F_%D0%9A%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B1%D1%80%D0%B5%D0%B9%D0%BD)

Контрфорсні греблі (рис. 8.5, б; 8.8) складаються з ряду контрфорсів, форма яких на бічному фасаді є близькою до трапеції, розташованих на певній відстані один від одного; на контрфорси спираються напірні перекриття, що сприймають навантаження, які діють з боку верхнього б'єфу. На контрфорси зверху спираються прольоти мостового переходу. Зі свого боку контрфорси передають навантаження на основу. Найбільш відомі такі різновиди контрфорсних гребель: масивно-контрфорсні, з плоскими перекриттями, багатоаркові. Контрфорсні греблі бувають як глухими, так й водоскидними. Вони зводяться на скельних і нескельних ґрунтах. В останньому випадку у них з'являється додатковий конструктивний елемент у вигляді фундаментної плити, призначення якої – зменшити напруження в ґрунті основи. Для надання більшої сейсмостійкості контрфорсам за умов поперечного сейсму (поперек річки) вони іноді зв'язуються між собою масивними балками.



Рисунок 8.8 – Контрфорсна багатоаркова гребля Даніель Джонсон, Канада (https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%95%D0%A1_%D0%9C%D0%B0%D0%BD%D1%96%D0%BA-5)

Особливістю контрфорсних гребель є збільшена ширина по основі і нахил верхової грані, що призводить до того, що на верхову грань передається значна вертикальна складова тиску води, що притискає греблю до основи і забезпечує їй стійкість проти зсуву, незважаючи на зменшення ваги. Протитиск у таких греблях менше, ніж у масивних гравітаційних.

Контрфорсні греблі вимагають менших обсягів бетону, ніж гравітаційні, проте витрати на підвищення якості бетону, арматуру та ускладнення виконання робіт робить їх за економічними показниками доволі близькими одна до одної.

Найвищу контрфорсну (багатоаркову) греблю Даніель Джонсон заввишки 215 м побудовано в Канаді (рис. 8.8).

8.4 Водоскидні греблі

У складі гідровузла, крім глухої греблі, велике значення мають водоскиди, тобто пристрої для скидання надлишків паводкових вод або пропуску витрат іншого призначення. Є кілька різних рішень розташування водоскидів у гідровузлі.

Водоскидні прольоти можуть бути влаштовані в гребні бетонної греблі в руслі або на заплаві річки; тоді споруда набуде вигляду *водоскидної греблі*. Водоскид може бути влаштований незалежно від греблі у вигляді спеціальної споруди, розташованої на береговому схилі і тому званого *береговим водоскидом*.

Як у тілі греблі, так і на береговому схилі водоскидні отвори можуть бути розміщені близько до позначки гребня греблі або глибоко під рівнем верхнього б'єфу. Перші мають назву *поверхневих*, другі – *глибинних або донних водоскидів*.

Поверхневі прольоти водоскидних гребель (рис. 8.9) можуть бути відкритими (без затворів), але зазвичай вони мають *затвори*, що регулюють рівень води верхнього б'єфу. Для запобігання переповнення водосховища затвори відкривають частково або повністю, не допускаючи підвищення рівня води вище за відмітку нормального підпірного рівня (НПР). Для поліпшення умов пропуску води через греблю їй надають плавний, округлий обрис, який далі переходить в круто падаючу поверхню, що закінчується поблизу рівня нижнього б'єфу ще одним зворотним закругленням, що направляє потік в русло річки. Вся довжина *водоскидного фронту* ділиться за допомогою *биків* на ряд прольотів. Бики, крім того, сприймають тиск води від затворів, а також служать *опорами мостів*, призначених для обслуговування підйомних механізмів і затворів і транспортного зв'язку між берегами.



Рисунок 8.9 – Гребля Гранд-Кулі на річці Колумбія, Штат Вашингтон, США (https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%95%D0%A1_%D0%93%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B4-%D0%9A%D1%83%D0%BB%D1%96)

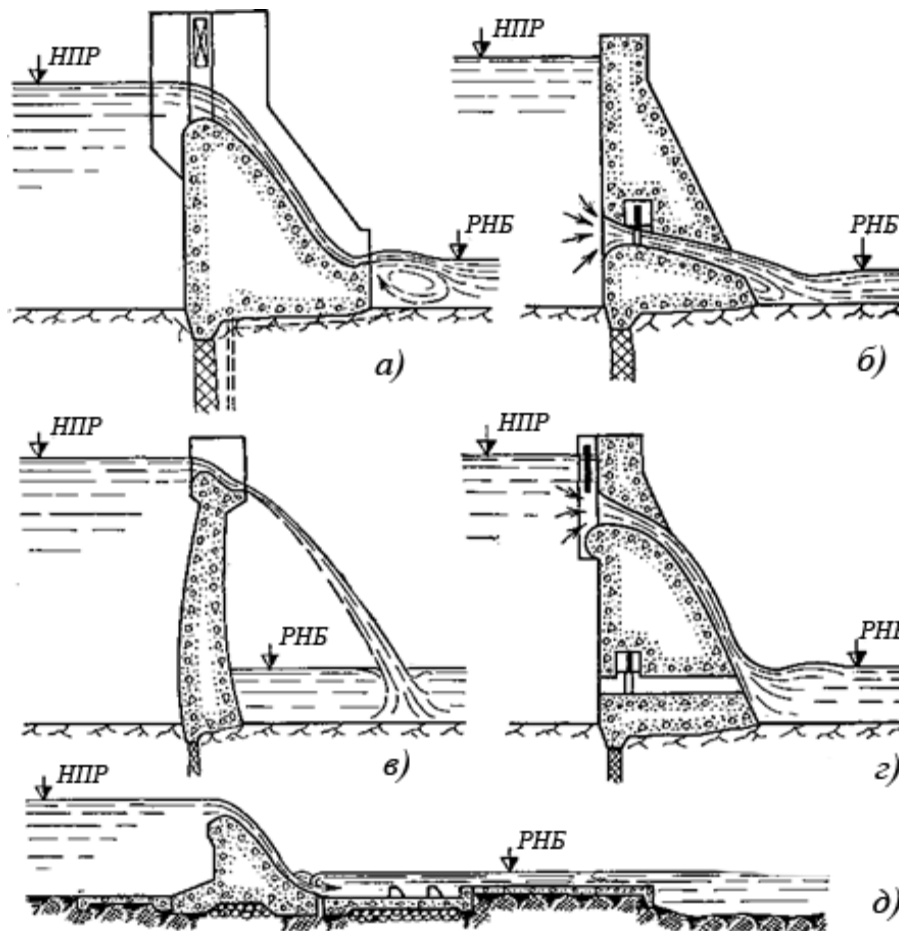


Рисунок 8.10 – Бетонні греблі з різними типами водоскидних отворів:
 а – поверхневий отвір із затвором; б – глибинний; в – поверхневий відкритий з трампліном; г – глибинний та донний;
 д – поверхневий з гасниками в нижньому б'єфі

Вода, що скидається через греблю, має великий запас потенційної енергії, яка переходить у кінетичну. Боротьба з руйнівною енергією потоку, що скидається через греблю, ведеться різними способами.

За водоскидною греблею на водобійній масивній бетонній плиті влаштовують *гасії енергії* у вигляді окремих бетонних масивів – *шашок*, *пірсів* або *залізобетонних балок*, що розташовуються поперек потоку. Ділянку русла біля підосви водозливу поглиблюють, утворюючи так званий *водобійний колодязь* (рис. 8.10, д). Часто для зменшення глибини колодязя на виході з нього додатково влаштовується *водобійна стінка*.

Іноді в нижньому б'єфі водоскидної греблі організують *поверхневий режим* шляхом влаштування в нижній частині водозливу уступу і носка, зриваючись з якого з більшою швидкістю, потік концентрується біля поверхні, а під ним утворюється валець з помірними зворотними швидкостями біля дна (рис. 8.10, а).

При греблях великого напору уступ роблять високим, так що носок височить над рівнем нижнього б'єфу як *трамплін*, і потік, зриваючись з нього,

відлітає від греблі на значну відстань, де його руйнівна робота в руслі буде безпечною для споруд (рис. 8.10, в).

За водозливними греблями, що мають в основі нескальні породи, за водобоями робиться *рисберма* – укріплена водопроникна ділянка русла річки (рис. 8.10, д).

8.5 Берегові водоскиди

Зазвичай на березі водоскиди розташовують (рис. 8.11) у гідровузлах з греблями з ґрунтових матеріалів, що не допускають пропуску витрат води через їх гребінь, а також у гідровузлах з бетонними греблями у вузьких ущелинах, де русло зайняте пригреблевою будівлею ГЕС. Їх типи є дуже різноманітними.

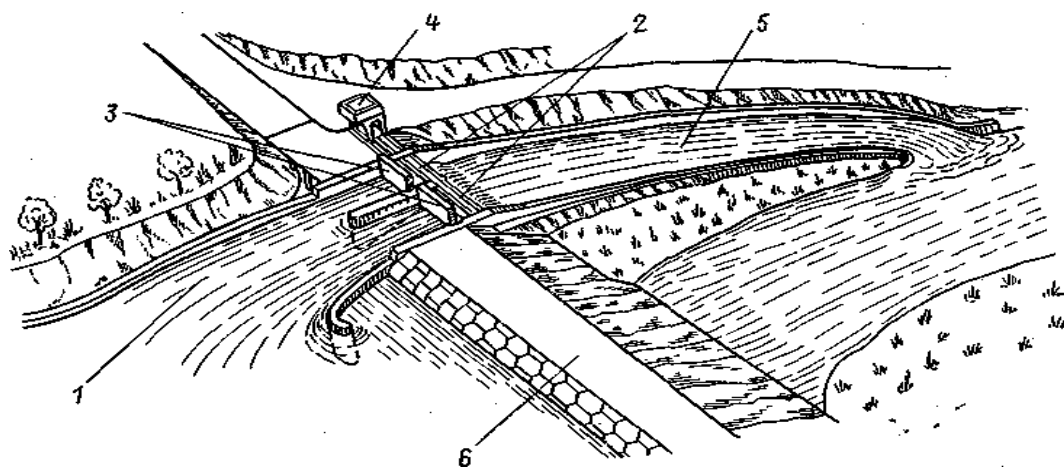


Рисунок 8.11 – Береговий поверхневий водоскид:

1 – підвідний канал; 2 – водозливні прольоти; 3 – затвори; 4 – підйомний кран;
5 – швидкість; 6 – ґрунтова гребля

Найчастіше використовуються *поверхневі водоскиди* (рис. 8.12), у яких потік, що скидається, тече по поверхні берега по відкритій виїмці. Вони розміщуються на одному або на двох берегах, часто поряд з греблею, і мають такі складові: підвідний канал, власне водоскид з водозливними прольотами, биками і затворами (або автоматичної дії без затворів), відвідний канал у вигляді швидкотоку або ступінчастого перепаду (застосовується рідко).

Завершуються берегові водоскиди водобійними пристроями, аналогічними тим, які влаштовуються в нижньому б'єфі водоскидних гребель, – водобійним колодязем або консольним скиданням, а якщо швидкоток прокладений в скельній виїмці, – трампліном, за допомогою якого потік відкидається на безпечну відстань від споруди.

Якщо місцеві умови перешкоджають трасуванню відвідного каналу, то його можна замінити відвідним тунелем; тим самим вийде береговий *водоскид тунельного типу*. Тунельні берегові водоскиди мають такі складові: підвідний канал, розташований на високих відмітках берегового схилу у верхньому б'єфі, сама водоскидна споруда з затворами і відвідний тунель, що закінчується

ділянкою каналу і водобійним пристроєм. На рисунку 8.13 показано схему берегового водоскиду шахтного типу.



Рисунок 8.12 – Береговий поверхневий водоскид
(фото з відкритих джерел)

Форма перерізу тунелю встановлюється залежно від характеру руху води в ньому: для безнапірного руху – підковоподібна; для напірного руху – кругла. За всією довжиною водоскидного тунелю за недостатньо міцних порід влаштовується бетонне або залізобетонне облицювання з метою захисту тунелю від вивалів гірської породи та захисту стін і дна від розмиву.

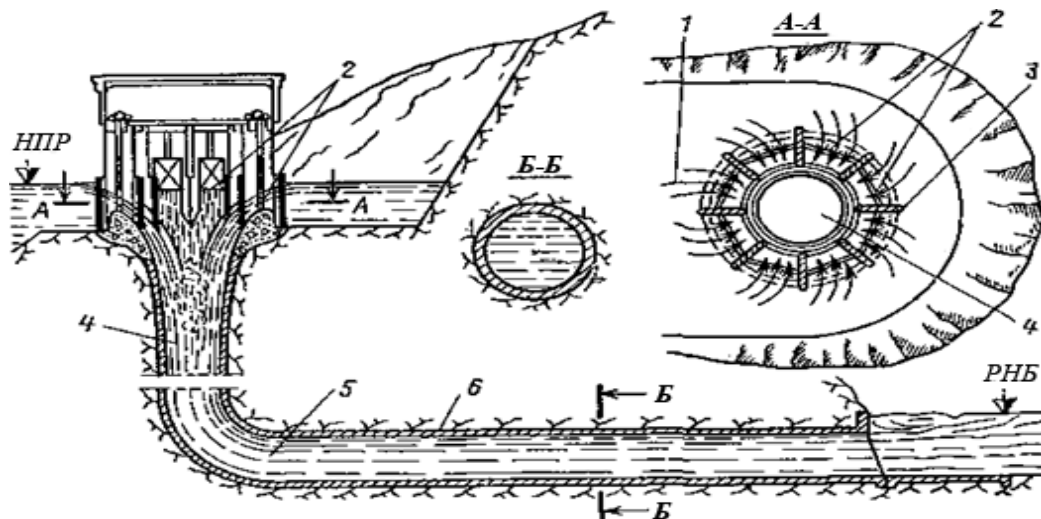


Рисунок 8.13 – Шахтний водоскид:
1 – підвідний канал; 2 – водоскидні отвори із затворами; 3 – бики; 4 – шахта;
5 – відвідний тунель; 6 – облицювання тунелю

Глибинні та донні водоскиди розміщуються на відмітках, близьких до дна водотоку, на якому зводиться гідровузол. Вони влаштовуються з таких цілей: для пропуску річкової витрати в період будівництва греблі в руслі річки (будівельні водоскиди), а в деяких випадках для пропуску всієї або частини скидної витрати. Основні їх різновиди – тунельні та трубчасті водоскиди.

Водоскидні тунелі розташовуються в скельних берегових масивах, в обхід греблі, довжина їх становить кілька сотень метрів, розміри поперечного перерізу визначаються витратою, що пропускається. Форма перерізу будівельних водоскидів зазвичай є підковоподібною. Інші тунелі, які працюють під великим напором, мають круглий переріз.



Рисунок 8.14 – Шахтний водоскид на озері Ледібауер, Великобританія
(http://www.cawater-info.net/all_about_water/?p=7714)

Трубчасті водоскиди розташовуються у гідровузлі залежно від типу греблі. Якщо гребля бетонна (гравітаційна, контрфорсна або аркова), то водоскиди є трубами, що прорізають її тіло від верхнього б'єфу до нижнього і забезпечені затворами (див. рис. 8.17). Коли отвір водоскиду відкритий, потік під дією напору з великою швидкістю скидається в нижній б'єф на безпечну відстань від греблі. Якщо гребля ґрунтова, то трубчасті водоспуски влаштовують під греблею, заглиблюючи в основу (рис. 8.15). Вони є баштою, від якої беруть початок сталеві або залізобетонні труби круглого або прямокутного перерізу в залежності від напору.

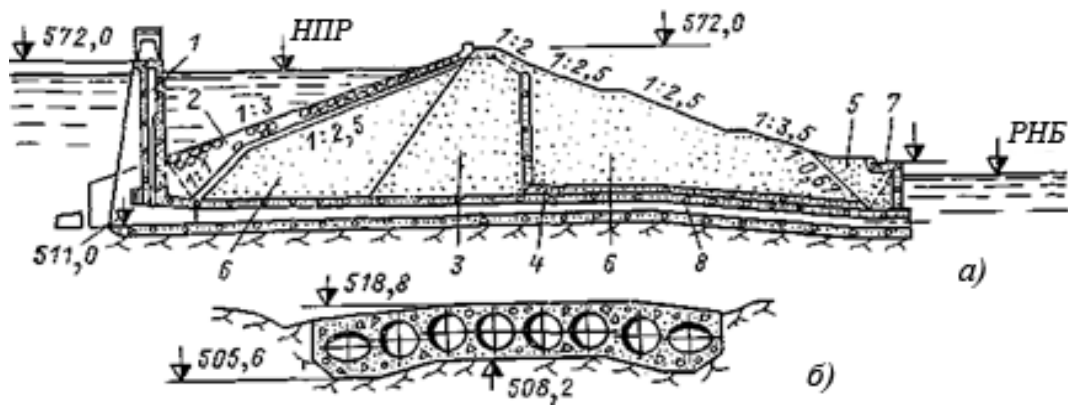


Рисунок 8.15 – Трубчастий водоскид:

a – профіль; *б* – переріз труб; 1 – башта; 2 – кріплення укосу камінням; 3 – ядро;
4 – зворотний фільтр; 5 – дренаж; 6 – проникний ґрунт; 7 – підпірна стінка;
8 – труби



Рисунок 8.16 – Тунель трубчастого водоскиду
(фото з відкритих джерел)

Вони можуть бути одиночними або зібраними у своєрідні «батареї» залежно від витрати. У вхідній та вихідній частині труб розміщують затвори та механізми керування ними. Відвідний канал у трубчастих водоскидів повинен бути укріплений проти розмиву.

8.6 Затвори та підйомники

Основні затвори служать для регулювання скидних витрат і рівнів води у верхньому б'єфі, а також для пропуску в окремих випадках лісу, льоду, сміття, наносів. Ними можна повністю або частково закривати водопропускні отвори.

Конструкція затворів залежить від їхнього розташування; затвори поверхневих отворів, часто великих розмірів, сприймають порівняно невеликий

гідростатичний тиск (рис. 8.17), затвори глибинних отворів, що мають значно менші розміри, відчувають великий гідростатичний тиск. Затвори виготовляють найчастіше зі сталі, за невеликих напорів і прольотів отворів, що перекриваються – з дерева, в низьконапірних невідповідних спорудах з великими прольотами – з тканинних матеріалів (тканинні греблі).

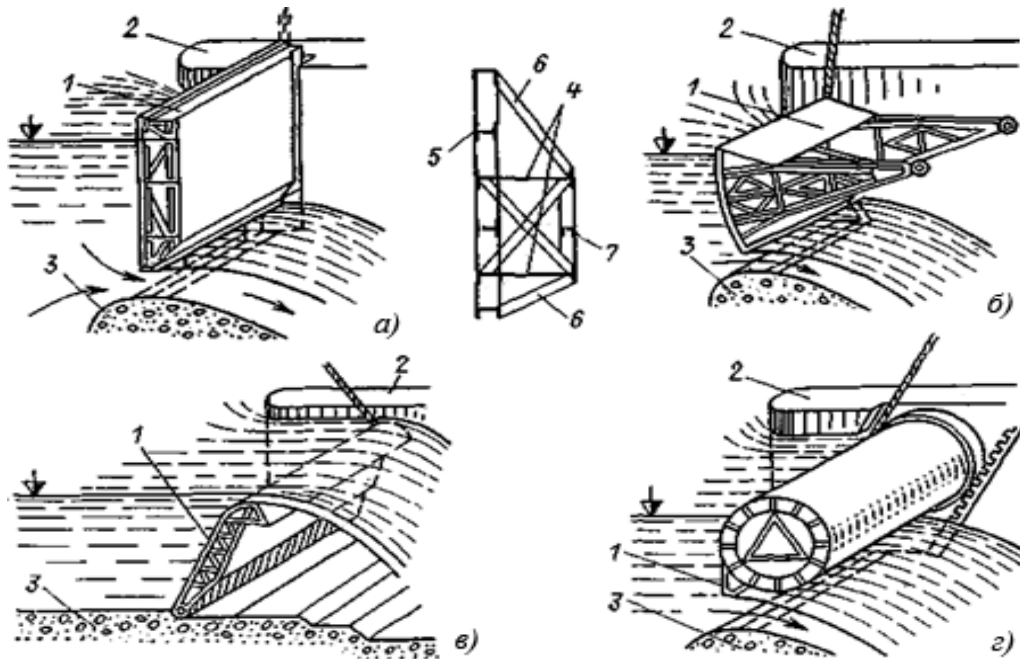


Рисунок 8.17 – Затвори поверхневих отворів:

а – плоский ; *б* – сегментний; *в* – клапанний; *г* – вальцьовий; 1 – затвор; 2 – бик; 3 – поріг водозливу; 4 – головні ригелі; 5 – допоміжні ригелі; 6 – поперечні зв'язки; 7 – поздовжні зв'язки

Найбільшого поширення в гідротехнічних спорудах набули *плоскі затвори* (рис. 8.17, а), які становлять металеву конструкцію у вигляді щита, що переміщається у вертикальних пазах биків і стоянів. Складовими частинами плоского затвору є: водонепроникна обшивка, що сприймає тиск води верхнього б'єфу, далі система балок, ферм і опорних конструкцій, що котяться або ковзають спеціальними рейками, закладеними в пазах. Маса рухомої частини затворів є доволі істотною, за великих висот і прольотів вона може перевищувати 100 т, що потребує потужних підйомних механізмів. Щоб зменшити підйомне зусилля механізмів, застосовують *сегментні затвори*, які при підйомі їх і опусканні обертаються навколо шарнірів, розміщених у биках і стоянах (рис. 8.17, б). Такі затвори мають також широке застосування, але їх вартість перевищує вартість плоских затворів.

Існує велика кількість інших типів затворів (рис. 8.17, в, г).

Ремонтні затвори, що встановлюються в спеціальних пазах, щоб оглянути основні затвори або їх відремонтувати, зазвичай виготовляють у вигляді щитів малої висоти, званих *шандорами*.



Рисунок 8.18 – Вальцьовий затвор, Гончарівська гребля, Харків, Україна
(<https://wikimapia.org/952013/uk/%D0%93%D0%BE%D0%BD%D1%87%D0%B0%D1%80%D1%96%D0%B2%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B0%D0%B3%D1%80%D0%B5%D0%B1%D0%BB%D1%8F>)

Як підйомні механізми для затворів застосовуються пересувні *крани* або стаціонарні *підйомники*. На них можуть бути змонтовані як звичайні *лебідки*, так і більш досконалі *гідравлічні підйомники*.

8.7 Водоприймачі

Призначення водоприймача. Водоприймачами називають частини водозабірних споруд, основне призначення яких – *забір води* з водотоку (річки, каналу) або водоймища (озера, водосховища); дію, для якої вони призначені, можна називати – водозабором (рис. 8.19).



Рисунок 8.19 – Водозабірна споруда, Краснопавлівське водосховище, Харківська область, Україна
(<https://kharkivoda.gov.ua/news/113324>)

Кількість води, що забирається споживачем в одиницю часу, тобто витрата води, змінюється в часі від максимуму, що відповідає встановленій потужності виробництва, теоретично до нуля. Регулює витрату води зазвичай споживач, проте вода може надходити до нього не безпосередньо, а по довгому каналу, тоді необхідно регулювати одночасно і відповідно до споживання витрати води у водоприймачі, відкриваючи та закриваючи отвори, і це входить до його функцій. Забір води повинен бути забезпечений за будь-якого підпірного рівня – від нормального (НПР) до найнижчого рівня мертвого об'єму (РМО).

Вода у водотоці чи водоймі містить різні домішки, які за складом чи обсягом перешкоджають нормальному використанню води споживачем. До функцій водозабірної споруди входить *очищення води* від домішок та сторонніх тіл. Часто доведення до необхідної кондиції води, попередньо очищеної у водозабірній споруді, входить у цикл операцій, що здійснюються на виробництві, яке використовує воду.

До домішок, що потрапляють у воду, входять наноси. Якщо вода забирається з озера або водоймища великої місткості, де наноси осідають на дно, споруди для очищення води від наносів не влаштовуються.

Іншими поширеними домішками, що підлягають видаленню з води, що надходить у водоприймач, є *деревні* та інші рослинні відходи – *пливучі*, а також ті, що тягне біля дна (так звані *топляки*). Відходи лісу з'являються в результаті лісозаготовчих робіт і лісосплаву, особливо за молевого сплавання. При розмиві берегів, особливо після утворення і наповнення водосховища, в річку потрапляють невикорчовані кореневища зрубаних або засохлих дерев – так звані карчі або корчі. Гілки і листя, очерет, очерет теж є сміттям, що не допускається у водоприймач. Масивними представниками рослинного сміття є торф'яні плавучі острови – *ліжми*, що утворюються під час наповнення водосховища в результаті відриву і спливання верхнього шару торфу, що не розклався, який легший за воду і пов'язаний кореневою системою рослин.

Ще один вид неприпустимих домішок утворює сама вода; це лід у різних його різновидах: поверхневий у вигляді окремих крижин і внутрішньоводний, так звана *шуга*. Накопичення шуги можуть забити водоприймач, захаращувати водовід, вивести з ладу обладнання (турбіни, насоси, затвори, решітки) тощо.

Звичайно, неприпустиме попадання з водоприймачів риби, водоплавних птахів не тільки з позицій технології виробництва, що розглядає їх як «сміття», але і з точки зору охорони природного середовища.

Ще одна важлива функція покладається на водоприймач як на головну споруду водної системи, що живить те чи інше виробництво або комплекс споживачів. Даній системі може знадобитися огляд чи профілактичний (поточний) ремонт. Водоприймач повинен забезпечувати можливість відключення надходження води в систему. Якщо необхідність відключення системи водозабезпечення виникає раптово – аварія в системі, розрив трубопроводу, прорив дамби каналу, то водоприймач повинен реагувати на це швидко, автоматично та надійно.

Конструкції водоприймача. Конструкція та обладнання у приймача значною мірою залежать від типу гідровузла; русловий низьконапірний, пригребельний або дериваційний (останній – з високою або з низькою греблею) і від виду водоводу – напірний (трубопровід, тунель) або безнапірний (канал, лоток). Тому опис конструкцій та обладнання водоприймачів та їх роботи можливе лише окремо для кожного типу.

Розміри водоприймача характеризуються габаритами його вхідного перерізу, де розташовуються *сорозатримуючі решітки* (часто їх називають сороутримуючими). Для полегшення очищення решіток та зменшення втрат напору на решітках швидкості течії на вході в приймаються не більш ніж 1,0 м/с. За витрати води Q і швидкості v визначається площа входу $\omega = Q/v$. Площа входу водоприймачів великих турбін вимірюється сотнями квадратних метрів.

У тілі високої бетонної греблі зазвичай розміщують водоприймачі пригребельних ГЕС, розташованих у руслі річки, біля низової грані греблі. У цьому випадку водоводи, що подають воду від водоприймача до турбін ГЕС, є короткими.

Якщо коливання рівня верхнього б'єфу в процесі експлуатації є невеликими, глибина призми регулювання від НПР до РМО є малою, то водоприймач вбудовується у верхню частину греблі, його конструкції та обладнання виходять легшими (тиск менше), а експлуатація простішою (рис. 8.20).

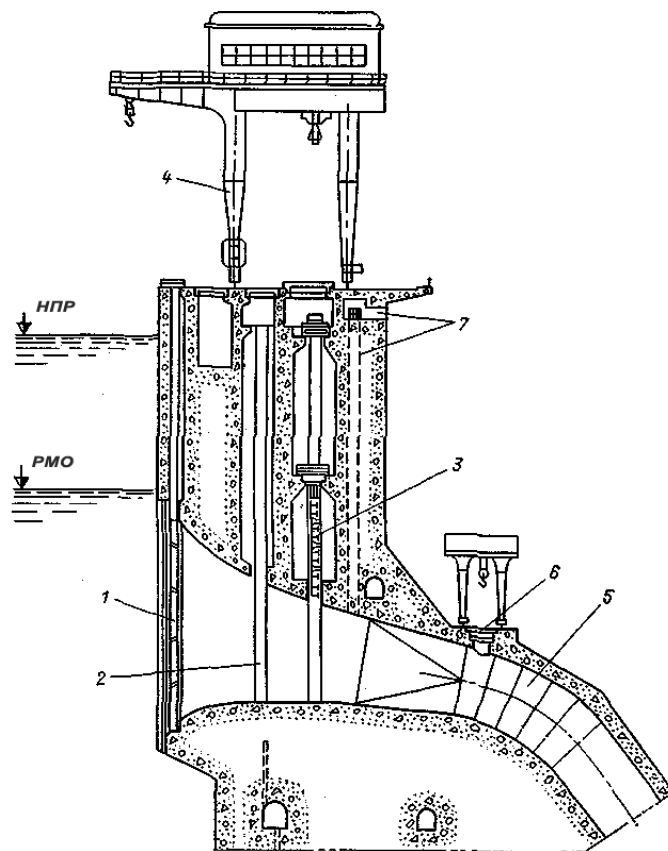


Рисунок 8.20 – Водоприймач у тілі бетонної греблі

Водоприймач даного типу, індивідуальний для кожної турбіни, являє собою прямокутний отвір в масиві греблі, що поступово звужується і переходить у круглий переріз турбінного водоводу 5. За великої витрати води та великих розмірів отвору вхід до нього поділяється биками на два, іноді на три прольоти, щоб полегшити елементи обладнання. Входу і бикам надається обтічна форма, щоб зменшити опір течії води.

Верхня частина входу закривається залізобетонною стінкою – *забралом*, опущеним нижче за РМО. Забрало сприймає тиск льоду, затримує плаваючі предмети. У передній частині входу у водоприймач встановлюється *решітка 1* зі стрижнів смугової сталі для затримання зваженого у воді сміття, що може пошкодити турбіну. У процесі експлуатації сміття, що накопичується у водоприймачі і на решітці, забирається механічними граблями, грейфером і подібним підйомним обладнанням, оскільки при засміченні решітки істотно зростає її опір течії води.

Проблеми боротьби з наносами для водоприймачів цього типу не існує. Вода може бути каламутною, але дрібні завислі наноси безпечно проходять через турбіну.

За решітками в биках влаштовуються *пази для встановлення затвору 3* та припинення подачі води в турбінний водовід. Хоча турбіна сама регулює і може припинити споживання води, на затвор часто покладають обов'язок закривати отвір у разі аварії в турбіні або розриву трубопроводу. Це роблять на високонапірних гідроелектростанціях, такі затвори є *аварійно-ремонтними*, забезпечуються індивідуальними швидкодіючими підйомниками. Щоб мати можливість утримувати у справності та ремонтувати швидкодіючий затвор, попереду нього влаштовуються *пази для ремонтного затвору 2*. Потрапити до затвору для огляду та ремонту можна через оглядовий люк 6.

Ремонтний затвор є простішим, від нього не вимагають швидкодії, він опускається не у потік, а у спокійну воду. Встановлення його може проводитися монтажним краном, що обслуговує ремонтні затвори всіх водоприймачів ГЕС. На низьконапірних ГЕС аварійно-ремонтні затвори часто не встановлюють, обмежуючись одними ремонтними.

За затвором влаштовується *повітропровід 7* – труба для подачі в турбінний водовід повітря, яке заміщає воду, що йде через турбіну у разі закриття водоприймача аварійно-ремонтним затвором. Якщо цього не зробити, то в трубопроводі утворюється вакуум і на трубопровід і затвор почне діяти зовні атмосферний тиск, що може призвести до аварії. Вхід у водовід повітря повинен бути розташований вище за рівень води у верхньому б'єфі, інакше вода потече через нього під час роботи турбіни.

Для зручності експлуатації над водоприймачем зводиться будівля, обладнана мостовим *монтажним краном*. У сприятливих кліматичних умовах будівлю не будують і застосовують монтажний кран порталного типу 4.

Якщо коливання рівня верхнього б'єфу є значним або водосховище в процесі регулювання спрацьовується до дна (це характерно для гідровузла, у складі якого немає пригребельної ГЕС), то водоприймач вбудовується у нижню

частину греблі.

Вхід у водоприймач з верхової сторони греблі обладнується решіткою 1, затвори – основний 3 і перед ним ремонтний 2 – розташовуються на трубопроводі 5, що виходить із греблі з низового її боку (рис. 8.21). За необхідності на вході замість решіток може бути встановлений ремонтний затвор. Вхід у водоприймач розташовують якомога глибше, щоб повніше використовувати обсяг водосховища для регулювання стоку річки, проте вище для прогнозованого рівня замулювання водосховища річковими наносами, які будуть в ньому осаджуватися. Для обслуговування затворів влаштовують приміщення, обладнане краном 4.

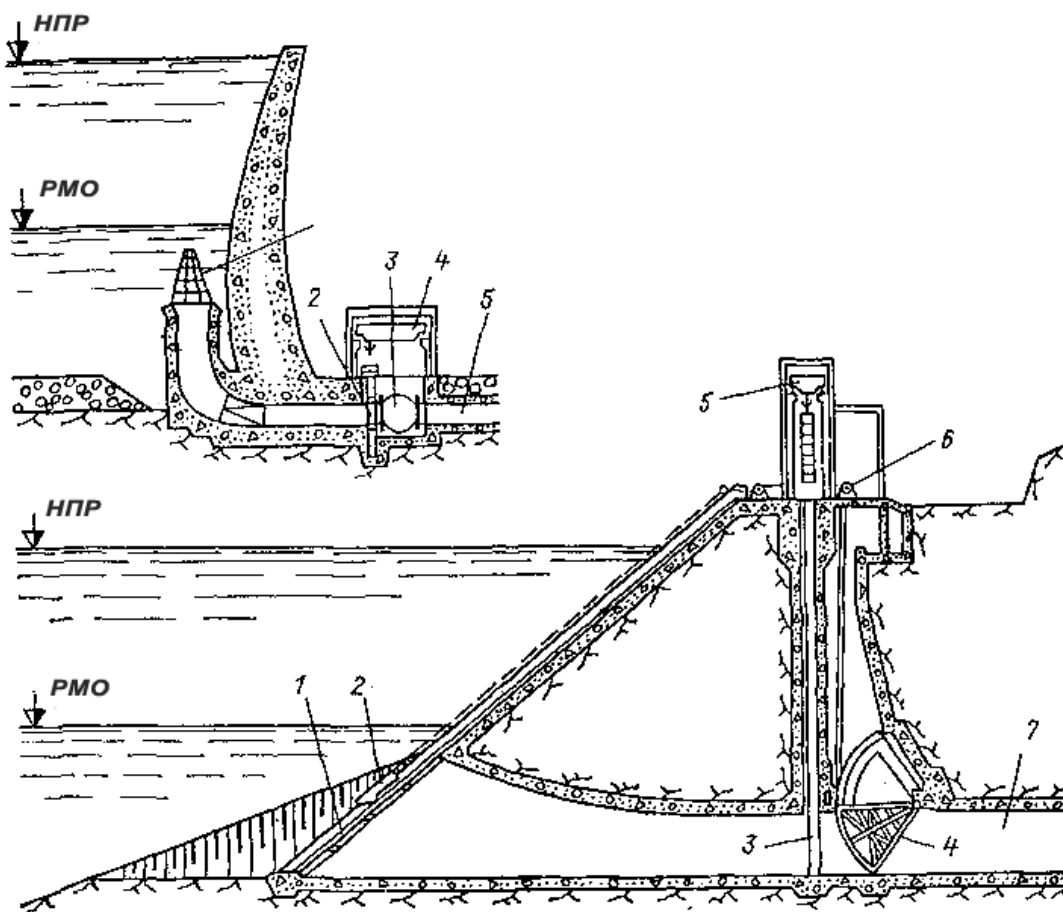


Рисунок 8.21 – Глибинний водоприймач у тілі аркової греблі та глибинний береговий водоприймач

Зарегульована витрата води в цьому випадку часто надходить до споживача не безпосередньо, а по дериваційному каналу, протрасованому по берегу річки або прямо по річці. Такого роду водоприймач називають водовипуском.

Основний затвор виконує у цьому водоприймачі відповідальну функцію – регулювання витрати води відповідно до графіку водоспоживання. Цей затвор зазвичай працює за часткового відкриття, що накладає особливі вимоги на його конструкцію – тобто на умови протікання, відсутність вібрації під час

знаходження в потоці, дистанційне керування.

Рух затвору здійснюється за допомогою *гідроприводу*. У гідроприводі масло, що знаходиться під тиском у циліндричному корпусі, приводить у рух поршень, який і переміщує затвор. Все це обладнання розташовується в приміщенні з монтажними пристроями.

У гідровузлах з греблями з ґрунтових матеріалів гідроелектростанція розташовується на деякій відстані від греблі. За будь-яких гребель гідровузол може компонуватися за дериваційною схемою, в якій витрата води подається споживачу за допомогою деривації – більш-менш довгому водоводу. В обох цих випадках, оскільки і гідроелектростанція, і деривація розташовуються на березі, на тому ж березі розташовують й водоприймач.

За малих коливань рівня верхнього б'єфу водозабірну споруду розташовують на високих відмітках берега, це так званий *поверхневий береговий водоприймач*. За великого діапазону експлуатаційних рівнів водосховища необхідно влаштовувати *глибинний береговий водоприймач*, розташовуючи його трохи нижче за РМО.

Є два різновиди глибинних берегових водоприймачів. Якщо вода подається в тунельну деривацію, то вхід у водоприймач є розширеним *порталом тунелю*, обладнаний сміттєзатримуючою решіткою 1, до якої по рейкових коліях може опускатися решіткоочисна машина 2 (рис. 8.21).

Затвори водоприймача, аварійно-ремонтний 4 і просто ремонтний 3, розташовуються в шахті на початковій ділянці тунелю. Шахта може бути заповнена водою, однак, якщо тунель 7 ізолювати від шахти перекриттям, шахта може стати сухою. Підйомники 5, 6 розташовуються або в приміщенні над шахтою, або безпосередньо над затворами в шахті, якщо вона є сухою.

Другий різновид глибинної берегової водозабірної споруди – *баштовий водоприймач*. Цей тип водоприймача доцільний за гребель із ґрунтових матеріалів та деривації у вигляді трубопроводу. За конструкцією він нагадує баштовий (трубчастий) водоскид (див. рис. 8.15).

Башта розташовується безпосередньо перед греблею. Вхідні отвори в ній влаштовуються з усіх боків, нижче РМО водосховища. Отвори обладнуються решітками та індивідуальними основними затворами. Ремонтні затвори можна встановлювати в пазах, призначених для решіток.

Башту вінчає приміщення робочих та монтажних механізмів. Щоб потрапити до цього приміщення, до нього з гребня греблі влаштовують міст. З водоприймальної башти вода надходить у деривацію по початковій ділянці трубопроводу, що укладається в траншею під ґрунтовою греблею.

Баштові водоприймачі не рекомендується влаштовувати в холодному кліматі, оскільки башта може вмерзнути в лід і бути зміщена під час зсувів і підйому крижаного поля (під час підвищення рівня води в б'єфі).

Склад і тип споруд поверхневих берегових водоприймачів змінюється залежно від типу дериваційного гідровузла – з високою греблею та водосховищем великого об'єму або, навпаки, гребля та водосховище є невеликими.

Глибоке водосховище відіграє роль величезного відстійника, і у даному випадку захищати деривацію від наносів немає потреби. Тип та конструкція поверхневого берегового водоприймача мало відрізняються від врізаного у верхню частину бетонної греблі. Оскільки поверхневий водоприймач подає воду в канал, в кінці якого, в так званому *напірному басейні*, влаштовується перед гідроелектростанцією друга споруда, подібна до водоприймача, функції розглядаємого водоприймача полегшуються. Аварійно-ремонтні затвори переносяться у напірний басейн, у водоприймачі залишаються лише ремонтні затвори. Основні решітки встановлюються в напірному басейні, у водоприймачі ставляться грубі решітки (з великими просвітами) для затримання великого сміття з водосховища.

Все це стосується випадку, коли дериваційний канал має помірну довжину і малий ухил, берми його і гребінь дамб розташовані вище за рівень водосховища. У такому каналі при зупинці ГЕС рівень води піднімається до рівня верхнього б'єфу, і надходження води в канал припиняється без участі затворів водоприймача (деривація, що саморегулюється). Якщо канал є довгим і ухил його є великим, то для зменшення розмірів поперечних перерізів каналу гребінь дамб роблять з ухилом, паралельним дну. У цьому випадку у водоприймачі, крім ремонтних, встановлюють основні затвори для регулювання витрат, що надходять у канал, відповідно до споживання (регульована деривація).

Боротьба з наносами та шугою. Наноси, особливо великі, переміщуються річкою лише за великих швидкостей і витрат, тобто під час весняної повені і за літньо-осінніх паводків. Взимку й у літню межу вода стає чистою. У гірських річках кількість наносів у воді – її каламутність, може бути дуже великою. Наприклад каламутність р. Кури досягає 35 кг/м^3 ; р. Хуанхе, басейн якої розташований на великому лесовому плато, характеризується винятково високою каламутністю – до 500 кг/м^3 .

Щоб запобігти попаданню *донних наносів* у деривацію під час паводку, потік ділять на дві частини (на більш освітлений і на насичений наносами), один потік направляють у водоприймач, інший по річці в нижній б'єф.

В одному з типів водозабору для низьконапірних гідровузлів використовують ефект поперечної циркуляції потоку на повороті; у ньому водоприймач розташовується на увігнутому березі, куди за інерцією відхиляються поверхневі, більш світліші струмені, відтісняючи донні струмені до протилежного, опуклого берега.

Водоприймач іншого типу (рис. 8.22) є двоярусним береговим прольотом низьконапірної водозливної греблі; в отвори нижнього ярусу пропускаються донні наноси, у верхній ярус надходить менш каламутна вода, яка потрапляє в дериваційний канал.

Зважені наноси осідають у відстійнику. *Відстійник* розташовується в головному вузлі або на трасі деривації, він являє собою довгий резервуар великого поперечного перерізу, в якому швидкості перебігу не перевищують $0,5 \text{ м/с}$ і наноси, що великою кількістю перевищують допустимі межі, осідають

на дно. Періодично або безперервно ці наноси змиваються промивними галереями і підземними пульповодами в нижній б'єф (рис. 59). Витрата води на промивання відстійника від наносів регулюється в залежності від їх кількості та крупності відкриттям отворів у промивних галереях, де для цієї мети встановлено затвори. Типи відстійників та системи їх промивання є різноманітними.

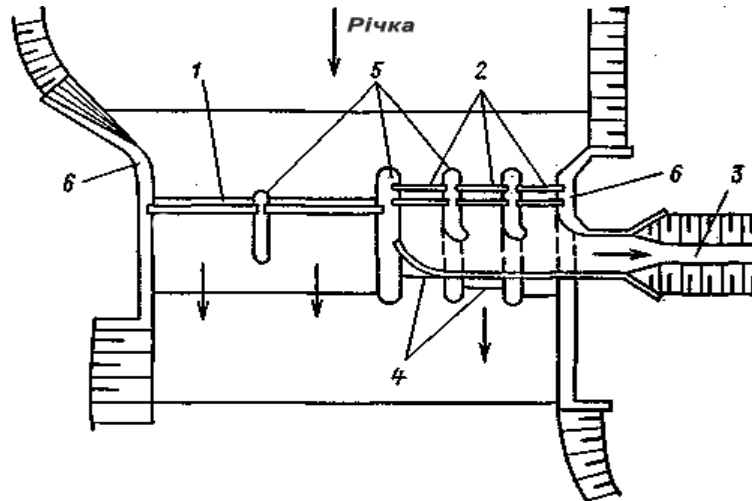


Рисунок 8.22 – Двоярусний водозабір (план):

- 1 – водозливна гребля; 2 – отвори водоприймача (верхній ярус);
3 – дериваційний канал;
4 – донні отвори для промивання наносів (нижній ярус); 5 – бики; 6 – стояни

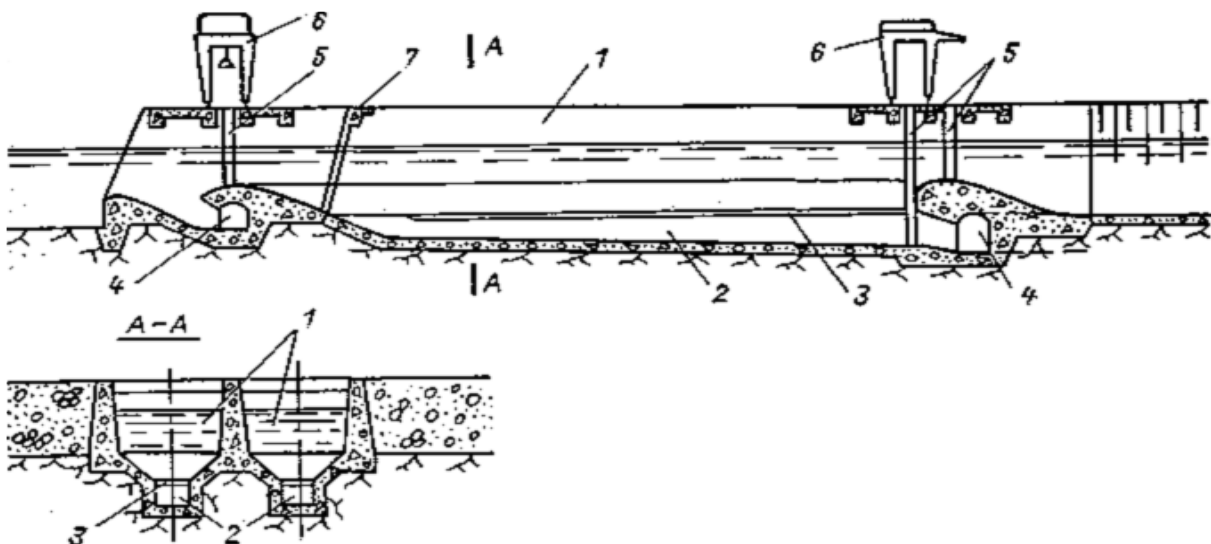


Рисунок 8.23 – Двокамерний відстійник безперервної дії:

- 1 – камери відстійника; 2 – промивні галереї; 3 – решітка; 4 – вхід в пульповід;
5 – пази затворів; 6 – підйомники; 7 – розподільна решітка

Надходження *шуги* в дериваційний канал не збігається за часом з наявністю у воді наносів. Шуга з'являється лише у маловодний зимовий період. За великих швидкостей і поворотів (завдяки поперечної циркуляції) шуга поширюється по всьому перерізу потоку; за малих швидкостей шуга спливає і зупиняється, змерзаючись у великі скупчення (зажери). В обох випадках виділяти її із води складно.

Шугу затримують у верхньому б'єфі встановленням *запонець*¹, потім скидають у нижній б'єф через проліт водозливної греблі. Якщо все-таки вона проникає в канал, то там влаштовують *шугоскиди* різної конструкції. Вони засновані на тому принципі, що шуга рухається з водою за помірних швидкостей 0,7–1,5 м/с у вигляді суспензії в поверхневому шарі. На прямій ділянці каналу влаштовують горизонтальну діафрагму-лоток, яка відокремлює цей шар від основного потоку, що протікає під діафрагмою, і скидає його разом із шугою за межі дериваційного каналу. Висотне положення діафрагми можна регулювати в залежності від рівня води в каналі та кількості шуги.

8.8 Водоводи

Призначення водоводів. Вода, що надійшла у водоприймач і була очищена від домішок, повинна доставлятися споживачеві відповідно до графіку споживання, що являє собою залежність витрати води від часу, $Q = f(t)$. (Ця витрата дорівнює добутку площі поперечного перерізу потоку у водоводі на швидкість струму. Рух потоку супроводжується витратами потенційної енергії, тому поверхня води в безнапірному водоводі (відкритому або закритому незаповненому) має *поздовжній уклін*. З тієї ж самої причини має уклін п'єзометрична поверхня напірного водоводу (закритого заповненого).

П'єзометричною поверхнею називають геометричне місце рівнів, які б встановилися у п'єзометрах (вертикальних відкритих зверху трубках), якби їх приєднали до напірного водоводу. Висота п'єзометричної поверхні над напірним водоводом характеризує тиск на ньому, виражений в метрах водяного стовпа.

Однією з основних вимог до водоводів будь-якого типу є *водонепроникність* їх стінок. Вода не повинна губитися на шляху, і ці втрати не повинні заболочувати прилеглу територію. Для гідроелектростанції необхідно також, щоб потенційна енергія потоку якомога менше губилася на шляху, щоб уклін його вільної або п'єзометричної поверхні був невеликим. Для цього стінки водоводу повинні бути гладкими та характеризуватися малим опором течії.

Гладкі стінки потрібні водоводам і зрошувальним системам і системам

¹ Запань (Запонець) – інженерна загороджувальна споруда в природній або штучній акваторії, що являє собою огорожену плавучими конструкціями (споруджуваними зазвичай з колод або дерев'яних ферм, пов'язаних шарнірами) водну поверхню і використовується для тимчасового або остаточного затримання, надання потрібного напрямку руху плавучих об'єктів (ліси, льоду, сміття та ін.) у певному місці водотоку (зазвичай це сплавні річки та канали) або водоймища (озера, водосховища тощо). Запанню також часто називають самі огорожувальні пристрої.

водопостачання – чим вище буде підведена вода, тим легше забезпечити її самопливну подачу споживачам, тим меншими будуть витрати енергії на роботу насосних станцій. Тільки для судноплавних каналів шорсткість стінок не має значення, оскільки швидкості в них є дуже малими або дорівнюють нулю.

Стінки водоводів не повинні розмиватися швидкостями течії і хвилюванням (хвилі виникають, наприклад, під час руху суден каналами).

Розміри поперечного перерізу водоводу визначаються на основі техніко-економічних розрахунків. Серед варіантів, що задовольняють технічним вимогам, вибирають *економічно найвигідніший*. Водовод малого перерізу вимагає менше *капіталовкладень*, однак великі швидкості, що властиві йому, збільшують втрати енергії, тобто *щорічні витрати*. У водоводі великого перерізу втрати енергії є малими, але вартість самого водоводу є високою. Оптимальним є варіант, якому відповідає *мінімум наведених витрат*.



Рисунок 8.24 – Магістральний водовід
(фото з відкритих джерел)

Тип і конструкцію водоводу також визначають на основі техніко-економічних порівнянь. Залежно від призначення водоводу, його розмірів, природних умов та умов будівництва та експлуатації як водовід можуть застосовуватися канали, лотки, трубопроводи, тунелі. Перші два типи – безнапірні, третій – напірний; тунель може бути і напірним і безнапірним (якщо він не заповнений водою повністю). Найчастіше оптимальне рішення досягається послідовним поєднанням ділянок водоводу різного типу.

Дериваційний водовід гідроелектростанції поділяється її місцем розташування на дві частини – підвідну та відвідну.

До зрошуваної території підводить воду магістральний водовід, а відводить невикористану частину води колектор; до промислового підприємства або населеного пункту підводить воду водовід системи

водопостачання, а відводить водовід системи водовідведення (каналізації).



Рисунок 8.25 – Дериваційний водовід Тересбля-Ріцької ГЕС
(фото з відкритих джерел)

Судноплавні канали (іноді це безнапірні тунелі) в принципі не можна називати водоводами, оскільки рух води в них є необов'язковим, а надто великі швидкості навіть зовсім є недопустимими. Зазвичай канали розділені шлюзами або суднопідйомниками на ділянки, що розташовані на різній висоті. Цими каналами судна переміщуються з басейну однієї річки в басейн іншої річки через вододіл, відповідно розрізняють два схилу судноплавного шляху. Зрідка вдається побудувати відкритий судноплавний канал (без шлюзів, весь на одному рівні), тоді він являє собою одне ціле.



Рисунок 8.26 – Північно-Кримський канал
(<https://epravda.com.ua/news/2021/04/26/673353/>)

Канали, лотки. Найпростішим і найдешевшим типом водоводу зазвичай є канал. *Канали* поширені у всіх галузях гідротехнічного будівництва. Витрати води, що визначають розміри поперечних перерізів каналів, коливаються від дуже малих значень до значних. Довжина каналів так само варіює в широких межах.

Економічні швидкості в каналах знаходяться в межах 1,5–2,5 м/с (чим більше витрата і дорожчою є конструкція облицювання, тим швидкості вище). Швидкості призначаються доволі великими, щоб канал не замулювався наносами. Крім того, швидкості повинні бути нерозмивними для русла каналу. Одночасно з вибором конструкції підвідної частини дериваційного каналу необхідно вибрати спосіб регулювання використовуваної витрати, наприклад, гідроелектростанції. Здебільшого, щоб уникнути втрат води, канал проєктують *саморегулюючим*, його водоприймач завжди відкритий повністю, хоч би будь-яка витрата забиралася в його кінці. У цьому випадку змінюється тільки положення поверхні води в каналі – за великої витрати її ухил є великим, рівень наприкінці каналу є низьким, за нульової витрати поверхня піднімається і вирівнюється з рівнем верхнього б'єфу. Щоб вода не виливалася при цьому, гребні дамб повинні бути горизонтальними, кінцева ділянка каналу в цьому випадку виходить глибокою.

У *регульованому* каналі гребні дамб є похилими, паралельними дну, глибина за течією не збільшується. При зменшенні витрати, що забирається в кінці каналу, прикривається отвір водоприймачу, рівень води на початку каналу знижується, відповідний об'єм води скидається через *холостий водоскид* в обхід.

Трасу каналу бажано прокладати на плані так, щоб вода в ньому знаходилася у виїмці, а висота гребель була невеликою. Форма перерізу каналу – трапецеїдальна (іноді має більш складну форму).

Крутизна укосів визначається їх стійкістю – ґрунт не повинен обповзати. Крутизну укосу характеризують віднесенням висоти укосу до його закладення $h/l = \operatorname{tg} \alpha = 1:1,5 - 1:2,5$ (рис. 8.27).

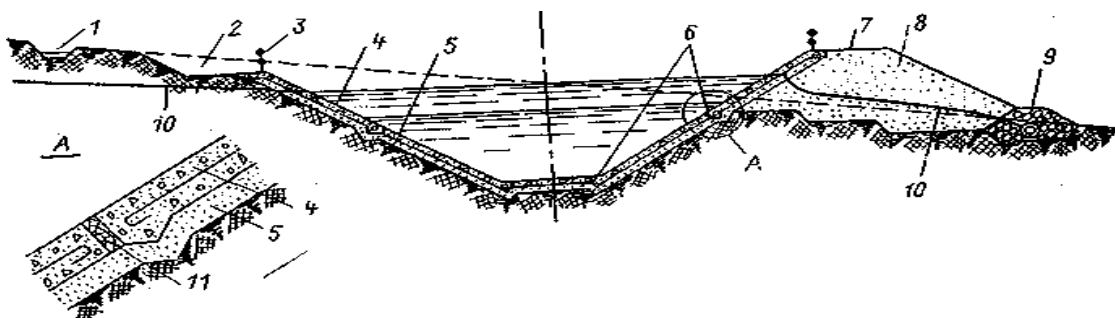


Рисунок 8.27 – Поперечний переріз дериваційного каналу:
 1 – нагірна канава; 2 – берма; 3 – огорожа; 4 – бетонне облицювання;
 5 – дренаж під облицюванням; 6 – осадові шви в облицювання;
 7 – інспекторська дорога; 8 – дамба;
 9 – дренаж дамби; 10 – поверхня ґрунтових вод; 11 – ущільнення шва (дошка)

У скельному ґрунті перетин каналу наближається до прямокутного. Ширина перерізу каналу є більшою за його глибину.

Щоб зменшити втрати води на фільтрацію з каналу, збільшити швидкість течії (зменшити площу перерізу) і знизити опір течії (шорсткість), тобто ухил поверхні (падіння за довжиною), дно та укоси каналу покривають *облицюванням*, найчастіше бетонним або залізобетонним (рис. 8.27). Останнє може бути монолітним, бетонованим на місці, або збірним, із плит заводського виготовлення. Монолітне облицювання розрізається поперечними-температурно-збіжними *швами* і поздовжніми осадовими (деталь А), інакше в ній за зниження температури або осідання ґрунту утворюються тріщини.

Під облицюванням укладається шар крупнозернистого ґрунту (гравію) як *дренажу*. Якщо рівень води в каналі знижується, то ґрунтова вода може чинити тиск на облицювання та порушити його стійкість: за наявності дренажу ґрунтова вода йде по ньому в канал слідом за зниженням рівня в каналі і не може пошкодити облицювання.

Облицювання може бути також *асфальтовим*, його недолік – через нього можуть проростати рослини. Є приклади застосування *полімерних плівок* як гідроізоляції русла невеликих каналів. Плівка покривається захисним шаром ґрунту від пошкоджень та сонячної радіації.

У деяких випадках канал проєктують без облицювання – якщо швидкості в каналі є малими, а ґрунт є малопроникним або рівень ґрунтових вод знаходиться не нижче рівня в каналі.

Поблизу населених пунктів канал *огорожується*.

Складним питанням є *зимовий режим* експлуатації підвідного каналу. Канал може замерзнути при малих швидкостях або зупинці течії, а при збільшенні швидкості і зниженні рівня крижаний покрив може зламатися і призвести до аварії водозабору споживача. Якщо канал не замерзне, вода в ньому може переохолодитись по дорозі і почнеться утворення шуги, яка теж може спричинити аварію. Варто витримувати певний режим роботи каналу, наприклад, надійно заморозити його і не допускати швидких коливань з великою амплітудою витрати і рівня або безперервно працювати в режимі, за якого канал не замерзає і не утворюється шуга, що має бути підтверджено теплотехнічним розрахунком. Іноді влаштовують теплоізоляцію – дах над каналом.

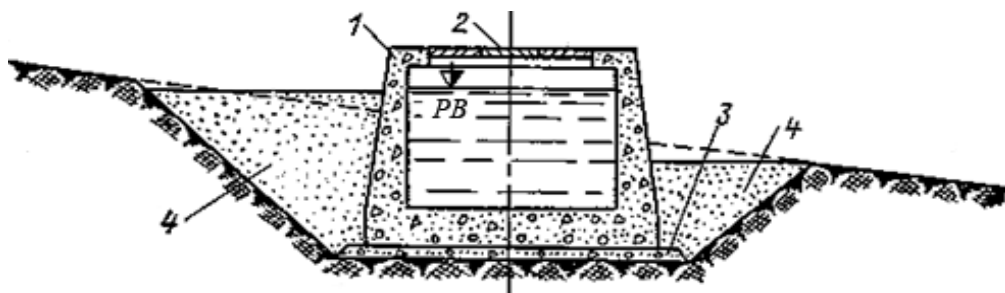


Рисунок 8.28 – Поперечний переріз залізобетонного лотка:

1 – лоток; 2 – знімне перекриття; 3 – підготовка основи; 4 – зворотнє засипання

Зимова експлуатація відвідного каналу є менш небезпечною.

Лоток відноситься до безнапірного типу водоводу. Лотки будуються із залізобетону або дерева, зазвичай мають прямокутний (рис. 8.29) або напівкруглий переріз. Перерізи лотків і пропущені через них витрати води в порівнянні з аналогічними параметрами каналів є невеликими. Для перетину різних знижень в рельєфі місцевості лотки легко можна встановити на опори, в цьому випадку під час побудови каналу потрібно споруджувати високі напірні дамби.

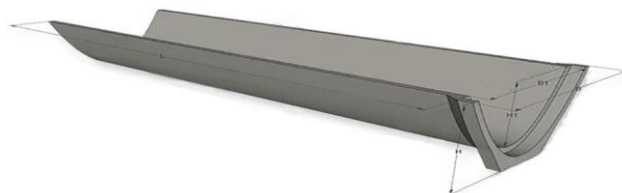


Рисунок 8.29 – Лоток

Лоток легко перекрити за необхідності теплоізоляцією або перекрити для того, щоб приховати його під землею, якщо він не поєднується з іншими спорудами на забудованій території. Ширина поверху, тобто проліт перекриття, у нього є значно меншою, ніж у каналу. Лоток розрізають за довжиною на секції температурними швами з ущільненнями.

Трубопроводи, тунелі. Якщо коливання рівня у водосховищі між НПР і РМО є значним, тобто глибина призми регулювання є великою, то застосування безнапірної підвідної деривації є недоцільним, оскільки потрібен її занадто великий переріз. Тоді потрібно переходити на напірний водовід – трубопровід (рис. 8.30).



Рисунок 8.30 – Металевий трубопровід
(фото з відкритих джерел)

Трубопровід трасується за відмітками місцевості трохи нижче за РМО; він прокладається близько до поверхні землі, без виконання великих земляних робіт, перетинає по прямій лінії місцеві зниження, отже довжина його виходить меншою, ніж довжина безнапірних деривацій. Вартість трубопроводу за рівних перетинів є вищою за вартість лотку, оскільки трубопровід є замкнутим і розраховується на великий внутрішній тиск, що відповідає НПР у водосховищі. Крім того, за швидкого зменшення витрат в кінці напірної деривації (зупинка гідроелектростанції, наприклад, відбувається протягом декількох секунд) в ній виникає різке підвищення тиску – *гідравлічний удар*. Щоб його пом'якшити, наприкінці деривації влаштовують *зрівняльний резервуар* (рис. 8.31), у якому рівень під час зупинки станції піднімається вище за НПР, але підвищення тиску в деривації виявляється набагато меншим, ніж за відсутності такого резервуару.

Внаслідок викладеного трубопровід може бути економічнішим за лоток або канал тільки у разі глибокої призми регулювання або перетнутого рельєфу місцевості. Економічні швидкості у ньому становлять 3–5 м/с. Форма перерізу трубопроводу є круглою, вона найбільше відповідає статичній роботі його на великий внутрішній тиск; у стінках круглої труби виникають переважно розтягувальні сили.



Рисунок 8.31 – Зрівняльний резервуар
(фото з відкритих джерел)

При швидкому включенні споживача тиск води в трубопроводі падає, виникає негативний гідравлічний удар. Але зрівняльний резервуар значною мірою його зменшує. Однак необхідно розташовувати трубопровід за висотою так, щоб у ньому тиск не знижувався нижче за атмосферний, інакше зовнішній тиск може його сплющити.

Діаметр трубопроводів сягає 5 м і більше. За великих витрат води або при введенні споживача чергами буває вигідно будувати напірну деривацію з двох

паралельних ниток трубопроводу, що споруджуються по черзі. Найчастіше виготовляють *сталеві* трубопроводи; посилюють їх кільцями жорсткості, забезпечують компенсаторами, що дозволяють ділянкам труби подовжуватися і коротшати, завдяки чому в ній не виникає поздовжнього стиснення або розтягування під час коливань температури.

Трубопровід монтують на окремих *опорах*, які називають *проміжними*, якими він може переміщатися (на котках або шляхом ковзання) за температурних деформацій. На поворотах і кінці довгих ділянок трубопроводу влаштовуються масивні *анкерні опори*, в яких труба закріплюється нерухомо (рис. 8.32).

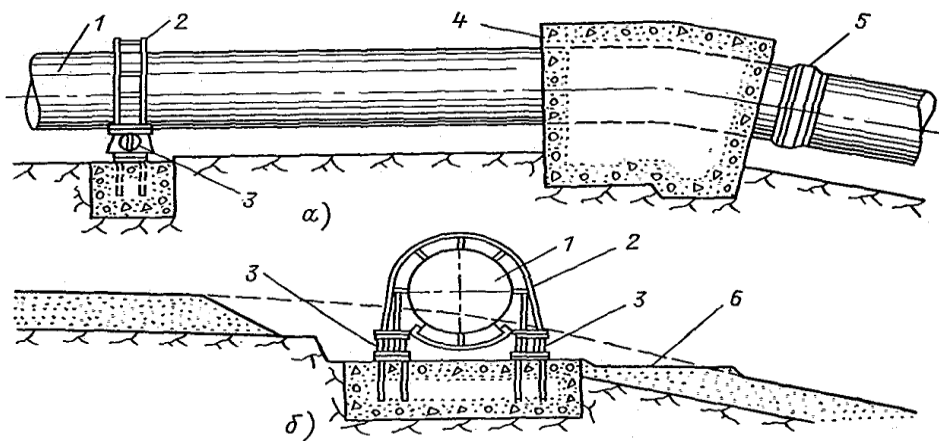


Рисунок 8.32 – Дериваційний трубопровід:

a – фрагмент поздовжнього профілю; *б* – поперечний переріз;

1 – сталева труба; 2 – проміжна опора; 3 – колесо опори; 4 – анкерна опора;

5 – компенсатор; 6 – інспекторська дорога

Залізобетонні трубопроводи (рис. 8.33) зазвичай роблять попередньо обтиснутими сталевую арматурою, тоді в них не виникає тріщин від великого внутрішнього тиску води. Бетон погано чинить опір розтягуванню, тому весь тиск води сприймається арматурою з високоміцної сталі. Залізобетонні трубопроводи можна монтувати на окремих опорах; можна укладати на безперервні стрічкові фундаменти; вони можуть бути також укладені в траншею та засипані.

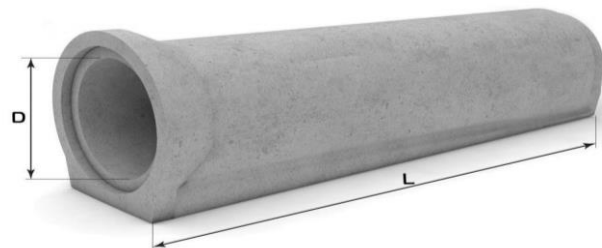


Рисунок 8.33 – Залізобетонний трубопровід

Тунель – є найдорожчим типом водоводу в розрахунку на одиницю його довжини. Якщо тунель прокладається в слабких, нескельних ґрунтах, то його вартість особливо зростає. У зв'язку з цим у тунелю є перевага в порівнянні із поверхневими типами деривації тільки в тому випадку, якщо він є значно коротшим і дозволяє спрямувати трасу або якщо береговий схил, по якому може бути прокладено трасу, є малоприсадибним для поверхневої деривації – тобто має сильно перетнутий рельєф, велику крутість, зсуви, лавини тощо. Тунель застосовується також при перекиданні стоку гірської річки до сусіднього басейну (рис. 8.34).



Рисунок 8.34 – Тунель
(фото з відкритих джерел)

Тунельна деривація підземної гідроелектростанції поділяється на підвідну та відвідну частини. Підвідна деривація може бути безнапірною або малого напору за великих коливань верхнього б'єфу, а також може бути напірною. Напірна деривація має закінчуватися зрівняльним резервуаром. Тунельна відвідна деривація переважно є безнапірною; у напірному відвідному тунелі гідравлічний удар є більш небезпечнішим – підвищення тиску під час включення турбін і зниження тиску під час їх зупинки, а також є складнішим конструкція зрівняльного резервуару, ніж у підвідному напірному тунелі.

Форма поперечного перерізу та конструкція тунелю залежать від умов його роботи (напірний або безнапірний режим) і від міцності гірської породи, в якій він прокладений. Безнапірний та низьконапірний тунелі мають підковоподібний переріз (рис. 8.35, а), оскільки основне навантаження на облицювання та природні стіни тунелю це гірський тиск. Можливі й інші

форми поперечного перерізу. Високонапірний тунель роблять зазвичай круглого перерізу, оскільки домінує великий внутрішній тиск (рис. 8.35, б).

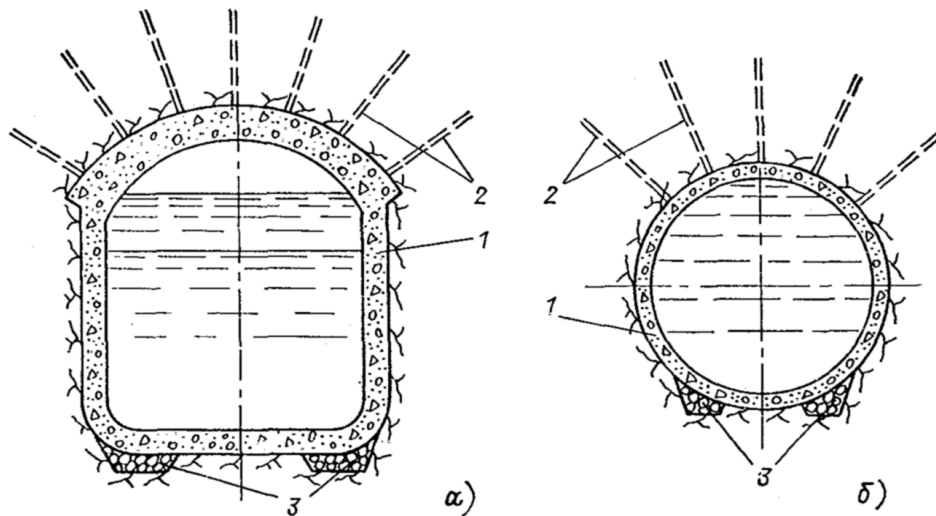


Рисунок 8.35 – Поперечні перерізи дериваційних тунелів:
а – безнапірний; б – напірний; 1 – бетонне облицювання;
2 – цементация породи над склепінням; 3 – дренаж

Функції облицювання тунелю, як і функції облицювання каналу, є багатозначними. Облицювання може бути несучою конструкцією, яка сприймає зовнішнє і внутрішнє навантаження, забезпечувати тунелю водонепроникність, а також створювати гладку поверхню з малим опором течії.

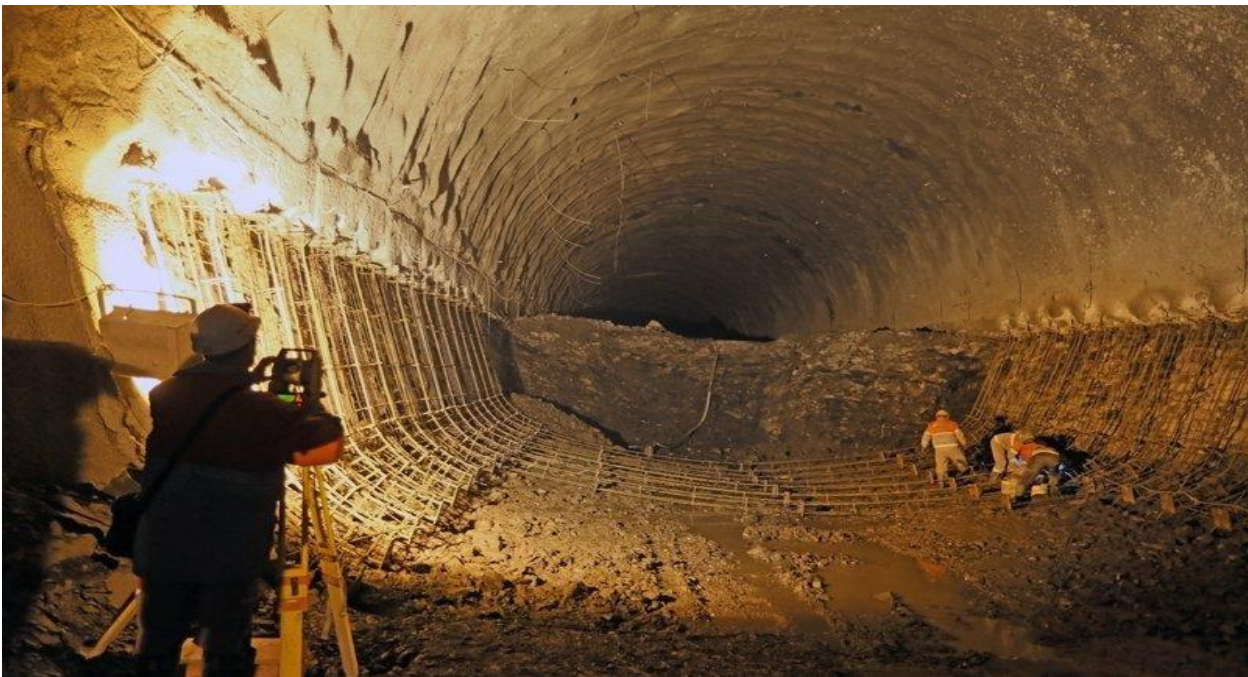


Рисунок 8.36 – Облицювання тунелю
(фото з відкритих джерел)

У слабких тріщинуватих породах і за високого напору застосовуються залізобетонне облицювання, а скеля цементується – в її тріщини через свердловини під тиском нагнітається цементний розчин; внаслідок цього порода стає більш міцною і сприймає частину внутрішнього тиску води, а тиск породи на облицювання зменшується. У безнапірних тунелях облицювання може бути *бетонним*. У міцних породах за малих напорів можна обмежитися вирівнюванням поверхні шляхом *торкретування* (накидання цементного розчину за допомогою стисненого повітря).

Для прискорення будівництва довгого тунелю його прохідку ведуть не тільки з кінців, але і з проміжних вибоїв, до яких підходять збоку по допоміжному тунелю або зверху через шахту.

Розміри поперечного перерізу тунелів – проліт, висота, діаметр – досягають 15–20 м. Швидкості течії в них досягають 4–5 м/с. Мінімальні розміри перерізу тунелю для невеликих витрат визначаються можливістю вести в ньому будівельні роботи – проходження, бетонування, цементацію.

Довжина тунелів досягає десятків кілометрів.

8.9 Водосховища

Водосховище – штучна водойма, що створюється в долині річки напірним гідровузлом і призначена для *регулювання стоку річки* в різних народногосподарських цілях (рис. 8.37). Водосховища створюють необхідні умови для розвитку багатьох галузей водного господарства: гідроенергетики, судноплавства, зрошення, водопостачання, риборозведення, лісосплаву та інших. Крім великої та безперечної користі, яку приносять водосховища, після їх наповнення виникають супутні, часто *негативні наслідки*. До них належать такі.



Рисунок 8.37 – Печенізьке водосховище (Харківська обл.)
(фото з відкритих джерел)

Найбільших збитків народному господарству завдає постійне *затоплення територій* з розташованими на них населеними пунктами, промисловими підприємствами, сільськогосподарськими угіддями, лісами, надрами, залізницями та автомобільними дорогами, лініями зв'язку та електропередачі, археологічними та історичними пам'ятками та іншими об'єктами. Під постійно затоплюваними маються на увазі території, розташовані нижче за нормальний підпірний рівень (НПР).

Тимчасове затоплення територій, що знаходяться на берегах у сховищах у межах від нормального до форсованого підпірного рівня, також завдає шкоди, але відбувається рідко (1 раз на 100–10 000 років).

Підвищення рівня ґрунтових вод на прилеглій до водосховища території веде до її *підтоплення* – заболочування, затоплення підземних споруд та комунікацій, що також є збитковим.

Переформування (переробка) берегів у водосховищ хвилями та течіями може призвести до руйнування великих ділянок корисної, освоєної території (рис. 8.38). На берегах водосховищ виникають або активізуються зсувні процеси.



Рисунок 8.38 – Переформування берегів
(фото з відкритих джерел)

Докорінно змінюються *умови судноплавства і лісосплаву* річки. Річка перетворюється на озеро, глибини збільшуються, швидкості течії падають. Зменшуються підмостові габарити, необхідні для водного транспорту.

Сильно змінюється *зимовий режим річки*, подовжується ледостави на водосховищі, пропадає шуга, якщо вона була. *Мутність зменшується*, оскільки наноси осідають у водосховищі.

У числі заходів щодо компенсації збитків, які завдають затоплення та

підтоплення земель, здійснюють перенесення та відновлення на нових незатоплюваних місцях міст, робочих селищ, колгоспних садиб, а також промислових підприємств. Переносять окремі ділянки доріг, нарощують їх полотно, зміцнюють укоси насипів тощо. Переносять або захищають пам'ятки історії та культури, а якщо це неможливо, вивчають та описують їх. Піднімають прогонові будови мостів та перевлаштовують мостові переходи. Річкові судна замінюють озерним флотом, мольовий сплав – буксирування плотів.

Виконують лісозведення та лісоочищення території водосховища. Закінчують розробку корисних копалин (наприклад, вугілля, руди, будівельних матеріалів тощо) або забезпечують можливість їхньої подальшої розробки за наявності водосховища.

Іноді виявляється економічно доцільним замість винесення господарських об'єктів та населених пунктів із зони затоплення водосховища здійснити заходи їх інженерного захисту. До комплексу гідротехнічних та меліоративних заходів, що об'єднуються назвою *інженерний захист*, входять обвалування або огороження об'єктів та цінних земель, осушення підтоплених або обвалованих територій за допомогою дренажу та відкачування води, зміцнення берегів на окремих ділянках водосховища та інше (рис. 8.39).



Рисунок 8.39 – Дамба обвалування
(фото з відкритих джерел)

Інженерний захист господарських об'єктів на водосховищах іноді потребує великих обсягів робіт.

Великі зміни вносить створення водоймищ у живий світ місцевого ареалу проживання.

Для зменшення наслідків затоплень на навколишній території застосовують берегозміцнювальні та захисні заходи в необхідних, найбільш

відповідальних ділянках берегових схилів водосховища, щоб запобігти переробці берегів і особливо виключити великі обвали та зсуви (рис. 8.40).

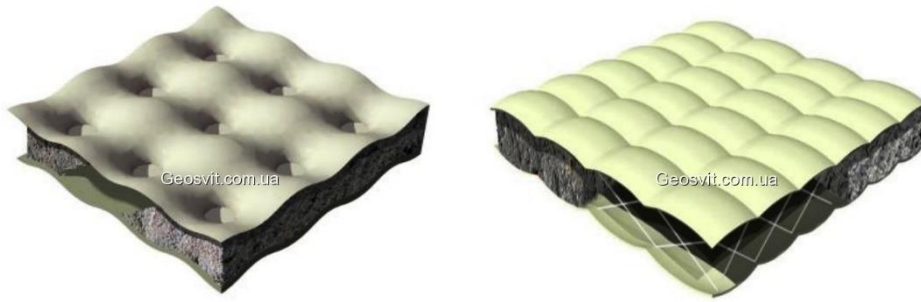


Рисунок 8.40 – Бетоновані матраци

Дрібноводдя ліквідують відділенням їх земляними валами від решти глибоководної частини водосховища з наступним осушенням і культивацією для потреб сільського господарства або ж пристосовують для розведення риби. Боротьба із замуленням порівняно неглибоких водоймищ можлива шляхом спорожнення їх через донні отвори водоспусків і наступного змиву наносів річкою або через спеціальні промивні прольоти греблі. Таким шляхом можна видалити кілька зважених наносів. Донні наноси змиваються в цьому випадку лише безпосередньо поблизу отворів. Можливо й дорожче механічне видалення наносів.

Рибогосподарське освоєння створюваних каскадів водоймищ організують шляхом зариблення їх породами річкових, озерних і ставкових риб, а також будівництвом рибозаводів для відтворення поголів'я стада прохідних риб.

Витрати на організацію чаші водосховища, а також на природоохоронні заходи можуть бути невеликими, але можуть становити і дуже велику частку (десятки відсотків) кошторисної вартості гідровузла.

8.10 Рибопропускні споруди

Рибопропускні споруди є одним із видів спеціальних споруд гідровузлів. Призначенням їх служить перепуска на нерест у верхні ділянки річок прохідних риб (осетрові, лососеві та інші). Зведення гідровузлів перегороджує прохід риби до нерестовищ, різко порушує умови її розмноження, зменшує поголів'я риб'ячого стада, а отже, і обсяг улову. Залежно від характеру роботи та конструктивних ознак рибопропускні споруди поділяють на дві групи: споруди, в яких риба самостійно долає перепад рівнів, створений греблею, – лоткові, ставкові, сходові *рибоходи*, і гідравлічні – *рибопідйомники* – споруди, в яких рибу переміщують у верхній б'єф шляхом шлюзування або транспортування її в спеціальних контейнерах, – *рибохідні шлюзи*, *механічні рибопідйомники*, *плавучі рибопідйомники*.

Крім того, інші спеціальні споруди гідровузлів можуть пристосовуватися на період міграційної хвилі для пропуску риби – це судноплавні шлюзи, водозливні греблі. Особливу групу утворюють *рибозахисні* та *рибоспрямовані*

споруди – *огорожувальні мережі*, механічні та електричні *загороджувачі*, що направляють хід риби, а також запобігають попаданню її у водозабірні споруди.



Рисунок 8.41 – Рибохід під Каховкою
(<https://svit.kpi.ua/2023/09/10/16241/>)

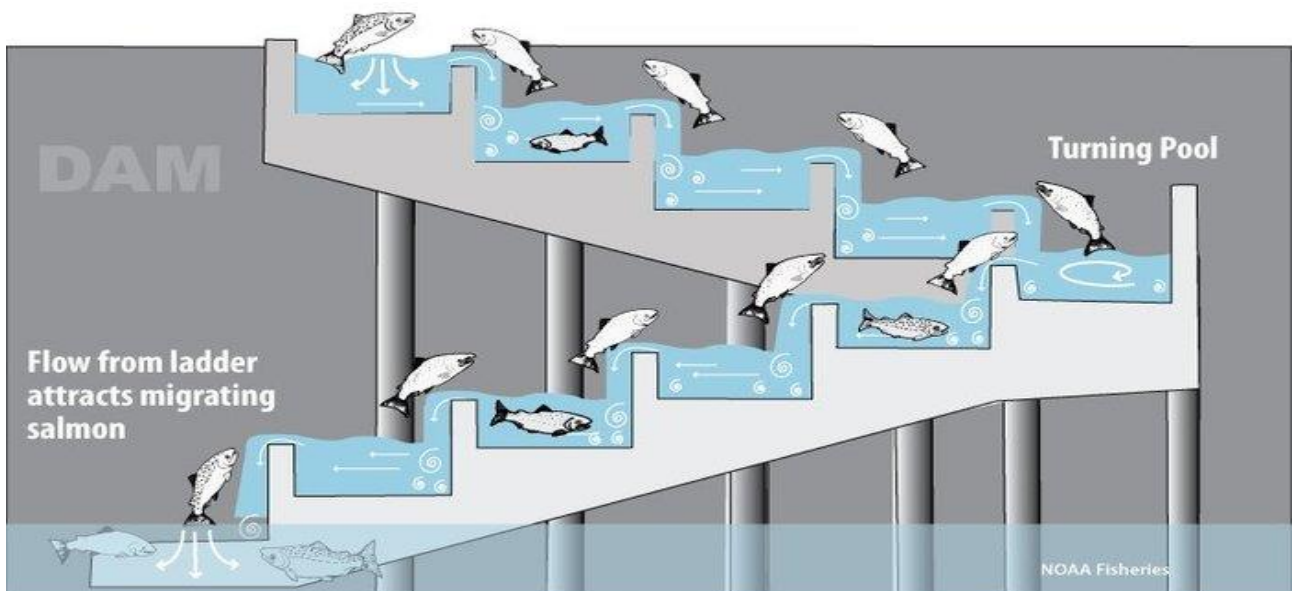


Рисунок 8.42 – Рибопідйомник
(<https://x.com/MarkTomasovic/status/1420162874358571013>)



Рисунок 8.43 – Рибопідйомник The John Day Lock & Dam (Колумбія)
 (https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B8%D0%B1%D0%BE%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%BF%D1%83%D1%81%D0%BA%D0%BD%D1%96_%D1%81%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%83%D0%B4%D0%B8)

Найбільшого поширення набули споруди першої групи, тобто рибоходи у вигляді лотків або каналів, якими риба проходить з нижнього б'єфу у верхній. Щоб риба могла подолати перепад, створюваний гідровузлом, швидкості течії у рибоході повинні бути не більше тих, які може подолати риба в природних умовах за так званих «кидків». Значення цих швидкостей для різних порід риб варіюють від 1,0–1,2 м/с (коропові, осетрові) до 2,5 м/с (лососеві).

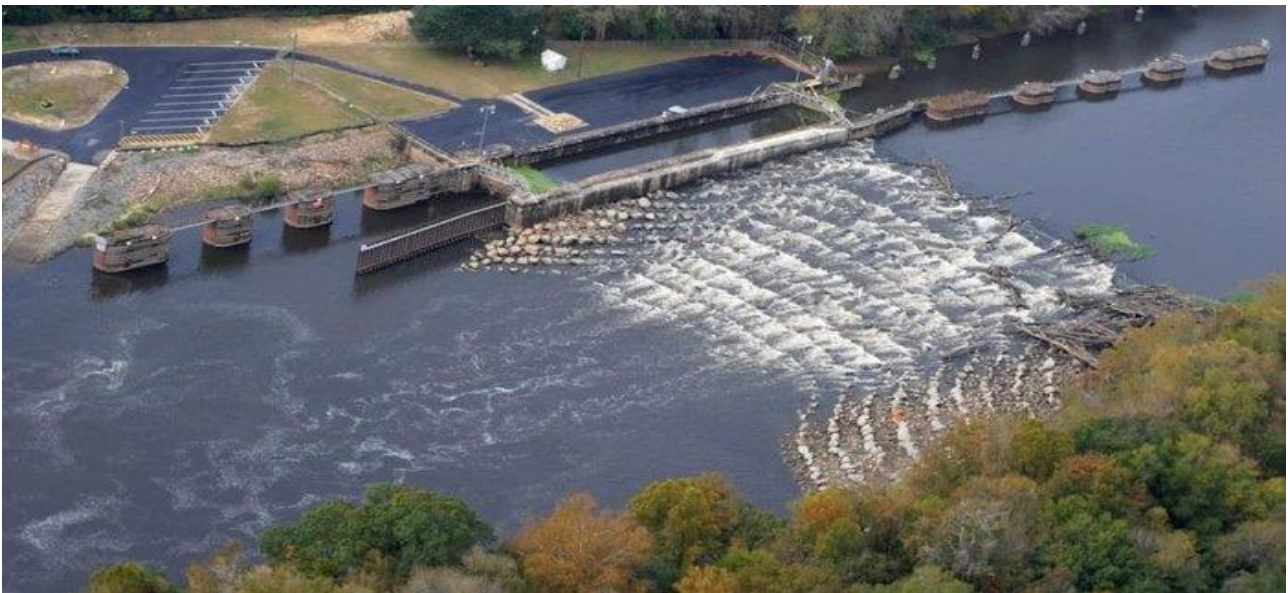


Рисунок 8.44 – The Cape Fear River Dam (США)
 (<https://www.fisheries.noaa.gov/feature-story/reopening-cape-fear-river-migration-benefits-both-fish-and-people>)

Щоб зменшити швидкість течії в лотках, їх роблять з підвищеною шорсткістю бічних стінок і дна або влаштовують різні перегородки. Різновидом лоткових рибоходів є *сходові рибоходи* у вигляді ступінчастих лотків з перегородками, в яких для проходу риби *робляться отвори* (рис. 8.45).

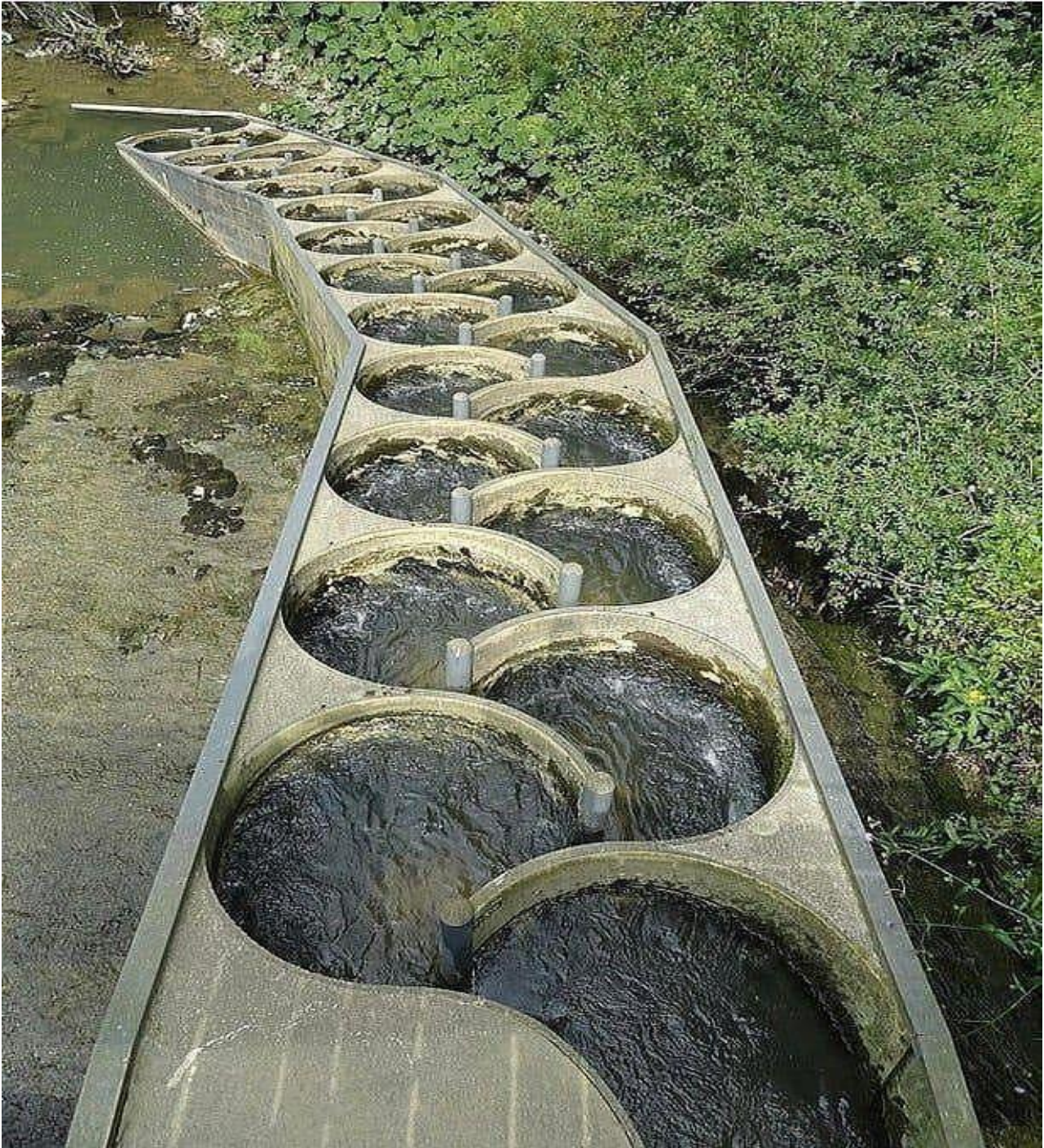


Рисунок 8.45 – Сходовий рибохід

(https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B8%D0%B1%D0%BE%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%BF%D1%83%D1%81%D0%BA%D0%BD%D1%96_%D1%81%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%83%D0%B4%D0%B8)

Рибохідні шлюзи та рибопідйомники діють аналогічно відповідним судноплавним спорудам і обладнуються додатковими пристроями, наприклад спонукальними решітками. Рибозагороджувальні споруди та пристрої служать для запобігання попаданню риб у турбінні водоводи, водозабори та інші небезпечні для риби місця. У сучасних гідровузлах найчастіше застосовують загороджувачі електричної дії, принцип роботи яких заснований на дратівливому впливі слабого електричного поля на організм риби.

Розташування, число і тип рибопропускних споруд у гідровузлі визначаються багатьма факторами – природними, технічними, народногосподарськими, і тому дане питання має вирішуватися індивідуально для кожної річки і порід риби, що живуть у ній. Гідровузли, які розташовані на великих річках, з інтенсивним ходом риби повинні мати у своєму складі кілька рибопропускних споруд.

Контрольні запитання

1. Описати загальні вимоги щодо конструювання гребель.
2. Описати греблі з ґрунтових матеріалів.
3. Описати греблі зі штучних матеріалів.
4. Описати водоскидні греблі.
5. Описати затвори та підйомники.
6. Описати водоприймачі.
7. Описати призначення водоводів.
8. Описати канали і лотки.
9. Описати трубопроводи і тунелі.
10. Описати функції облицювання тунелю.
11. Описати водосховища, призначення водосховищ.
12. Описати рибопропускні споруди.

9 ВОДНИЙ ТРАНСПОРТ

9.1 Історія водних шляхів і водного транспорту

Використання водних просторів як шляхів сполучення відноситься до найдавніших часів. Перші історичні відомості про існування портів відносяться до третього тисячоліття до нашої ери. Більш ніж за 500 років до н.е. на ділянках деяких рік (зокрема р. Тигру і р. Євфрату), утруднених для плавання суден на веслах і вітрилах, велися роботи з регулювання русел. Приблизно до цього ж періоду часу відносяться й побудови перших судноплавних каналів. Відомо, що за шість століть до н.е. існував канал від р. Ніл до Червоного моря.

У кінці III століття до нашої ери був побудований Чарівний канал, що з'єднав північ і південь Китаю (китайська назва Лінцюй). Чарівний канал є першим у світі багаторівневим транспортним каналом, що мав довжину лише 32 кілометри, глибину – 1 метр, ширину – 5 метрів. Чарівний канал є незвичайним, оскільки поєднує дві річки, які течуть в протилежних напрямках: Сян, яка тече на північ, і Лі, яка тече на південь.

У V столітті до нашої ери за наказом правителя держави У був побудований канал Хань Гоу, що проходив від Гуачжоу (провінція Цзянсу) до Цінцзянши, поєднуючи річки Янцзи й Хуайхе. Цей водний шлях завдовжки біля 160 кілометрів був побудований з метою забезпечення армії продовольством під час її просування на північ до держав Сун і Лу. Згодом цей канал став частиною відомого Великого каналу. Найдовша частина каналу, що тягнеться від Хуанхе до району Пекіна, призначалася для постачання армії, що захищала північні та північно-східні кордони імперії. Вона була побудована в 608–609 роках. У роботах брали участь сотні тисяч людей.

Великий канал – найдовший штучний водний шлях у світі. Загалом цей канал, що складається з відрізків, побудованих у різний час, тягнеться майже на 1 800 кілометрів. Він дозволив полегшити адміністрування країни і пов'язав економіку півночі й півдня Китаю. Глибина Великого каналу становить 3–9 метрів, а ширина досягає 30 метрів.

Винахідником судноплавного шлюзу, у якому здійснювалося поперемінне вирівнювання рівня води, став у 984 році Цяо Вейюе, який був помічником міністра транспорту в Хуайнані. Приводом для цього стала необхідність боротися з крадіжками зерна під час його транспортування каналом. До 984 року човни, які в китайців були майже плоскодонними і не мали кілів, могли долати різнорівневі відрізки каналів лише волоком крізь спеціальні гідрозливи, які встановлювалися для регулювання рівнів водного потоку.

У Західній Європі, починаючи з XIII–XIV ст. н. е. від судноплавних річок до торговельних міст, які промислово розвивалися, стали будувати відкриті судноплавні канали. На окремих мілководних притоках судноплавних річок будувалися напівшлюзи, які були, по суті, розбірними щитовими водоскидами з судноплавним отвором, під час пропусків води через які невеликі судна того часу спускалися до більш багатоводних і глибоких ділянок річок.

Камерні шлюзи на судноплавних каналах, які вперше дозволили суднам вільно й безпечно переборювати невеликі перепади, стали будуватися з XV століття. Перше зображення камерного шлюзу виявлено в рукописах геніального середньовічного вченого й художника Леонардо да Вінчі (1452–1519), який вважається винахідником даного типу споруд. Розвиток у XVI–XVII століттях у західній Європі (переважно в Англії та Франції) мануфактури викликав необхідність у доставці значної кількості вантажів до промислових центрів, міст і морських портів. Для забезпечення водних підходів до них було побудовано низку судноплавних каналів і деякі шлюзовані мілководні верхівкові ділянки річок, що дозволило ходити ними малим суднам того часу (вантажопідйомністю 100–200 тонн).

Наприкінці XIX – початку XX ст. у Німеччині було побудовано нові ділянки Середньонімецького каналу, канали Липпе, Рейн-Герне тощо. У США побудували кілька судноплавних каналів і шлюзували верхні ділянки низки річок – Огайо, Міссісіпі тощо. Нові судноплавні канали створили у Франції й Бельгії.

9.2 Способи перевезення вантажів та типи суден

Водними шляхами називають водні простори й водотоки, які використовуються для перевезення по них вантажів і пасажирів. Водними просторами є океани, моря, озера, водоймища, річки, їхні припливи і канали. Водні шляхи, звичайно, розділяються на: зовнішні – океанські, морські і внутрішні – річкові, озерні. Внутрішні водні шляхи своєю чергою розділяються на природні й штучні. Природними внутрішніми водними шляхами є річки й озера в їхньому природному стані. До штучних відносяться ошлюзовані річки й водоймища, а також судноплавні канали.

Для оцінки ролі внутрішніх водних шляхів у загальній системі транспорту розглянемо вимоги, які висуваються до транспорту.

До сучасного транспорту ставляться такі вимоги: дешевизна перевезень; терміновість перевезень; безпека для пасажирів і вантажів; масовість перевезень; сталість і регулярність перевезень.

Оцінимо, наскільки водний транспорт задовольняє цим вимогам і які його переваги й недоліки.

Річковий транспорт за належної його організації – є найбільш дешевим із усіх видів транспорту з таких причин:

- по-перше, значно менші порівняно з іншими видами транспорту витрати енергії на переміщення вантажів (менші витрати палива);
- по-друге, відносно менші витрати на утримання рухомого складу, менший відсоток ваги мертвого вантажу (тари);
- по-третє, значно менші витрати на спорудження та утримування водного шляху порівняно із залізничним.

За терміновістю перевезень річковий транспорт відповідає меншою мірою вимогам, ніж інші види.

Відносно безпеки руху, як показує статистика, річковий транспорт має переваги порівняно із залізничним, автомобільним та авіаційним.

Під масовістю перевезень розуміють, з одного боку, пристосованість транспорту для перевезення будь-якого виду вантажу й, з іншого, здатність перевозити одночасно велику кількість однотипних вантажів.

Річковий транспорт цілком відповідає цим вимогам, оскільки він може приймати до перевезення як штучні вантажі будь-яких розмірів (аж до зібраних ферм сталевих мостів), так і різні види навалочних вантажів, які виконуються наливом.

Вимоги щодо регулярності й постійності перевезень у наших кліматичних умовах річковий транспорт повністю задовольняє.

Доцільність перевезення тих або інших вантажів внутрішніми водними шляхами більшою мірою залежить від географічних і технічних особливостей цих шляхів. Географічною особливістю внутрішніх водних шляхів є те, що планове положення їх визначається гідрографією і звивистістю річкової мережі. У зв'язку з цим коефіцієнти подовження шляху на внутрішніх водних шляхах більші, ніж на сухопутних видах транспорту.

Основною технічною особливістю водних шляхів є відносно малий опір і невелика швидкість руху ними суден. Відносна дешевизна водного транспортування вантажів призвела до розвитку у деяких державах змішаних водно-залізничних перевезень. Доцільні так само й економічні водні перевезення багатьох вантажів на суднах змішаного плавання (типу «річка – море») між двома річковими портами в басейнах різних морів або між морським і річковим портами.

Класифікувати судна можна за такими ознаками:

- за районом (умовами) ходіння, залежно від вітрохвильового режиму на водному шляху судна ділять на 4 класи: на річкові судна полегшеного типу для ходіння малими річками; на річкові судна для великих річок; на судна озernого плавання (великі озера, водосховища); судна змішаного плавання типу «річка – море» з обмеженим виходом в море;

- за різновидом основного матеріалу, з якого вони виконані – дерев'яні, сталеві, залізобетонні й змішані;

- за способом переміщення – на судна самохідні і несамохідні;

- за призначенням – на судна транспортні, буксирні і службово-допоміжні, судна технічного флоту, спеціальні. Своєю чергою транспортні судна можуть бути вантажними, вантажопасажирськими і пасажирськими, а вантажні судна бувають для сухого вантажу, для рідин і спеціалізованими. Другу групу складають буксири для переміщення несамохідних барж. Водний Технічний флот підтримує водні шляхи в належному технічному стані.

9.3 Річки в їхньому природному стані та поліпшення їхніх суднохідних умов

Річки в природному стані можуть бути використані для цілей водного транспорту, тому вони повинні відповідати таким вимогам:

- при щонайнижчому судноплавному горизонті річки повинен бути збережений фарватер; фарватер повинен мати глибини, достатні для ходіння суден з визначеною осадкою, та ширину, що допускає вільну розбіжність двох зустрічних суден; мінімальний радіус закруглення фарватеру повинен дозволяти вільно розвертатися судну;
- наявні на річці споруди не повинні заважати руху суден за фарватером;
- швидкість течії річки в навігаційний період не повинна перевищувати величини, яка допускає рух окремих суден або буксирних груп вверх за течією;
- русло річки в межах фарватеру не повинне бути засмічене предметами, які заважають безпечному руху суден: камінням, деревами і суднами, що затонули, частинами старих споруд;
- тривалість навігації не повинна бути занадто короткочасною (не тільки у паводок, але й у межень).

Під час вирішення питання про те, чи може річка в природному її стані бути судноплавною, необхідно враховувати загальний гідрологічний режим річкового русла.

Русло рівнинної річки в плані, як відомо, зазвичай, становить низку меандр, тобто плавно сполучених між собою звивин. Таке розташування річки в плані обумовлено її ерозійною діяльністю і є найбільш стійким для річок, що протікають у широких заплавах, утворених відкладеннями самої річки. У той самий час ерозійні процеси, триваючи постійно, викликають поступове переміщення меандр униз за течією річки (рис. 9.1).

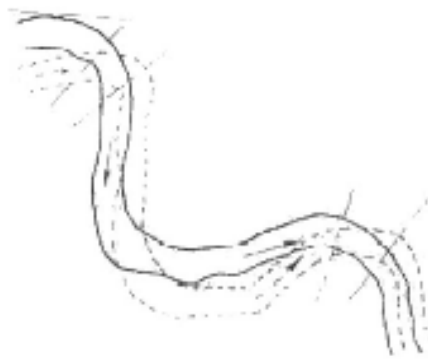


Рисунок 9.1 – Пересування меандр ріки

Обрису ріки в плані відповідає і рухомий її рельєф. Русло річки складається з низки поглиблених місць – плесів, розташованих у межах звивин з найбільшими глибинами увігнутих берегів, які підмиваються, розділених більш мілкими місцями – перекатами, що розташовуються на прямих ділянках річок і між двома звивинами.

Поздовжній профіль річки, побудований по лінії найбільших глибин, являє собою хвилясту лінію із плесами і перекатами, що чергуються (рис. 9.2).



Рисунок 9.2 – Поздовжній профіль ділянки річки

Перекат, що має найменшу на цій ділянці річки глибину і за яким визначається допустима осадка суден, називається *нормуючим*.

На плесах і перекатах ухили поверхні води є різними. У період межені за малих витрат ухили поверхні води на перекатах є більшими, ніж на плесах, і відбувається розмив перекатів.

У період високих вод ухили поверхні потоку в межах плесів є більшими, ніж на перекатах. У цей час відбувається посилений розмив дна в плесах і відкладення наносів на перекатах.

Що стосується радіусів закруглення річки, то вони рідко бувають меншими за трикратну ширину річки. Фарватер, звичайно, має трохи більшу кривизну, ніж геометрична вісь русла.

Судноплавство відбувається не по всій ширині річки або озера, а за судновим ходом (або інакше фарватером), яким називається водна смуга з глибиною й шириною при проєктних рівнях води, не менших за гарантійні.

Ця смуга позначається спеціальними знаками річкової або озерної обстановки й розташовується в тій частині водного шляху, де існує менше перешкод.

Основні розміри суднового ходу, що обумовлюють розміри суден, що плавають по ньому, називають габаритами водного шляху.

До них відносяться глибина на наймілкіших перекатах, ширина суднового ходу, радіуси його закруглень, розміри гідротехнічних споруд на штучних водних шляхах (довжина і ширина камер шлюзів), розміри мостових отворів (ширина мостового отвору вимірюється у світлі між мостовими опорами, а висота – від низу ферми прольотної будови моста до найвищого розрахункового судноплавного рівня води).

Гарантійні габарити (глибина, ширина, радіуси закруглень) встановлюються або як мінімальні навігаційні, або як диференційовані (залежно від рівнів води).

Основним орієнтиром під час планування, проєктування й виробництва робіт, пов'язаних з поліпшенням судноплавних умов річок, є так званий проєктний рівень води, за який приймається один з найнижчих навігаційних рівнів, що має забезпеченість 95–99 % для магістральних рік і 80–95 % – для

шляхів місцевого значення.

Однією з основних умов судноплавства на річці є наявність по всій довжині фарватеру глибин, що допускають прохід суден з певним осіданням. Ця умова виражається такою залежністю:

$$H_{Cmin} = S_{Cmax} + \sum \Delta S, \text{ м}, \quad (9.1)$$

де $\sum \Delta S = \Delta S_C + \Delta S_D + \Delta S_B + \Delta S_H$;

ΔS_C – мінімальний (кільовий) запас під днищем судна, приймається рівним (0,1–0,3) м;

ΔS_D – збільшення осадки судна під час руху;

ΔS_B – запас глибини на хвилю;

ΔS_H – запас на відкладення наносів, приблизно приймається рівним (0,2–0,5) м;

Таблиця 9.1 – Класифікація водних шляхів

Категорії водного шляху	Глибина суднового ходу, (м)	
	Найменша гарантована	Використовувана флотом
I – надмагістралі	більше за 2	більше за 3
II – магістралі	1,1–2,6	1,65–3
III – шляхи місцевого значення	0,6–1,4	1–1,65
IV – малі річки	0,45–0,8	до 1,0

Для організації на річках правильного судноплавства необхідно провести низку технічних заходів, а саме: спорудити навігаційне огороження, виконати руслоочищення, виправлення русла, днопоглиблення, регулювання стоку, будівництво шлюзів і каналів. Із зазначених вище заходів руслоочищення, виправлення русла і днопоглиблення мало змінюють природний режим річок, але в той самий час вони є заходами щодо поліпшення судноплавного стану природних водних шляхів.

Регулювання стоку, будівництво шлюзів і каналів, навпаки, докорінно змінюють природний режим річок і переводять їх у розряд штучних водних шляхів. Навігаційне огороження, як засіб забезпечення безпеки судноводіння, однаково застосовується як на природних, так і на штучних водних шляхах. Руслоочищення може застосовуватись як на природних, так і на штучних водних шляхах, але найчастіше – на природних.

9.4 Суднопропускні споруди

На річках і їхніх притоках, що перебувають у природному стані, витрати

води, а отже, і гарантовані судноплавні глибини зменшуються вгору за течією. Збільшення судноплавних глибин днопоглибленням або виправленням русла неможливе. Все це викликає необхідність створення штучних водних шляхів.

Залежно від свого призначення й характеру штучні водні шляхи підрозділяють на такі види:

- шлюзування річки;
- обхідні й підхідні судноплавні канали;
- міжбасейні воднотранспортні з'єднання.

Шлюзування річок. Шлюзуванням річки називається радикальний спосіб збільшення судноплавних глибин зведенням на ній низки гідровузлів, що підвищують у період навігації рівень води в річці порівняно з тим, яким він був у природному її стані. Для збільшення судноплавних глибин на всій шлюзованій ділянці річки розташування гідровузлів і напори води на них мають бути такими, щоб підпір від гідровузла, який розташований нижче, забезпечував у нижньому б'єфі вище розташованого гідровузла задані судноплавні глибини. При цьому річка розділяється гідровузлами на низку б'єфів.

Загальна схема шлюзування мілководної ділянки річки залежить, крім природних умов, першою чергою від характеру її використання й проєктної судноплавної глибини.

Технічні схеми шлюзування істотно розрізняються, якщо:

- шлюзування річки проєктується тільки в транспортних цілях – для поліпшення судноплавних умов;
- каскад гідровузлів на річці проєктується для комплексного використання її водних ресурсів – в інтересах як водного транспорту, так і інших галузей водного господарства (енергетики, меліорації, водопостачання тощо).

Шлюзування річки вимагає спорудження гребель. Для збільшення транзитних глибин розташування гребель і їхня висота повинні бути підібрані таким чином, щоб підпір від нижче розташованої греблі поширювався до греблі, що лежить вище, і глибини безпосередньо відповідали заданим. При цьому річка розбивається на низку б'єфів, що поєднуються між собою. Перехід суден з одного б'єфа в іншій відбувається за допомогою спеціальних споруд – камерних шлюзів або суднопідіймачів, розташованих або в самому річковому вузлі, або в особливому обхідному каналі. Розглянемо схему шлюзування річки (рис. 9.3).

Для визначення необхідного підпору H , створюваного греблями, необхідно побудувати криві підпору при різних характерних витратах річки. Вибір створів гребель виконується з урахуванням топографічних, геологічних, гідрологічних і місцевих господарських умов.

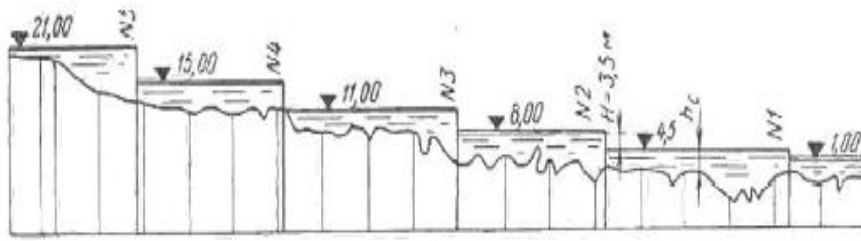


Рисунок 9.3 – Схема шлюзування річки

Якщо греблі на річці споруджуються винятково з метою збільшення судноплавних глибин, відстань між греблями і їхньою висотою обирається за умови одержання найбільшої пропускної здатності шлюзованого шляху й найменшої собівартості водних перевезень. Напори на греблях приймаються невеликими – $H = (2-5)$ м, якщо відстань між ними становить кілька десятків кілометрів. Ці розміри обираються так, щоб у разі підпору річка не виходила з корінного русла й заплава не заливалася.

Греблі, збудовані при такому способі шлюзування, називаються судноплавними.

Останнім часом у зв'язку із широким будівництвом гідроелектростанцій шлюзування розглядається як частина комплексної задачі щодо використання річок. Висота окремих гребель і їх взаємне розташування визначаються як вимогами, які гарантують певні транзитні глибини, так і умовами максимального ефекту від усього проєктованого каскаду ГЕС.

Остання вимога приводить до збільшення висоти гребель з одночасним збільшенням відстані між ними, оскільки для енергетичних цілей необхідне створення більших водоймищ. Для створення більших водоймищ використовують ґрунтові, бетонні й залізобетонні греблі.

Шлюзування річок методом побудови водоймищ сприяє регулюванню стоку річки, що дозволяє збільшити витрати в нижньому б'єфі, а отже, й транзитні глибини на нижче розташованих ділянках річки. Перевагою цього методу є те, що значно знижуються швидкості річки через підпір, який дозволяє зменшити необхідну потужність буксирів і збільшити швидкість суден.

Розміщення суднопропускних споруд у річковому гідровузлі істотно впливає на його компонування. Вимоги, яким мають відповідати розташування суднопропускних споруд, є такими:

- підходи до шлюзів з верхнього й нижнього б'єфів повинні бути безпечні і зручні;
- в обох б'єфах повинні бути передбачені акваторії для розміщення суден, що очікують шлюзування;
- ширина підхідних каналів повинна допускати розбіжність трьох суден, за умови, що одне з них буде стояти біля причалу;
- глибина на низовому підході повинна бути не меншою за глибину на порозі шлюзу;
- основний перехід повинен улаштовуватися з дотриманням установлених судноплавних габаритів;

– прийняте розташування споруд повинне бути економічно раціональним, тобто обсяг і вартість робіт мають бути мінімальними.

9.5 Міжбасейні воднотранспортні з'єднання

Міжбасейні воднотранспортні з'єднання можуть бути відкритими або шлюзованими.

Відкриті міжбасейні з'єднання будувалися як виняток, наприклад, Суецький канал між Середземним і Червоним морями.

Сучасні міжбасейні воднотранспортні з'єднання – це складні шлюзовані системи, що становлять великий комплекс гідротехнічних споруд (шлюзів, гребель, дамб, водоскидів, каналів, насосних станцій, ГЕС тощо).

Судноплавні глибини й габарити суднопропускних споруд на воднотранспортних з'єднаннях повинні відповідати перспективним умовам ходіння суден у з'єднаних воднотранспортних басейнах.

9.6 Порти

Порт – це прибережний пункт, що має зручні водні підходи та пов'язаний з боку берегової території із залізничним та автомобільним транспортом, обладнаний перевантажувальними комплексами, складами, пристроями для обслуговування суден та пасажирів.

Основні функції порту:

1) перевантажувальні роботи – передача вантажів із суден на інші види транспорту чи у зворотному напрямку;

2) обслуговування пасажирів – посадка-висадка пасажирів, продаж квитків, зберігання багажу та інші види обслуговування;

3) комерційна та фінансова діяльність – залучення вантажів та пасажирів, укладання договорів на перевезення, розрахунки за перевезення тощо;

4) комплексне обслуговування флоту – постачання суден, рейдово-маневрові роботи, побутове обслуговування екіпажів тощо;

5) ремонт портових об'єктів та техніки;

6) перевезення у місцевому сполученні – перевезення нерудних будівельних матеріалів, що добуваються з дна річок, перевезення пасажирів на приміських та внутрішньоміських лініях.

До складу порту входять такі основні елементи: акваторія, територія, причальна лінія.

1. *Акваторія* – водна поверхня, яка відведена порту поза межі суднового ходу і яка призначена для стоянки суден під час їхньої вантажної обробки або посадки-висадки пасажирів. Вона складається з причалів, водних підходів та рейдів.

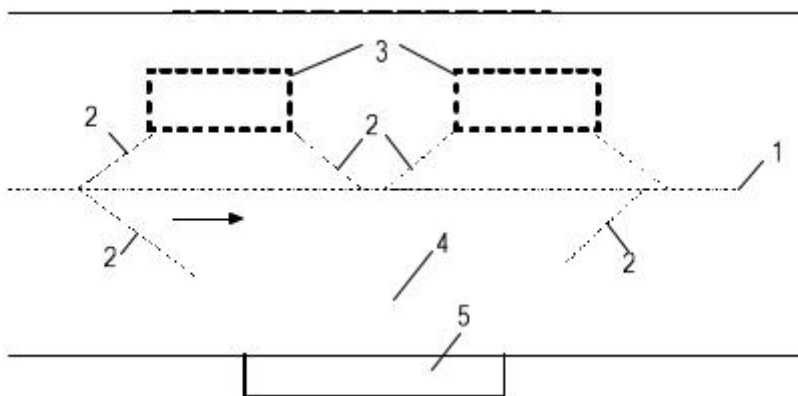


Рисунок 9.4 – Схема акваторії порту:
1 – судновий хід; 2 – водні підходи; 3 – ділянки рейду;
4 – акваторія причалів; 5 – причал

Причал – ділянка порту, що забезпечує обробку одного розрахункового судна.

Водні підходи – це ділянка водного шляху, що з'єднує транзитний судновий хід (фарватер) з акваторією причалів та рейдами, а також рейди з акваторією причалів. Підходи повинні забезпечувати безперешкодний та безпечний рух.

Рейд – частина акваторії порту, призначена для стоянки суден, формування та розформування судових составів та виконання перевантажувальних робіт за варіантом «судно-судно». Існують окремо рейди прибуття та відправлення суден. Рейди спеціалізуються за родами вантажів, що перевозяться (суховантажні, нафтоналивні, лісові тощо).

Аkvаторія причалу – частина водної поверхні, що примикає до причалу, й призначена для стоянки суден під вантажними операціями, і навіть для маневрів суден біля причалу.

2. *Територія порту* – прибережна ділянка землі у встановлених межах порту. На території розміщують портові споруди: склади, вантажно-розвантажувальні засоби, транспортні комунікації, будівлі тощо. До складу території порту входять три зони, представлені на рисунку 86.

В оперативно-виробничій зоні 1 розташовують фронтальні склади, залізничні колії та порталні крани для перевантаження вантажів із судна або у зворотному напрямку. У зоні 2 – тилові склади для перевантаження вантажів з автомобільного та залізничного транспорту до складу або з фронтального складу до тилового складу. До складів підведено залізничні та автомобільні колії. Кожна лінія обладнана перевантажувальними кранами (фронтальними та тиловими).

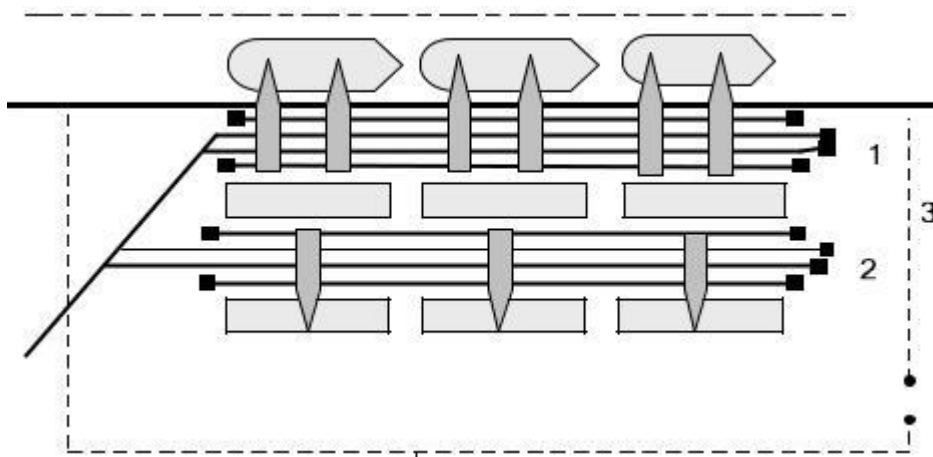


Рисунок 9.5 – Зони території порту:

1 – прикордонна (фронтальна) зона; 2 – тилова зона; 3 – припортова зона

Припортова зона 3 розташована поза огорожею. Тут зазвичай розміщують будівлю управління порту, майданчик для стоянки автотранспорту тощо.

3. *Причальна лінія* – кордон між територією порту та акваторією. Причальну лінію ще називають кордон (від франц. Corde – мотузка). Причальна лінія – це сукупність усіх причалів.

Є три форми розташування причальної лінії щодо річки: фронтальна, басейнова (ковшова) та пірсова.

Фронтальна форма характеризується розташуванням причалів уздовж берегової лінії.

Басейнова (ковшова) форма причальної лінії відрізняється наявністю спеціальних басейнів, у яких розташовані причали. Число та конфігурація басейнів залежать від загальної кількості причалів, їхньої спеціалізації та інших факторів. У річкових портах зазвичай влаштовують один басейн.

Для *пірсової* форми причальної лінії характерне розташування причалів з боків молу (пірс), винесене у бік акваторії порту. Пірси, які бувають широкими та вузькими, зазвичай споруджують під прямим кутом до берегової лінії.

Для зимівлі й ремонту суден відводять окремі ділянки акваторії у вигляді затонів або штучних басейнів. На портовій території розміщуються залізничні колії, складські приміщення, службові будинки, перевантажувальні пристрої, ремонтні майстерні.

Основним фактором, що визначає розміри порту, є його вантажообіг. Заданий вантажообіг порту визначає розміри споруд порту і довжину причальних ліній, а також види й потужності різних перевантажувальних механізмів.

Довжина причальної лінії встановлюється залежно від продуктивності перевантажувальних механізмів.

Порти на внутрішніх водних шляхах класифікуються за різними ознаками.

1. *За призначенням* порти поділяються на:

- вантажні;
- пасажирські;
- вантажопасажирські.

Вантажні порти здійснюють передачу вантажів із суміжних видів транспорту на водний або у зворотному напрямку.

Вантажні порти своєю чергою поділяються на:

- *універсальні*, які перевантажують різні вантажі, маючи причали тарно-штучних вантажів, лісоматеріалів, руди, вугілля тощо;
- *спеціалізовані*, призначені для перевантаження певного вантажу, наприклад, вугільні порти, нафтоналивні порти, лісові порти.

На річковому транспорті найбільш поширені вантажопасажирські порти.

2. *За належністю* порти поділяються на:

- порти загального користування;
- незагального користування.

3. *За розташуванням* щодо русла річки порти діляться на:

- руслові;
- басейнові (ковшові);
- змішані.

4. *За обсягом та характером роботи* порти поділяються на чотири категорії (табл. 9.2).

Таблиця 9.2 – Характеристика порту

Категорія порту	Вантажообіг, т	Пасажирообіг, осіб
1	Понад 15 000	Понад 2 000
2	3 500–15 000	500–2 000
3	750–3500	200–500
4	До 750	До 200

9.7 Причальні споруди

Причальні споруди поділяють на такі типи:

- споруди для зміцнення причальних укосів;
- вертикальні підпірні стінки для набережних;
- пристані;
- плавучі причали, так звані дебаркадери.

Причал – це ділянка порту, що забезпечує обслуговування одного розрахункового судна. Причал включає: причальну набережну зі швартовими пристроями, фронтальні (прикордонні) та тилові перевантажувальні шляхи та склади, під'їзні шляхи, службові будівлі та інші споруди. До основних розмірів

причалів відносяться їхні довжина, глибина біля причалу, ширина прилеглої до кордону території.

Довжину причалу визначають, виходячи з довжини найбільшого розрахункового судна L , яке може швартуватися біля причалу:

а) за розташування причалу в загальній причальній лінії для стоянки суден:

$$L_{\text{пр}} = L + a \quad (9.2)$$

де L – габаритна довжина найбільшого розрахункового типу судна;

a – відстань між суднами, необхідна для забезпечення безпечного підходу суден до причалу та відходу від нього, м (табл. 9.3);

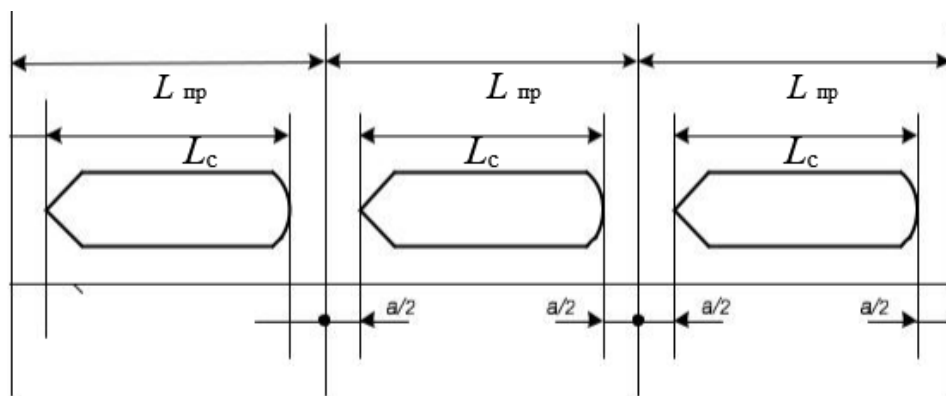


Рисунок 9.6 – Схема розміщення причалів руслового порту

Таблиця 9.3 – Значення відстані безпеки, a

Габаритна довжина розмірів судна, L с, м	<100	100, 150	151, 200
Відстань безпеки, a , м	10	15	20

Для швартування суден служать причальні тумби, установлені біля самої границі набережних, щоб не заважати руху кранів.

Тумби розташовуються на відстані 25 м. По лицьовій грані стін навішуються кільця-рами.

Пристані – це наскрізні споруди із суцільним настилом. Вони розташовуються, здебільшого, над береговим укосом. Іноді пристані розташовуються перпендикулярно до берега, утворюючи свого роду пірси. Пристані можуть бути дерев'яними, сталевими, залізобетонними. За своєю конструкцією частіше за все бувають пальові, рідше – у вигляді окремих опор.

Для вантажопасажирських суден використовують плавучі причали – дебаркадери. Плавучий дебаркадер становить сталеву, залізобетонну або дерев'яну баржу, яка установлюється на укосі берега на якорях і з'єднується з берегом східчастими легкими містками.

Плавучі причали (дебаркадери) використовуються при великих

коливаннях горизонтів води, при незначному розмірі вантажообігу й для вантажопасажирських причалів.

Контрольні запитання

1. Назвати основні типи водних шляхів. Назвати вимоги, що ставляться до суден.
2. Назвати основні переваги та недоліки водного транспорту.
3. Визначити основну технічну особливість сучасного водного транспорту.
4. Проаналізувати історію використання водних шляхів.
5. Описати основні типи суден внутрішнього сполучення.
6. Описати вимоги, які висуваються судноплавством до водного шляху.
7. Описати способи поліпшення судноплавних умов річок.
8. Описати види штучних водних шляхів.
9. Описати типи річкових портів.
10. Описати причальні споруди.

10 ІНЖЕНЕРНІ МЕЛІОРАЦІЇ ТА ВОДОПОСТАЧАННЯ

10.1 Інженерні меліорації сільськогосподарських земель

Під терміном *інженерна меліорація* розуміють комплекс технічних прийомів і споруд для поліпшення природних властивостей ділянок землі, що експлуатуються, і способів експлуатації даних ділянок. Інженерна водна меліорація є однією з галузей водного господарства та гідротехніки.

До інженерних водних меліорацій належать: зрошення та осушення сільськогосподарських земель, осушення міських та промислових територій, заходи щодо боротьби з зсувами, захист берегів річок, водосховищ та морів від руйнування вітровими хвилями та течіями.

Перелічені види меліорацій можуть бути *місцевими*, які не вимагають будь-яких заходів та споруд поза об'єктом, або *великими*, що вимагають водогосподарських заходів за межами об'єкта для забезпечення необхідного водного режиму. Найбільший обсяг меліорацій земель потребує сільське господарство. Відомо, що суша займає третину площі нашої планети. Із загальної площі суші (за винятком Антарктиди) 13,4 млрд га обробляється лише десята її частина, при цьому близько 60 % земель, що обробляються, потребує зрошення.

Зрошення – це штучне зволоження ґрунту, що відчуває постійну або періодичну нестачу вологи, що забезпечує розрахункову врожайність сільськогосподарських культур. На початку ХІХ ст. загальна площа зрошення у світі не перевищувала 8 млн га, до кінця століття вона досягла 40 млн га, а в середині ХХ ст. перевищила 100 млн га. Площа зрошуваних земель земної кулі становить близько 18 % світової площі ріллі та насаджень. Щорічний приріст зрошуваних площ у період початку ХХ століття зріс майже 10 раз.

Близько 80 % зрошуваних земель азіатського континенту припадає на Індію, Китай, Пакистан. У Західній півкулі зрошення найбільше розвинене в Північній та Центральній Америці, де зрошувана площа перевищує 27 млн га (70 % її припадає на частку США). Площі зрошення в колишньому Радянському Союзі майже дорівнювали всієї зрошуваної площі європейського континенту. Зрошувані площі й надалі безперервно й інтенсивно розширюватимуться.

Осушення сільськогосподарських земель – сукупність гідротехнічних та агромеліоративних заходів щодо регулювання водного, температурного та інших режимів надмірно зволених територій. Широкий розвиток осушення набуло з другої половини ХХ ст. Воно розвивається більш ніж у 60 країнах. Загальна площа осушених земель у світі становить близько 12 % світової площі ріллі та багаторічних насаджень. З урахуванням площі зрошуваних земель загальна площа водно-меліорованих земель у світі становить приблизно 28 % площі ріллі та багаторічних насаджень.

Осушення, як і зрошення, необхідно розглядати як складний комплексний вид меліоративного впливу на природне середовище. Максимальний ефект від

нього досягається лише у поєднанні з одночасним та послідовним впливом раціональних прийомів агротехніки та внесенням добрив у ґрунт. Будівництво зрошувальної або осушувальної мережі – це лише початкова стадія тривалого процесу *меліорації земель*.

Меліорація земель у світі є одним з основних напрямів науково-технічного прогресу в сільському господарстві, найважливішим складовим елементом комплексу заходів щодо інтенсифікації сільськогосподарського виробництва.

Будівництво технічно досконалих меліоративних систем потребує великих витрат. Але меліоровані землі, займаючи приблизно 8 % площ всіх сільськогосподарських угідь, дають у грошовому еквіваленті понад 20 % усієї продукції землеробства, одержуваної з усіх цих угідь. Останніми роками зрошувані і осушувані землі дають близько чверті приросту валової продукції сільського господарства.

Серед усіх учасників водогосподарського комплексу зрошення характеризується найбільшим безповоротним водоспоживанням, яке досягає 75 % загальної кількості води.

На підставі експериментальних даних для кожної сільськогосподарської культури та для кожного виду ґрунту встановлюють *оптимальну вологість ґрунту*, за якої можна отримати розрахунковий урожай. Для створення оптимальної вологості штучно вводять воду в ґрунт – тобто зрошують.

Рослина із всмоктуваної ним із ґрунту води випаровує в атмосферу через крону 99,8 % і засвоює для свого розвитку близько 0,2 %. Цей процес випаровування води рослинами називається *транспірацією*. Про кількість споживаної рослиною води та ефективність споживання судять за *коефіцієнтом транспірації*, що дорівнює відношенню маси води, що споживається рослиною, до маси сухої речовини, накопиченої рослиною за весь вегетаційний період. Цей коефіцієнт коливається від 200 до 900. Наприклад, просо характеризується коефіцієнтами 177–367, овес 423–876, капуста 250–600, плодів дерева 250–500.

Задоволення потреб рослин у воді відбувається завдяки природним ресурсам у вигляді атмосферних опадів та запасів води у ґрунті, а також штучним шляхом під час використання зрошення.

Зрошувальна норма – це кількість зрошувальної води в кубічних метрах на гектар, яку необхідно подати для певної культури за весь вегетаційний період для забезпечення розрахункової врожайності в конкретних проєктованих умовах.

Зрошувальна норма залежить від виду сільськогосподарських культур, їх урожайності та природних умов.

Для зрошення земель певній території створюється система споруд, звана *зрошувальною системою*. Сучасні зрошувальні системи забезпечують подачу води на десятки та сотні тисяч гектарів. Наприклад, масиви зрошення в зоні Північно-Кримського каналу перевищують 450 тис. га, в зоні Каховської зрошувальної системи – більш ніж 650 тис. га.

Подача води з джерела зрошення на зрошувану площу здійснюється *самопливом* або за допомогою наносних станцій. Вода з джерела до зрошуваних площ транспортується по *магістральному каналу*, довжина якого може досягати кількох десятків і навіть сотень кілометрів, далі вона надходить у *міжгосподарські канали*, а потім у господарську і *внутрішньогосподарську зрошувальну мережу*, яка розподіляє її за площею. Далі вода надходить у тимчасові зрошувачі та в поливну мережу (рис. 10.1).

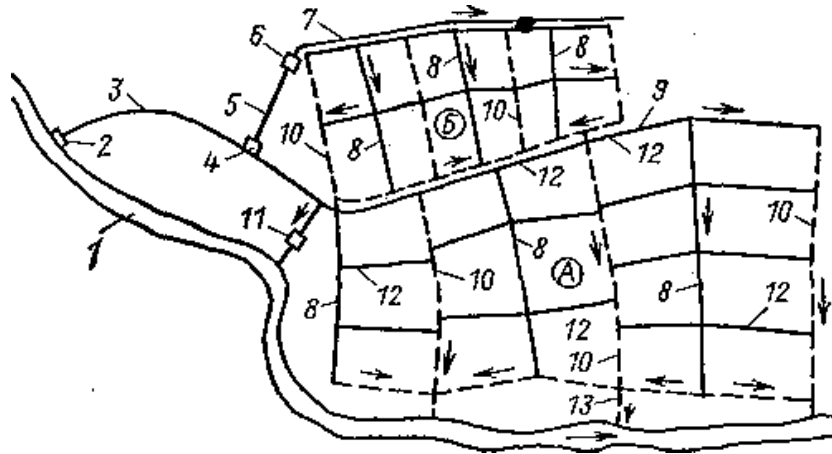


Рисунок 10.1 – Схема зрошувальної мережі:

- А – зона самопливного зрошення; Б – зона машинного зрошення;
 1 – річка; 2 – головна споруда; 3 – неodrжена частина магістрального каналу; 4 – насосна станція; 5 – напірний трубопровід; 6 – відкритий басейн;
 7 – гілка магістрального каналу; 8 – міжгосподарські розподільники;
 9 – робоча частина магістрального каналу; 10 – водовідвідні канали;
 11 – гідроелектростанція; 12 – внутрішньогосподарські розподільники;
 13 – головний скидний канал

Поверхнєве самопливне зрошення – є найпоширенішим на земній кулі. Воно може здійснюватися у вигляді поливів по борознах – для просапних культур, смугами – для зернових культур і у вигляді затоплення – для рису. Істотним недоліком поверхневого зрошення є значні втрати води на фільтрацію, а також випаровування. Просочування великої кількості води в розташовані нижче горизонти викликає підйом рівня ґрунтових вод, заболочування та засолення зрошуваних земель (погіршує водозабезпечення зрошуваних ділянок, що лежать нижче).

Найдосконалішим методом є *дощування* – створення за допомогою спеціальних машин штучного дощу заданої інтенсивності. Зрошення дощуванням дозволяє подавати воду меншими дозами, забезпечує більш рівномірне зволоження, різко скорочує непродуктивні втрати води та підвищує механізацію праці на поливах. Урожайність при дощуванні дещо вища, ніж при поверхневому зрошенні. Дощування переважно застосовується для поливу овочів, зернових та кормових культур на ґрунтах з високою проникністю при складному мікрорельєфі.

На невеликих площах застосовується *підґрунтове зрошення*, що полягає в тому, що вода подається під напором або самопливом у труби, прокладені в зону кореневої системи рослин. Труби виготовляються із пористого матеріалу, крізь який просочується вода; можуть використовуватись і гончарні труби, між окремими трубами залишають невеликі щілини, крізь які вода надходить у ґрунт. Вода надходить у ґрунт із труби як вгору, так і вниз. Вода, що надходить донизу, не використовується рослинами і витрачається марно.

Підґрунтове зрошення відрізняється низкою позитивних якостей: капілярне зволоження не руйнує структури ґрунту; аерація ґрунту є високою, що покращує життєдіяльність бактерій; полив здійснюється меншою кількістю води; відсутні перешкоди, що ускладнюють рух машини полем; не потрібне планування поля. Однак такі недоліки підґрунтового зрошення, як висока вартість будівництва, засолення поверхневого шару ґрунту постійно висхідним струмом води, замулення підземних труб, стримують його широке застосування. Воно використовується переважно у закритому ґрунті (теплицях, оранжереях), а також на невеликих відкритих ділянках для вирощування овочевих та ягідних культур. Подальше вдосконалення методу дозволить використовувати його ширше.

У районах зі складним рельєфом (гірські, передгірні), на ґрунтах з високою водопроникністю, в районах з гострою нестачею зрошувальної води при вирощуванні високоприбуткових культур застосовують *краплинне зрошення* – воду по густорозгалужених трубопроводах через спеціальні мікроводавипуски (крапельниці) безпосередньо подають в кореневу зону рослин, протягом усієї вегетації підтримується вологість ґрунту, яка є близькою до оптимальної. При краплинному зрошенні можливе безперервне постачання рослин водою.

В Україні системи краплинного зрошення експлуатуються на півдні держави. Крапельниці можуть розташовуватися на поверхні землі або вище за неї і вода з них краплями падає на ґрунт. При краплинному зрошенні зменшуються витрати на полив, різко знижуються втрати води на випаровування, фільтрацію, поверхневий стік, а також вода не потрапляє на міжряддя, завдяки чому слабше розвивається бур'ян і відповідно знижується витрата води на 20–50 % порівняно з поверхневими способами поливу.

Системи краплинного зрошення мають ряд недоліків: порівняно високу вартість; не регулюють мікроклімат; пластмасові трубопроводи малих діаметрів можуть закупорюватись.

Крапельне зрошення є прогресивним способом поливу багаторічних насаджень, і його доцільно впроваджувати там, де інші способи зрошення застосувати важко.

Там, де необхідно за гідрогеологічними умовами, до складу зрошувальної системи як обов'язковий елемент входять *дренажі* – пристрої для збирання, відведення надлишку води, зниження рівня ґрунтових вод та відведення солей. Дренажні системи мають колектори першого, другого і т. д. порядків (залежно від конкретних умов об'єкта) та систему польового дренажу. У минулому в

багатьох випадках необхідна колекторно-дренажна мережа не будувалася, що часто призводило до засолення і заболочування земель.

Дренаж може бути як горизонтальний, так й вертикальний. На нових зрошувальних системах, що відповідають сучасним технічним вимогам, *горизонтальний дренаж* будується зазвичай закритим, глибиною 3–3,5 м. Застосовуються для дренажної системи гончарні розтрубні труби діаметром 100–300 мм, а також азбестоцементні перфоровані труби, скловата та інші фільтруючі матеріали, і труби із синтетичних матеріалів, що зазвичай укладаються в гравійний фільтр.

Вертикальний дренаж – це бурові колодязі; глибина свердловин зазвичай становить 30–100 м залежно від геологічної будови та гідрогеологічних умов. Свердловини вертикального дренажу обладнуються занурювальними відцентровими вертикальними насосами з електродвигунами; вони об'єднуються у системи з 20–100 свердловин. Дебет – кількість води, що подається свердловиною в одиницю часу, коливається від 20 л/с до 100 л/с і більше. Дренажні прісні або слабо мінералізовані води можуть використовуватися для зрошення в поєднанні з поверхневими.

Вибір типу дренажу здійснюється на основі техніко-економічного порівняння варіантів з урахуванням гідрогеологічних умов масиву зрошення.

Для створення необхідних умов для виробництва сільсько-господарської продукції на осушуваних землях видаляють пні, чагарники, каміння, а також планують місцевість.

10.2 Осушення і захист територій

Осушення міських та промислових територій.

Інженерну меліорацію крім сільського господарства застосовують в інших галузях народного господарства: зниження рівня ґрунтових вод на перезволожених майданчиках або при підтопленні (для захисту підвальних приміщень та перших поверхів житлових та промислових будівель); обвалування територій для створення нормальних умов їх експлуатації або захисту від повеней. При високому стоянні рівня ґрунтових вод під полотном залізниць та шосейних доріг і під аеродромами також необхідне осушення земель, які займають дані споруди.

Задачі *осушення перезволожених земель* визначають характер використання територій. Осушення земель будівельних майданчиків або забудованих територій виконують до створення ними нормальних умов експлуатації. Надлишок вологи на сільськогосподарських землях перешкоджає нормальним умовам розвитку рослин; при перезволоженні ґрунту, коли пори його заповнені водою, рослини загнивають. Осушення місць народжень торфу, що використовується як паливо, на глибину 0,4–0,5 м полегшує після осушення застосування торфодобувних та збиральних машин.

Завдання осушення ґрунтів характеризує норма осушення. Під *нормою осушення* H мається на увазі глибина шару від поверхні землі, на яку має бути

знижений рівень ґрунтових вод (рис. 10.2). Для будівель норма осушення залежить від глибини закладення підвального приміщення та фундаменту, вона коливається в межах 1–4 м. Для сільськогосподарських культур норма осушення залежить від виду культур, ґрунту та фази вегетаційного періоду, вона змінюється в межах 0,5–1 м.

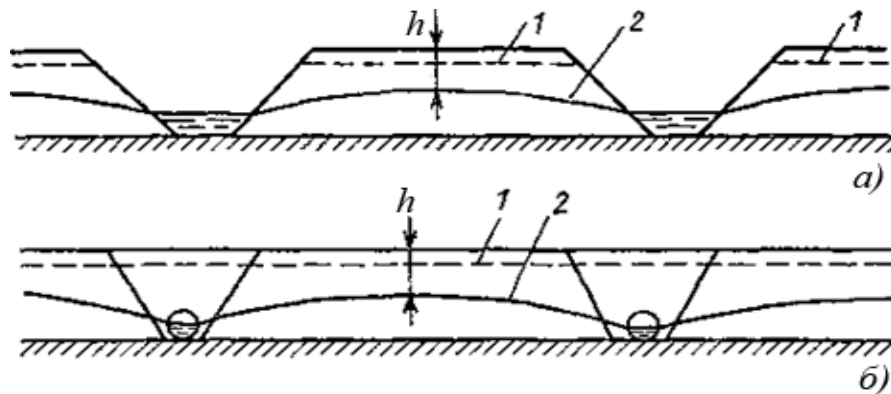


Рисунок 10.2 – Відкрита (а) та закрита (б) регульовальна осушувальна мережа:
1 – початковий рівень ґрунтових вод; 2 – рівень ґрунтових вод після будівництва дренажу

Причинами підтоплення та заболочування території є надходження на цю територію значної кількості поверхневих вод і високе стояння рівня ґрунтових вод. Підйом ґрунтових вод до поверхні землі може бути викликаний особливостями гідрогеологічних та кліматичних умов місцевості, а також її рельєфом.

Схеми підтоплення території, викликані природними умовами, наведено на рисунку 10.3.

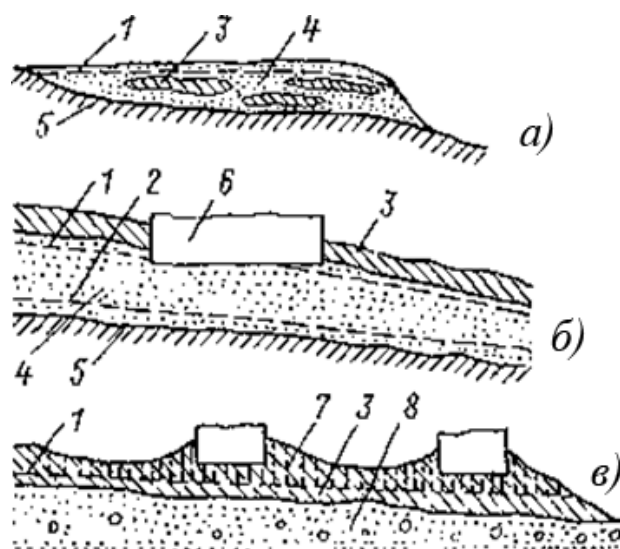


Рисунок 10.3 – Підтоплення територій верховодкою (а), ґрунтовими водами (б), ґрунтово-напірними водами (в):

1 – весняний рівень; 2 – зимовий рівень; 3 – суглинки; 4 – піски; 5 – глини;
6 – фундамент будівлі; 7 – капілярні води; 8 – піски та галечники

Підтоплення може *виникнути* завдяки так званій *верховодці* – води поверхневих відкладень, у яких на невеликій глибині від поверхні землі містяться водотривкі або малопроникні прошарки – лінзи (наприклад, глини, суглинки) (рис. 10.3, а). У період танення снігів або під час дощів вода, проникаючи зверху, доходить до лінз і підвищує рівень ґрунтових вод, який може підтоплювати будівлі. Через деякий час вода просочується між малопроникними лінзами і стікає по схилах надзапальної тераси. У зимовий період за наявності постійного шару снігу верховодка відсутня.

Підтоплення території можуть спричинити *ґрунтові води* (рис. 10.3, б) води першого від поверхні землі постійного водоносного шару (залягають вони на водостійкому шарі) і *ґрунтово напірні*, або *міжпластові* води (рис. 10.3, в), що зустрічаються в проникних шарах, перекритих знизу і зверху водонепроникними ґрунтами.

Крім причин, викликаних природними умовами, підтоплення територій можуть виникнути внаслідок погіршення в процесі будівництва умов стоку зливових та талих вод та недотримання вимог нормальної експлуатації водних комунікацій. Наприклад, за незадовільного влаштування тимчасових водоводів, що дають великі витoki, влаштуванні насипів і виїмок, що порушують стік зливових і талих вод тощо.

Підтоплення можуть виникнути і на територіях діючих підприємств і міст. Наприклад, на деяких міських водопроводах у початковий період експлуатації витікання сягало 12–13 % витрати води у водопроводах. Велика інфільтрація води в ґрунт буває на металургійних заводах навколо бризкальних басейнів тощо.

Великі підтоплення виникають під час будівництва гребель та каналів у населених та промислових районах.

Вибір засобів *захисту території* від підтоплення – це інженерна задача, яка має низку рішень, які також залежать від місцевих умов. Перевагу потрібно віддавати найбільш ефективним економічним, доволі надійним і зручним в експлуатації рішенням, які можуть бути здійснені в короткий термін.

Для захисту від поверхневих вод влаштовують *нагірні канали* або *зливову каналізацію*. Для захисту від високого стояння рівня ґрунтових вод будують відкриті та закриті системи осушення (рис. 10.2). Стік ґрунтової та поверхневої води у відкритих системах відбувається в відкриті канали. У закритих системах ґрунтові води потрапляють у дренажні труби, покладені в ґрунт нижче рівня ґрунтових вод з ухилом, що забезпечує самопливний стік до місця їх відведення. Захоплення води здійснюється через отвори у стінках дренажних пристроїв або через стики між трубами.

Для осушення використовується і вертикальний дренаж, утворений системою колодязів, опущених у водоносний шар, з яких воду відкачують насосами або сифонною установкою, і комбінований дренаж, який з'єднує вертикальний з горизонтальним. Вертикальні колодязі подають самозливну воду в горизонтальну штольню під дією різниці рівнів води в ґрунті та штольні. Далі вода самопливом або за допомогою сифонної установки прямує до

збірного резервуару, звідки насосною станцією перекачується у водоприймач (рис. 10.4).

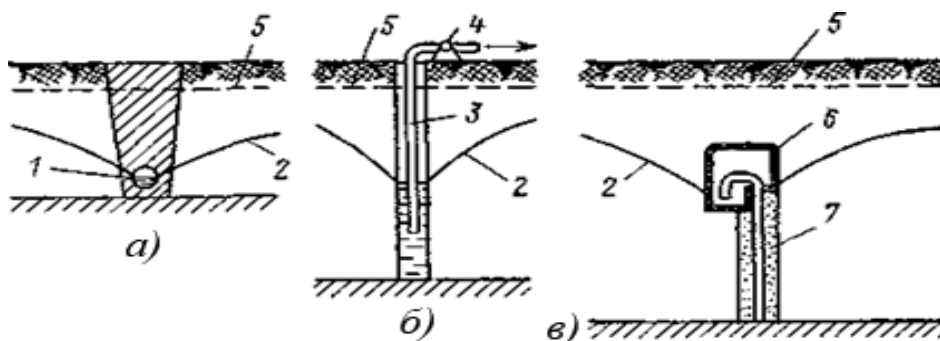


Рисунок 10.4 – Типи дренажів:

а – горизонтальний; *б* – вертикальний; *в* – комбінований;
1 – дрена; 2 – депресійна поверхня ґрунтових вод; 3 – стовбур свердловини;
4 – насос; 5 – початковий рівень ґрунтових вод; 6 – галерея;
7 – трубчастий колодязь

Залежно від розташування дренажів по відношенню до осушуваних майданчиків і джерела підтоплення ґрунтових вод розрізняють: систематичний, головний, береговий і кільцевий дренажі.

Систематичний дренаж складається з дрен-осушувачів та колекторів, його використовують для рівномірного осушення всієї території.

Головний дренаж застосовують для зниження рівня ґрунтових вод, що надходять на осушувану територію в здебільшого з гірського боку.

Береговий дренаж застосовують у тому випадку, коли в річці піднімається рівень води під час зведення греблі.

Кільцевий дренаж служить для захисту від підтоплення підвальних приміщень будівель або невеликих ділянок землі.

Для визначення витрати ґрунтових вод (дренажного стоку), що виходять у дренаж, глибини закладення дренажу, відстані між дренами виконують фільтраційні розрахунки.

Відкрита та закрита системи осушення мають як переваги, так і недоліки. Відкрита система осушення є більш економічною, може бути побудована в більш короткий термін, проте при нарізанні осушувальних каналів втрачається 10–15 % корисної площі. Застосовувати її доцільно там, де багато вільних площ, наприклад, у лісовому господарстві, для видобутку торфу. Ця система працює тільки в теплу пору року, ускладнює переміщення транспортних засобів, потребує влаштування переїздів. Щорічні витрати на ремонт становлять 30–40 % будівельної вартості. Закриті системи осушення, незважаючи на більш високу будівельну вартість, приблизно в 4–10 разів, є значно досконалішими за відкриті канали. Щорічні витрати на їх ремонт становлять 10–15 % будівельної вартості.

10.3 Боротьба з зсувами та захист берегів

Зсувами називають зміщення земляних мас під впливом їх ваги за чітко вираженою поверхнею ковзання. Необхідність боротьби з зсувами виникає за умов великих перезволожених схилів місцевості. Протизсувні заходи необхідні забезпечення стійкості гідротехнічних споруд, житлових і промислових будівель, транспортних споруд.

Зсуви можуть утворюватися в природних схилах або штучних укосах виїмок або насипів. Порушення рівноваги земляних мас спостерігається і в інших формах, відмінних від зсувів, – в обвалах і осипах. При *обвалах* зміщення порід відбувається зі значною швидкістю і зазвичай супроводжується перекиданням їх та роздробленням.

Осипами називають пересування мас незв'язного сипучого ґрунту по схилу.

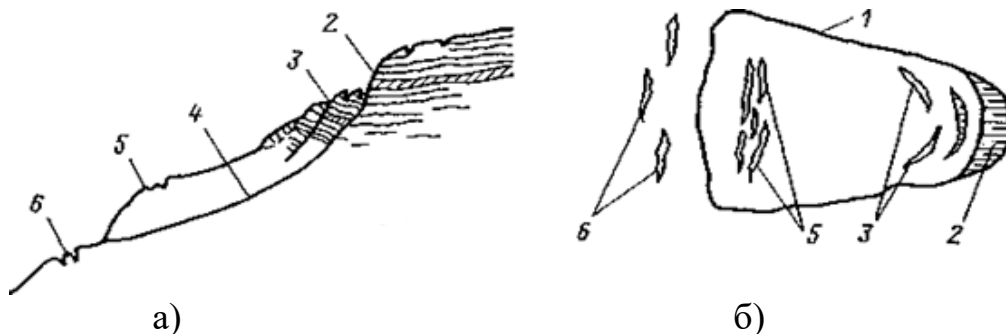


Рисунок 10.5 – Схема зсуву ґрунту:

а – профіль; *б* – план; 1 – брівка зриву; 2 – стіна зриву; 3 – зсувні щаблі; 4 – поверхня ковзання; 5 – тріщини витріщання; 6 – деформації основи

На рисунку 10.5 наведено план та розріз підковообразного зсуву. У плані тіло зсуву оконтурене зверху стіною зриву, з боків – брівкою зриву. У результаті руху земляних мас утворюються зсувні сходи і тріщини пучення.

Типи зсувів і причини їх виникнення є дуже різноманітними: топографічні круті високі схили, геологічні – нахил шарів у бік укосу, велика тріщинуватість гірських порід тощо, гідрологічні та гідрогеологічні. Останні відіграють особливу роль у розвитку зсувних явищ. Насичення ґрунтів підземними водами збільшує вагу рухомої частини масиву, зменшує сили опору порід зсуву; виникають явища вимиву дрібних частинок ґрунту; підземні води в глибині схилу змочують поверхню ковзання зсувних мас по підстиланню. Води також сприяють зсувам – поздовжні швидкості течії в річці, а також вплив хвиль на береги водоймищ призводять до розмиву берегової смуги, що служить упором для берегових схилів.

Зсуви можуть бути викликані й діяльністю людини: влаштування виїмок у нижній частині зсувного укосу або насипів у верхній його частині, виробництві підривних робіт, знищення деревно-чагарникової рослинності на схилах, струси ґрунтів зсувного схилу, що викликаються динамічними впливами будівельних машин і транспорту.

Інженерні заходи щодо боротьби з зсувами також є різноманітними, як і

причини, що їх викликають. *Більша пологість зсувних укосів* і механічне утримання ґрунтових мас у рівновазі досягається плануванням укосу, зняттям його верхньої частини і привантаженням зсуву біля підшови, яка буде упором проти ковзання ґрунтових мас. Обов'язковою умовою при цьому є влаштування надійного *дренажу* у відсипаному завязтому масиві, щоб не затримувати підземні води, що просочилися в тіло зсуву. Для утримання ґрунтових мас у рівновазі застосовують також *підпірні стіни* та *анкерування укосів*.

Відведення поверхневих вод застосовується для захисту зсувних схилів від проникнення цих вод у ґрунт схилів з зсувної та суміжної з нею території. Поверхневі води виникають у результаті випадання дощів і весняного сніготанення. Для відведення поверхневих вод використовується система водостічної мережі. У містах вона є закритою, у сільській місцевості, де є багато вільної території, вона є відкритою.

Відведення ґрунтових вод для боротьби з зсувами здійснюється дренажами: дрібними – для відведення верховодки і глибокими – для перехоплення міжпластових ґрунтових вод, що залягають глибоко від поверхні землі. У плані дрібні і глибокі дренажі розташовують поза межами зсувного схилу зі зручним виведенням води у водоприймач.

Зсувний схил можна осушити пристроєм дренажних лотків глибиною 2,5–3 м. Коли на укіс виходить багато ключів, влаштовують укісні дренажі, які є неглибокими траншеями, розташованими впоперек укосу і заповнені фільтруючим матеріалом. Закладаються вони нижче за поверхню можливого зсуву і нижче за глибину промерзання, щоб дренаж мав змогу працювати і в зимовий період.

Для захисту берегів річок від підмиву і руйнування поздовжніми течіями під час повінь і паводків їх зміцнюють різним *одягом* і *регуляційними спорудами* (поздовжніми струмененапрямними дамбами або бунами (рис. 10.6) – поперечними спорудами, розташованими нормально або під великим кутом до лінії берега). Береги великих водосховищ, які складено з нескількох порід, захищають спеціальними спорудами, що відрізняються здебільшого великими розмірами.



Рисунок 10.6 – Регуляційна споруда (струмененапрямна дамба)
(фото з відкритих джерел)

Існують два принципово різних способи захисту берегів: активний і пасивний. Останнім часом вони використовуються зазвичай спільно. Під *активним способом* розуміється створення та збереження вільних штучних пляжів і зведення споруд, що затримують наноси, – бун, підводних хвилеломів (рис. 10.7), що захищають природні та штучні пляжі. *Пасивним захистом* називають спосіб, коли берег зміцнюється хвилезахисними спорудами, що гасять енергію хвиль безпосередньо своєю конструкцією – хвилевідбійні стінки (рис. 10.8), притулені до берега, з вертикальною або криволінійною передньою гранню; хвилегасні споруди, що становлять накидання з каменю або блокових елементів (рис. 10.9), перфоровані стінки, відкосні споруди з підвищеною шорсткістю, що утворюють пологі укоси тощо.

Наведені вище заходи боротьби з зсувами зазвичай застосовуються комплексно. Склад заходів, що входять у той чи інший комплекс, залежить від місцевих умов.

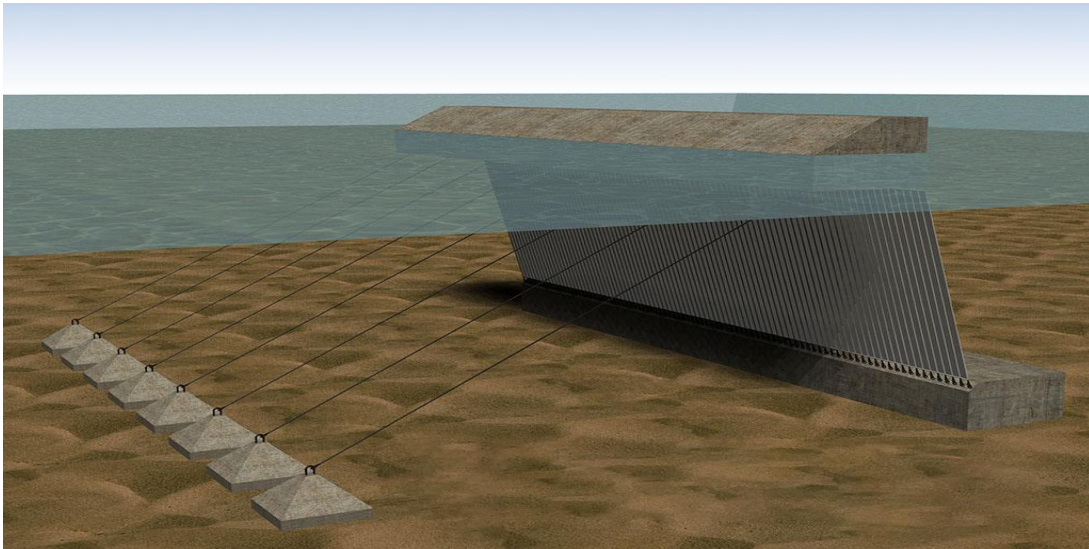


Рисунок 10.7 – Підводний хвилелом (фото з відкритих джерел)



Рисунок 10.8 – Хвилевідбійна стінка (фото з відкритих джерел)



Рисунок 10.9 – Хвилегасна споруда (фото з відкритих джерел)

Контрольні запитання

1. Описати сутність інженерної меліорації.
2. Описати методологію зволоження посушливих земель.
3. Описати методологію осушення перезволожених земель.
4. Описати типи дренажів.
5. Описати методологію боротьби з зсувами та осипами.
6. Описати методологію захисту берегів річок від підмиву і руйнування.

11 ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА ВОДОВІДВЕДЕННЯ

11.1 Водопостачання

Історія водопостачання налічує понад чотири тисячоліття. Найпростіші споруди для добування води були відомі вже у Стародавньому Єгипті. Однак водопровід у сучасному розумінні цього слова з'явився в Європі лише у XII столітті.

Швидке зростання промисловості, розвиток населених місць та ступеня їх благоустрою висувають великі вимоги до систем та споруд для допостачання. А саме – збільшення обсягів води, що подається, поліпшення її якості, підвищення надійності подачі, зниження вартості та скорочення термінів будівництва.

Під водопостачанням розуміють сукупність інженерних заходів, споруд та пристроїв, що забезпечують отримання, очищення, транспортування та розподіл води споживачам у необхідних обсягах та необхідної якості. Системи водопостачання повинні забезпечувати подачу води на *господарсько-питні потреби* населення (питво, приготування їжі, миття, прання, поливання вулиць і зелених насаджень), на *виробничі потреби* промисловості та транспорту, на потреби *сільського господарства*, а також на потреби *пожежогасіння*.

Кількість води, що споживається для господарсько-питних цілей, залежить від ступеня благоустрою населеного пункту, санітарно-технічного обладнання будівель, а також від кліматичних умов. Залежно від перерахованих факторів норми водоспоживання на одного жителя сягають 350–500 л/добу, а в містах мільйонниках вже перевищили дані цифри.

Подача води на пожежогасіння відбувається епізодично, проте витрата води в цей період часу може досягати дуже значних цифр – до 100 л/с протягом 3 годин.

У населених пунктах зазвичай влаштовується єдина система водопостачання, яка забезпечує всі потреби населення та виробництва, а також подачу води на пожежогасіння. На рисунку 11.1 подано типову схему водопостачання населеного пункту.

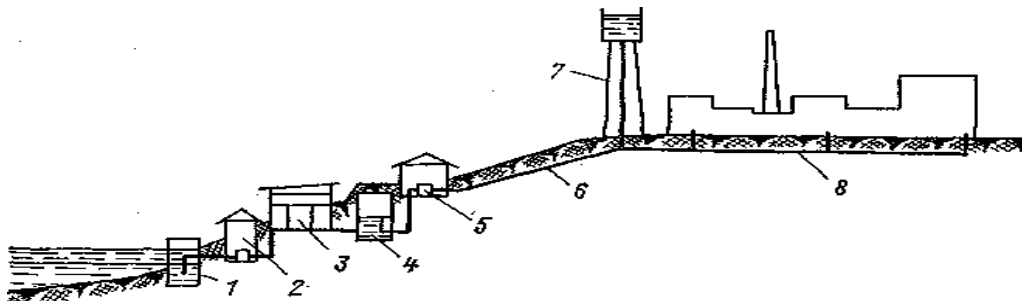


Рисунок 11.1 – Схема водопостачання населеного пункту:

- 1 – водоприймальна споруда; 2 – насосна станція 1-го підйому; 3 – очисні споруди; 4 – резервуари чистої води; 5 – насосна станція 2-го підйому;
6 – водоводи; 7 – водонапірна вежа; 8 – водопровідна мережа

Водоприймальні споруди призначені для прийому води з джерела. Джерелом водопостачання можуть бути як поверхневі води (річки, озера, водосховища), так і підземні. Прийом води з річок зазвичай здійснюється водоприймальними *колодязями*, розташованими або на березі, або в руслі річки. Вода в колодязь надходить трубами або в отвори в стінах колодязя. Вхідні пристрої водоприймальних колодязів обладнуються *решітками*, а безпосередньо в колодязях розташовуються *сітки* для попереднього очищення води.

На водоймах, що мають рибогосподарське значення, передбачаються рибозахисні споруди. Захист риби та її молоді здійснюється проціджуванням води через сітчасті загородження або фільтрувальні касети або відлякуванням шляхом створення завіс з бульбашок повітря або впливу електричним струмом. Прийом підземних вод здійснюється свердловинами, шахтними колодязями, водозбірними галереями тощо.

Підйом води на необхідну висоту забезпечується *насосними станціями*. За потреби очищення води зазвичай влаштовуються дві насосні станції в системі водопостачання. Насосна станція 1-го підйому перекачує воду з водоприймальних споруд на очисні споруди, а насосна станція 2-го підйому подає очищену воду у водопровідну мережу та водонапірну вежу.

Вода, що йде на господарсько-питні потреби, повинна відповідати певним вимогам якості. До показників якості води відносяться: вміст завислих речовин, прозорість, кольоровість, температура, запах, смак, жорсткість, вміст різних елементів та сполук, бактеріальна забрудненість. До води, що йде на технологічні потреби промислових підприємств, висуваються спеціальні вимоги, які можуть бути вищими або нижчими за вимоги до господарсько-питної води. Якщо показники якості води у джерелі водопостачання не задовольняють нормативним вимогам, воду піддають обробці на *очисних спорудах*.

Основними процесами під час очищення води є: *освітлення* – видалення зважених речовин; *знебарвлення* – усунення кольоровості води; *зnezараження* – знищення бактерій, що містяться у воді; *пом'якшення* – видалення солей кальцію та магнію. Крім того, за необхідності воду можуть піддавати *опрісненню*, видаленню певних солей, *дегазації* тощо.

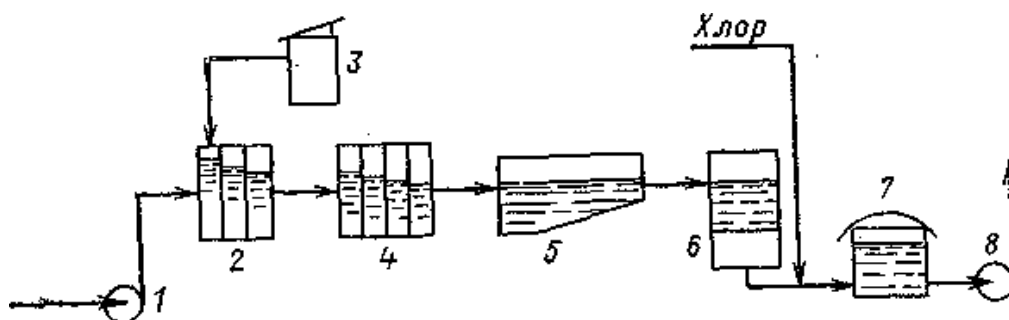


Рисунок 11.2 – Технологічна схема станції водоочищення

Технологічну схему водоочисної станції показано на рисунку 11.2. Вода насосами 1-го підйому 1 подається в змішувач 2, куди одночасно надходять хімічні сполуки – реагенти, призначені для прискорення процесу освітлення і знебарвлення води, що готуються в реагентному цеху 3. Після змішування з реагентами вода подається в камеру пластівцеутворення 4, де відбувається хімічний процес укрупнення зважених частинок пластівців. У відстійниках 5 основна маса пластівців, що утворилися, осаджується і випадає в осад. З відстійників воду подають на фільтри 6 для глибокого освітлення шляхом пропуску її через товщу піщаного завантаження. Перед подачею води в резервуари чистої води 7 її піддають впливу знезаражувальних речовин (хлору та інших).

Вода, що пройшла обробку на спорудах водоочищення, подається насосами 2-го підйому 8 до об'єктів водопостачання за допомогою водоводів.

З метою забезпечення безперебійності подачі води її подають не менше ніж по двох нитках трубопроводів, що укладаються паралельно один одному. Розподіл води за територією об'єкта та подання її безпосередньо до місць споживання (житлових будівель, виробничих цехів тощо) відбувається за допомогою *водопровідної мережі*. За конфігурацією у плані водопровідні мережі можуть бути розгалуженими (тупиковими) та кільцевими. У мережах першого типу під час аварії на якійсь ділянці всі споживачі, розташовані за місцем аварії, залишаються без води. Тому *тупикові мережі* застосовують для невеликих об'єктів, що допускають перерви в постачанні водою, при цьому обов'язково влаштування запасних ємностей для потреб пожежогасіння. *Кільцеві мережі* проводять за необхідності безперебійного водопостачання, що забезпечується двостороннім підведенням води до будь-якої ділянки мережі. Водопровідні лінії розташовують по проїздах або по узбіччям доріг зазвичай прямолінійно та паралельно межах забудови.

Для зберігання запасів води, регулювання подачі та витрати води та забезпечення необхідних напорів у системах водопостачання влаштовують спеціальні ємності. Зазвичай вони виконують одне або кілька призначень. За конструкцією ємності поділяються на резервуари, відкриті водоймища, водонапірні башти, водонапірні колони, баки гідропневматичних установок. У ємностях залежно від їхнього призначення повинні знаходитися регулюючий, протипожежний та аварійний запаси води. *Регулюючий об'єм води* створюється для приведення у відповідність подачі та споживання води. Наприклад, насосна станція 1-го підйому подає воду рівномірно протягом доби з метою створення сприятливих умов для роботи очисних споруд, а насосна станція 2-го підйому має подачу, близьку до споживання. Внаслідок цього в години мінімального водоспоживання відбувається накопичення води в регулюючій ємності та, навпаки, в години максимального водоспоживання – витрати води з ємності. Роль регулюючої ємності при насосних станціях відіграють резервуари чистої води. Так само водонапірна башта є регулюючою ємністю між насосною станцією 2-го підйому і споживачем води. *Протипожежний запас* води розраховується для водонапірних веж на 10-хвилинну тривалість гасіння

пожежі, а для резервуарів чистої води та протипожежних водойм на 3-годинну. *Аварійний запас* води створюється за неможливості поповнення протипожежного запасу в нормативні терміни.

11.2 Водовідведення (каналізація)

Під час використання води для різних потреб вона отримує різні домішки (забруднення), що змінюють її хімічний склад та фізичні властивості. Така вода носить назву *стічної рідини* і є небезпечною з санітарної точки зору та з позицій охорони природного середовища. Для усунення несприятливих наслідків стічні води необхідно своєчасно видаляти з території населених пунктів та промислових підприємств, очищати їх та знезаражувати. Комплекс інженерних споруд та заходів, призначених для цього, називається *каналізацією* або *водовідведенням*. Система водовідведення складається з внутрішніх пристроїв будівель, зовнішньої мережі (системи труб і каналів), насосних станцій, очисних споруд та пристроїв для випуску очищених стічних вод у водойму. Кількість відвідних стічних вод приймається такою, що дорівнює кількості споживаної чистої води (норми водовідведення дорівнюють нормам водоспоживання).

Каналізаційні мережі будують переважно самотісними. Для цього їх прокладають з ухилом у бік руху стічних вод. Система водовідведення, в якій всі види стічних вод (побутові, виробничі та атмосферні) відводяться за одними й тими самими трубопроводами, називається *загальноспільною*. Якщо кожен вид стічних вод відводиться за власною системою труб, то така система називається *роздільною*. Для огляду, промивання та прочищення від засмічення каналізаційної мережі на ній влаштовують *оглядові колодязі*.

Для прийому атмосферних стічних вод застосовують *дощоприймачі* – колодязі з металевими решітками зверху. Перетин каналізаційної мережі з річками, ярами та залізницями влаштовують у вигляді дюкерів, естакад, переходів. *Дюкери* становлять напірні трубопроводи, розташовані під перешкодою, що знаходяться приблизно в одному рівні з каналізаційною мережею, *естакади* переводять трубопроводи через низько розташовані перешкоди, а *переходи* – самотісні трубопроводи, прокладені у футлярі (сталевому кожусі) або в тунелі під перешкодою, розташованим вище за каналізаційну мережу. За значного заглиблення водовідвідних труб і за неможливості самотісного руху стічних вод вдаються до влаштування *насосних станцій перекачування*, що подають воду по напірних трубопроводах.

Очисні споруди призначаються для очищення та знезараження стічних вод перед випуском їх у водойму, а також для переробки їхнього осаду. Способи очищення та склад очисних споруд залежать від забрудненості стічних вод, потужності та самоочищувальної здатності водоймища, а також від призначення водоймища (для рибництва, купання, водопостачання).

Розрізняють такі *способи очищення* стічних вод:

- механічні (решітки, пісковловлювачі, відстійники, нафтовловки, жироловки, фільтри тощо),
- фізико-хімічні (виділення забруднень завдяки хімічним реакціям між ними і реагентами, що вводяться у воду);
- біологічні (окислення забруднень за допомогою мікроорганізмів, здатних мінералізувати органічні речовини).

Біологічне очищення може відбуватися в природних умовах – на полях зрошення і полях фільтрації та в біологічних ставках і в штучно створених умовах – в біологічних фільтрах та аеротенках.

У біологічних фільтрах стічна вода фільтрується через крупнозернистий матеріал, покритий біоплівкою, утвореною колоніями мікроорганізмів. В аеротенках, що становлять довгі залізобетонні резервуари, стічна вода, що очищається, повільно рухається і переміщується з вільно плаваючими в ній мікроорганізмами за штучного насичення води киснем повітря. Знезараження стічних вод відбувається під дією хлорного вапна або хлору в контактних резервуарах. Обробка осаду, що утворюється в процесі очищення води, полягає у зброджуванні (перегніванні), зневодненні та сушінні. Оброблений осад потім спалюють, або використовують як добриво в сільському господарстві. Стічні води, що пройшли очищення, скидаються у водойму через *випуски* – пристрої, що забезпечують гарне змішування даних вод з водою водойми.

11.3 Водопостачання промислових підприємств та електростанцій

Важливою народногосподарською задачею є забезпечення водою промислових підприємств. У великій кількості вода використовується в технологічних процесах виробництва в різних галузях промисловості, а також в енергетиці. Кількість води, що витрачається на промислові потреби, залежить від характеру та розмірів виробництва та прийнятої технології. До найбільш водоемних споживачів належать хімічні та целюлозно-паперові підприємства, заводи чорної та кольорової металургії, теплові та атомні електростанції. Наприклад, для випуску 1 т синтетичного волокна потрібно витратити 2 500–5 000 м³ води, 1 т міді – 500 м³, 1 т паперу – 400–800 м³, а 1 кВт-год електроенергії – 0,15–0,20 м³.

Вимоги щодо якості води залежать від характеру технологічного процесу. Ряд виробничих споживачів висуває до якості води такі високі вимоги, що не може задовольнити жодне природне джерело водопостачання. До таких споживачів, зокрема, належать сучасні парові казани та атомні реактори. У цих випадках використовувана вода піддається ретельній хімічній обробці. Одночасно на промислових підприємствах може у великій кількості використовуватися технічна вода, що забирається з джерел водопостачання без її обробки.

Однією з найбільш серйозних проблем, пов'язаних із використанням води на промислових підприємствах, є забруднення підприємством навколишнього середовища. *Стічні води промислових підприємств* часто забруднені відходами виробництва, які іноді бувають токсичними. Необхідно також враховувати можливий вплив *теплого забруднення* водойм на місцеві кліматичні умови, тваринний і рослинний світ. Нормативні документи встановлюють суворі правила щодо попередження забруднення природних водойм.

Зараз значну увагу приділяють скороченню витрат води на технологічні потреби промислових підприємств, створенню повністю замкнутих циклів водообертання, розробці безвідходного виробництва тощо. Сучасні промислові підприємства зазвичай мають оборотні системи водопостачання, обладнані очисними спорудами та охолоджувальними пристроями.

Категорії водоспоживання на промислових підприємствах можуть бути такими: охолодження обладнання, отримання пара, промивання, замочування, зволоження, використання у складі продукції, гідротранспорт тощо. Використання води для охолодження має масштаби, що значно перевершують масштаби решти споживачів води. Характерно, що питома вага цієї категорії водоспоживання зростає, що пов'язано зі зростанням темпів будівництва теплоелектростанцій.

Технічне водопостачання *теплових і атомних електростанцій* сьогодні є однією з найважливіших областей гідротехніки. Великі ТЕС та АЕС споживають десятки кубометрів води за секунду, що у багато разів перевищує витрати води, що подаються на господарсько-побутові потреби найбільших міст. Наприклад, для АЕС встановленою потужністю 4 000 МВт потрібна витрата охолоджувальної води 160–200 м³/с. Для ефективного розсіювання теплоти від станції необхідно споруджувати великі водосховища, здатні акумулювати величезну кількість теплоти за незначного підвищення температури води (на 3–5 °C). Підвищення температури води в річці або водосховищі більш ніж на 5 °C може призвести до змін кліматичних умов мікрорайону, а також до порушення екологічної рівноваги у водоймі.

Об'єднана система технічного водопостачання теплових і атомних електростанцій включає цілий ряд окремих систем, що забезпечують агрегати станцій водою різної якості.

Найбільша кількість води, приблизно 60–90 % загального витрат, йде на *охолодження конденсаторів* парових турбін, які одночасно вимагають і найбільш глибокого охолодження, тобто на них подається вода з мінімальною температурою. У зв'язку з великими витратами охолоджувальної води і високою вартістю її хімічного очищення обмежуються зазвичай механічним очищенням і періодичним хлоруванням води для боротьби з мікроорганізмами. Технічна (неочищена) вода безпосередньо забирається з моря, річок або озер. Однак ціла низка відповідальних споживачів води на ТЕС і особливо на АЕС потребує воду дуже високої якості. Спеціальні системи хімічного водоочищення забезпечують чистою водою *контури теплообміну*, підшипники головних і допоміжних насосів та інших агрегатів у головному корпусі станції.

Для інших дрібніших споживачів і для господарських потреб зазвичай створюють самостійну систему водопостачання, в якій використовується вода питної якості.

Досвід проектування та спорудження великих теплових та атомних електростанцій показує, що вартість систем технічного водопостачання може становити до 30 % загальної вартості електростанції. Тому під час розробки систем технічного водопостачання великих ТЕС та АЕС приділяють значну увагу вибору майданчика будівництва та техніко-економічному обґрунтуванню складу споруд.

Система технічного водопостачання ТЕС та АЕС є комплексом гідротехнічних споруд, що забезпечують безперебійну подачу холодної води, відведення нагрітої води та подальше її охолодження до вихідної температури. Найзручніше розташовувати теплоелектростанції поблизу великих природних джерел води або водосховищ ГЕС, які дозволяють забирати необхідну кількість охолоджувальної води і мало змінювати свою температуру під час скидання нагрітої води. При цьому вода, що охолоджує, проходить теплообмінні пристрої (конденсатори турбін) одноразово. Зазвичай системи даного типу споруджуються на морі, озері або річці, якщо її мінімальний стік в 2–3 рази перевищує потреби станції в охолодній воді. Така система називається *проточною або прямоточною*. У тих випадках, коли води в джерелі водопостачання недостатньо, приймають циркуляційне водопостачання, за якого вода, що охолоджує, проходить багаторазово всі елементи системи водопостачання. *Циркуляційні або оборотні системи*, незважаючи на їхню високу вартість порівняно з прямоточними системами, є найбільш перспективними, а іноді й єдиними можливими для ТЕС, АЕС та інших промислових підприємств, що здійснюють велике скидання тепла (теплове забруднення) або шкідливих для довкілля речовин. На рисунку 11.3 показано основні споруди системи обігового водопостачання АЕС.

В оборотних системах водопостачання як охолоджувачі води використовуються ставки-охолоджувачі (штучні або природні водосховища), бризкальні басейни та градирні різних типів.

Вибір та оцінка ефективності роботи різних охолоджувачів здійснюється на основі техніко-економічних розрахунків. Найдешевшими і найпростішими за конструкцією є *ставки-охолоджувачі*, для утворення яких споруджують греблю на річці. За необхідності зводять дамби, що захищають територію від зайвого затоплення, струміннаправні дамби, що забезпечують рух води найбільш довгим шляхом з мінімальними швидкостями, що дозволяє найбільш ефективно використовувати поверхню водосховища. Основними характеристиками охолоджувачів систем технічного водопостачання є питомі гідравлічне навантаження, теплове навантаження та площа, яку займає охолоджувач. Для ставок-охолоджувачів дані величини відповідно дорівнюють 0,025–0,05 м³/(м² · год), 800–1 600 кДж/(м² · год), 7–14 м²/кВт. Очевидно, що для великих теплових і атомних електростанцій площа ставка-охолоджувача повинна становити десятки квадратних кілометрів, а їх глибина зазвичай не

повинна бути меншою за 4–5 м.

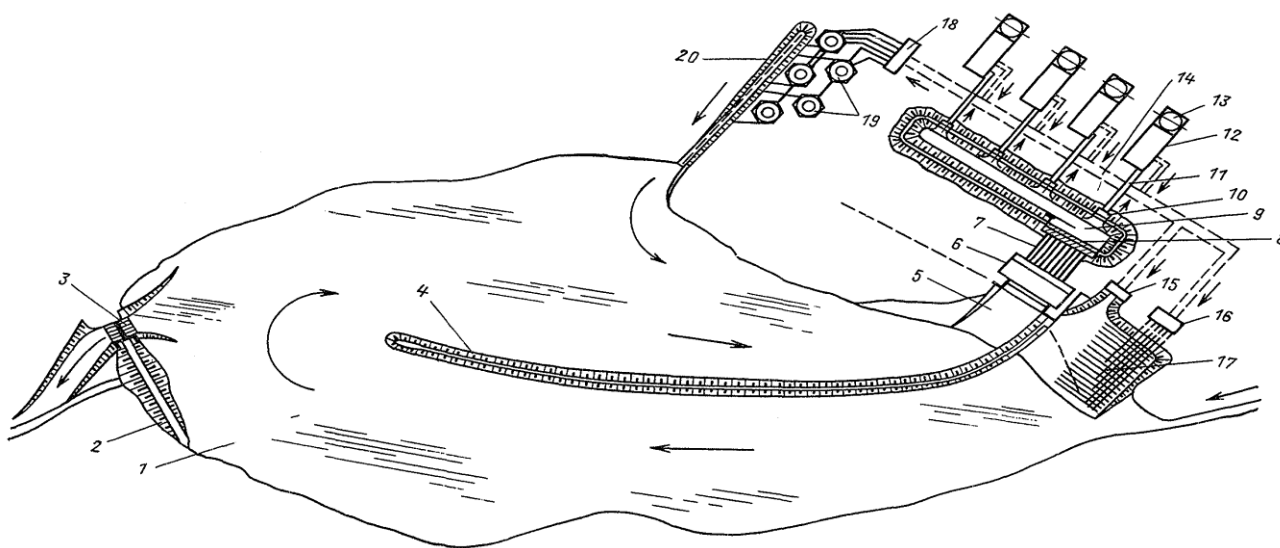


Рисунок 11.3 – Оборотна система технічного водопостачання АЕС:

- 1 – ставок-охолоджувач; 2 – гребля; 3 – водоскид; 4 – струмінна пряма дамба;
5 – підвідний канал; 6 – циркуляційна насосна станція;
7 – напірні трубопроводи; 8 – сифонний водовипуск; 9 – напірний басейн;
10 – водоприймач; 11 – трубопроводи до конденсаторів турбін;
12 – машинна зала; 13 – атомний реактор; 14 – закритий відвідний канал;
15 – водовипуск; 16 – насосна станція бризкальних пристроїв;
17 – бризкальний басейн; 18 – насосна градирень; 19 – градирні;
20 – відвідний канал

Для зменшення площі, що займає охолоджувач, застосовують *бризкальні басейни*. У даному випадку вода, що підлягає охолодженню, розбризкується за допомогою спеціальних сопел над поверхнею басейну у вигляді окремих крапель. При цьому завдяки збільшенню сумарної поверхні дрібних крапель ефективність тепловіддачі з одиниці площі бризкального басейну приблизно в 40 разів вище, ніж у ставках-охолоджувачах. Ефект охолодження води в бризкальних басейнах зростає за більш тонкого розпилення рідини та збільшення швидкості вітру, але при цьому можливі утворення туману, винесення рідини за межі басейну та зледеніння споруд, розташованих близько до охолоджувача.

Ще менше площі займають *градирні*, в яких і втрати води є суттєво меншими, ніж у бризкальних басейнах. Градирні для електростанцій великої потужності становлять залізобетонні або сталеві вежі висотою, що досягає 150 м, мають діаметр більш ніж 100 м. У середині вежі розташовується зрошувальний пристрій, через який нагріта вода розбризкується на систему дерев'яних щитів або рейок. Природний рух охолоджуючого повітря назустріч падаючим краплям або водяним плівкам, що стікають по поверхні щитів, обумовлено різницею температур теплого повітря всередині градирні і

холодного повітря зовні градирні. Іноді використовують примусову вентиляцію градирні, що забезпечує значне покращення ефективності охолодження циркуляційної води. Наприклад, порівняно з ставками-охолоджувачами площа, яку займають градирні, що забезпечують таке ж відведення теплоти, скорочується в 200–400 разів. Однак через високу вартість та тривалість будівництва градирні застосовують рідко, хоча для деяких електростанцій запроектовані градирні дуже великої продуктивності (25–30 м³/с).

Системи технічного водопостачання ТЕС та АЕС за складом споруд, потужності водопідведення та схемою водопостачання значною мірою відрізняються від системи міського водопроводу та системи водопостачання промислових підприємств. Зазвичай використовуються дві схеми водопостачання – примусова та самопливна.

Примусова схема водопостачання забезпечує безпосередню подачу охолоджувальної води після її грубого механічного очищення до конденсаторів турбін. Конденсатори великих парових турбін зазвичай з'єднані трубопроводами із двома або більше циркуляційними насосами та утворюють єдиний блок (рис. 11.4).

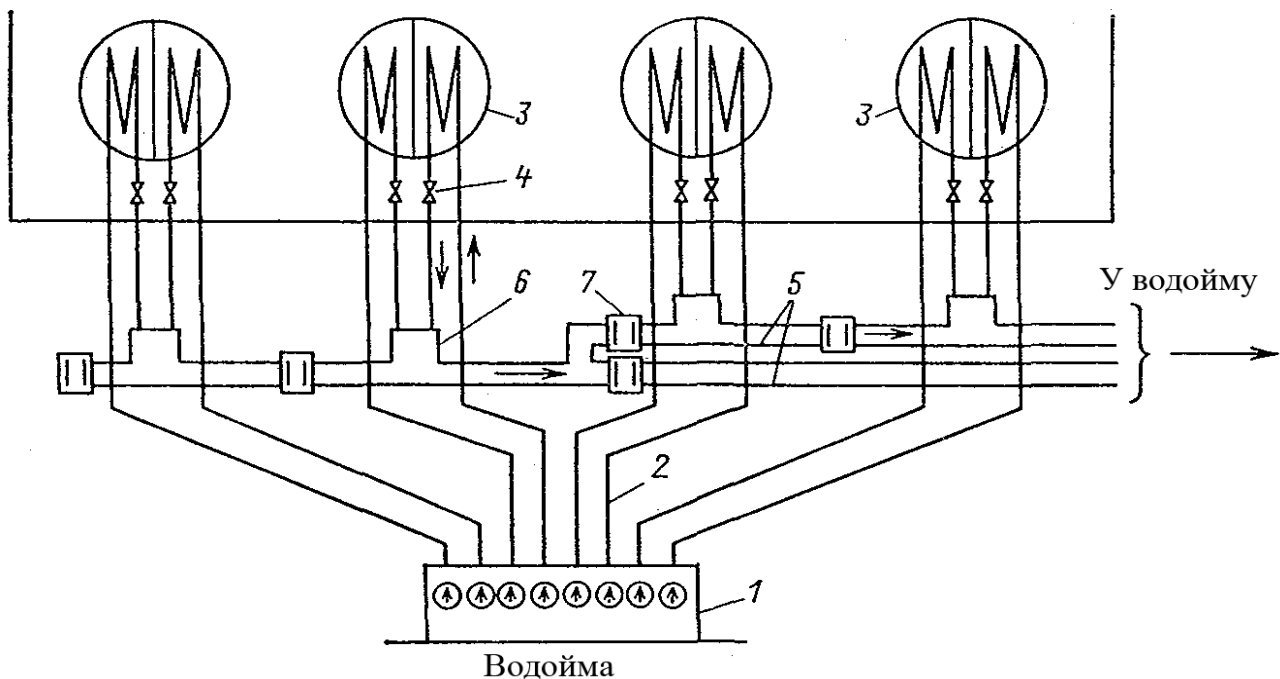


Рисунок 11.4 – Блокова схема примусового водопостачання теплової електростанції:

- 1 – берегова насосна станція; 2 – напірний водовід; 3 – конденсатор;
- 4 – засувка на зливальній лінії конденсатора; 5 – відвідні канали;
- 6 – зливна криниця; 7 – перемикальний колодязь

Насосні станції систем технічного водопостачання ТЕС і АЕС обладнуються потужними насосами з подачею до 15–30 м³/с і напором до 8–20 м і становлять великі гідротехнічні споруди. Зокрема, циркуляційні насоси лише однієї турбіни потужністю 500 МВт мають встановлену потужність 3 000 кВт.

За блокової схеми водопостачання особливо небезпечними є перерви в енергопостачанні насосної станції (через аварії в роботі електростанції або енергосистеми), оскільки в цьому випадку необхідно мати потужні резервні джерела електроживлення насосної станції або скидати пару з конденсаторів турбін ТЕС в атмосферу, що економічно недоцільно.

Самопливна схема, що зазвичай застосовується на АЕС, відрізняється від примусової тим, що між насосною станцією і конденсаторами турбін споруджується *напірний басейн*, з якого вода самопливом подається до конденсаторів. Самопливна схема є дещо дорожчою, ніж схема з примусовою подачею води, через наявність напірного басейну та додаткових водоприймальних та водоскидних споруд. Однак вона значно підвищує надійність АЕС, оскільки запас води в напірному басейні забезпечує охолодження турбін конденсаторів протягом часу, необхідного для відновлення енергопостачання. Наявність напірного басейну дозволяє ефективно використовувати насоси, кількість яких у разі не залежить від кількості конденсаторів.

Вода до конденсаторів турбін подається по напірних водоводах, виготовлених зазвичай із сталі, рідше із залізобетону. При швидкості води в напірних водоводах близько 4–5 м/с їх діаметр може досягати 2–2,5 м. Відводиться вода від конденсаторів по залізобетонних безнапірних трубах, лотках або каналах.

Складнішими є комунікації за оборотного водопостачання, коли використовуються бризкальні басейни або градирні. У цьому випадку додатково підключається *група насосів*, що подають нагріту воду під порівняно високим напором (від 30 м до 100 м) до пристроїв охолоджувальних розбризкувальних систем.

Контрольні запитання

1. Описати єдину систему водопостачання.
2. Описати основні процеси під час очищення води.
3. Описати методику забезпечення безперебійності подачі води.
4. Описати роботу очисних споруд.
5. Описати систему водопостачання промислових підприємств.
6. Описати систему водопостачання електростанцій.

12 АВАРІЇ Й ПОШКОДЖЕННЯ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД ТА ЇХНЄ ВІДНОВЛЕННЯ

12.1 Загальні положення

Аварії гідротехнічних споруд на відміну промислових, цивільних, транспортних та інших зазвичай призводять до необхідності поповнення збитків, визначеного вартістю як самої споруди, так й інших зруйнованих або пошкоджених об'єктів, розташованих нижче гребель за течією. Це необхідно враховувати під час проєктування, будівництва та експлуатації гідротехнічних споруд.

Із приблизно 250 тис. гребель, побудованих у світі, 12 тис. мають висоту понад 15 м, їх відносять до великих гребель. За останні 175 років мали місце понад 500 (за деякими даними, близько 600) випадків аварій та руйнування великих гребель. З них загальна кількість гребель і аварій за кордоном відповідно по країнах становить: у США – 3 197 та 331, у Японії – 1 874 та 16, у Великій Британії – 436 та 32, в Індії – 375 та 3, в Іспанії – 335 та 5, у Франції – 277 і 4, у Австралії – 230 і 29, у Швейцарії – 100 та 4, у Німеччині – 67 та 3.

За даними Міжнародної комісії з великих гребель (ICOLD), аварії сталися з таких основних причин: неправильна оцінка ґрунтів основ та фундаментальної частини споруд – 55 %, недостатня пропускна спроможність водоскидів – 23 %, низька міцність конструкцій – 14 %, інші причини – 8 %. Є й інші дані, що характеризують причини аварій: 40...45 % – помилка під час проєктування, 20 % – помилка під час виробництва, 30 % – порушення умов експлуатації, 5...7 % – знос і стирання.

Наведені дані свідчать про те, що основна частка аварій та руйнувань падає на недооблік процесів, що відбуваються в основі гребель та берегових примикань, слабку вивченість гідрологічного режиму річки, що призводить до заниження розрахункової витрати, та втрати міцності матеріалу греблі.

Аварії гребель завдають значної шкоди. Зокрема, аварія греблі Джостатун (1937 р., США) коштувала 100 млн доларів, греблі Титон (1976 р., США) – 400 млн доларів, греблі Мальпасе (1959 р., Франція) – 70 млн доларів. Людські жертви при аваріях гребель становили: Вайонт (1963 р., Італія) – 3 000 осіб, Орос (1960 р., Бразилія) – 1000 осіб, Мальпасе – 421 людина.

На території колишнього СРСР руйнувань великих гребель досі не було. Водночас наведемо деякі приклади аварій невеликих гребель. Під час заповнення Каховського водосховища 1955 р. сповз низовий укіс огорожувальної греблі довжиною 200 м об'ємом 50 тис. м³. У 1987 р. сталося руйнування тимчасової дамби Саргазонського водосховища в Таджикиській РСР, внаслідок чого 58 сімей залишилися без даху над головою, зруйнувався бетонний міст, сіль спотворив залізничну вузькоколійку і зніс тваринницьку ферму. Такі порівняно дрібні аварії у світі відбуваються часто, в середньому 3 аварії на рік.

Найбільша аварія сталася на греблі Вайонт Італії. На той час це була найвища аркова гребля у світі, висота якої становила 261,6 м. У водосховищі

протягом 20 с обрушився величезний гірський масив завдовжки 2 км, площею 2 км² та об'ємом 270...300 млн м³, який раніше знаходився в стані незначної рухливості. Гірська маса з високою швидкістю пророснула ущелину і піднялася на її протилежний схил на висоту в 140 м. Над гребнем греблі утворилася хвиля заввишки 150 м, проте гребля залишилася неушкодженою.

12.2 Пошкодження та аварії ґрунтових гребель

За даними Міжнародної комісії з великих гребель (ICOLD), надійність ґрунтових гребель приблизно така ж, як у контрфорсних та арочних. Найчастіше руйнуються греблі з місцевих матеріалів (земляні, кам'яно-земляні, кам'яно-накидні греблі). Приблизно 80 % гребель зруйнувалося в процесі будівництва або під час постійної експлуатації через перелив води через гребінь, підвищеної фільтрації води в основі або тілі гребель. При цьому пошкодження основ складали 25 %, тіла – 47 %, водоскидів – 23 % та іншого – 5 %. Іншими причинами пошкодження та аварій ґрунтових гребель є:

- недостатньо надійна система дренажу;
- ерозія та розмив у результаті підвищеної фільтрації, особливо, якщо одна частина греблі розташована на слабких алювіальних відкладеннях, а інша – на міцній основі;
- нерівномірність осідань греблі;
- явища мікросейсму, що переростають іноді в сейсмічні явища великого масштабу;
- значні зсувні явища та інші причини.

Явище *мікросейсму* виникає, ймовірно, в результаті такого. При створенні великих водоймищ утворюються додаткові підвищені навантаження на ґрунти їх основ. Крім цього, вода, що під великим тиском проникла в товщі гірських порід основи і берегових примикань, послаблює сили зчеплення в тектонічних тріщинах. Це явище мало місце на таких греблях: Мід Лейк (США), Каріба (Замбія), Кремаста (Греція), Койнопгар (Індія) та інших.

Нижче наведено приклади різних аварій або руйнувань, що сталися на таких греблях.

Гребля Хелл-Хоул (США) кам'яно-земляна, з похилим ядром, проєктна висота 125 м, довжина по гребню 475 м. У період відсіпання греблі був побудований тунель діаметром 4 м. На початок паводку 1964 р. ядро було зведено на 41,5 м нижче за призму греблі. Під час паводку почався перелив води через недобудовану греблю і виникла значна фільтрація крізь кам'яну відсіпку. На низовому укосі утворилися потоки води, які інтенсивно почали розмивати основу та укіс греблі. Через греблю проходив потік витратою 340 м³/с, який змив 535 тис. м³ гірничої маси.

Гребля Орос (Бразилія) кам'яно-земляна, висота 54 м, з центральним ядром з глини. Основа представлена скельними породами, а низова призма спирається на алювіальні ґрунти. У 1960 р. паводок планувалося пропустити через водозлив на позначці 200 м. Проте будівництво тривало. Сильні дощі

збільшили витрату в річці до $2250 \text{ м}^3/\text{с}$, а позначка споруди, що зводиться, становила 183 м. За 24 години позначку довели до 190 м, але цього було недостатньо, оскільки почалося переповнення водосховища. Спочатку через гребінь переливався шар води товщиною лише 0,35 м, але він виніс із тіла греблі 800 тис. м^3 ґрунтів. За 34 години в нижній б'єф було скинуто близько 730 млн м^3 води при максимальній витраті $9\,600 \text{ м}^3/\text{с}$. Оперативна допомога військових частин дозволила евакуювати населення. Сорок людей стали жертвами аварії, спричиненої повінню.

Гребля Титон (США) (рис. 12.1) кам'яно-земляна, з ядром, висота 93 м, довжина по гребеню 760 м. В основі греблі залягає реоліт, що є породою з порожнечами і значними тріщинами. Ядро сполучалося з ін'єкційною завісою, виконаною в три ряди при глибині свердловин до 91 м та кроці зовнішніх свердловин 6 м, центрального ряду – 3 м. На час аварії ін'єкційна завіса не була завершена.



Рисунок 12.1 – Гребля Титон
(<http://www.cawater-info.net/bk/dam-safety/catastrophes.htm>)

У червні 1976 р. у прибережній частині греблі з боку нижнього б'єфу з'явилася фільтрація води з витратою близько $1,25 \text{ л/с}$. Через 2 доби фільтрація на цій ділянці значно збільшилася і витрата досягала $1,4\ldots 1,7 \text{ м}^3/\text{с}$. Через 30 хв витрата зросла до $2 \text{ м}^3/\text{с}$. Почали евакуювати населення із трьох міст, розташованих нижче греблі Титон. Ще через 1 годину витрата фільтрації досягла $28 \text{ м}^3/\text{с}$. Утворилася вирва розмиву, яка стала інтенсивно наблизитися до насипу греблі і руйнувати її. Через $1\ldots 1,5$ години сталася аварія. Загинуло

11 людей, поранено 2 000 осіб і залишилося без даху над головою 30 000 осіб. Крім того, було зруйновано комунікації, будівлі та греблі, занесено мулом дороги, сільгоспугіддя та канали, вирвано дерева. Точну причину аварії встановити не вдалося. Спеціальний Комітет з розслідування аварії греблі Титон вказав можливі причини руйнування: значна фільтрація через ін'єкційну завісу в місці сполучення насипу з основою та берегами; фільтрація води по контакту ядра зі скелею у правобережному примиканні; фільтрація води через поперечні тріщини у правобережній частині ядра; підвищена фільтрація в обхід ін'єкційної завіси. Варто зазначити, що в греблі не було встановлено КВА, яка дозволила б виявити небезпечні осередки фільтрації та вжити своєчасних заходів. На думку керівника експертного комітету, відновлення цієї греблі вимагатиме витрат, порівнянних з її повною вартістю.

Гребля Гуддах (Індія) ґрунтова, висота 29 м, побудована в 1956 р. Перша руйнація сталася через неякісне примикання тіла греблі до сполучної стінки, виконаної з кам'яної кладки. Через появу та розвиток фільтрації по контакту ґрунту з кам'яною кладкою виникла значна фільтрація. Утворилася промоїна глибиною 10 м. Гребля була відремонтована. Після цього при заповненні водосховища сталася друга руйнація греблі у тому ж самому місці. Під час другого ремонту верховий укіс уклали, уклавши на нього глиняний екран. При цьому зверталася особлива увага на якість виконання робіт.

Греблі в районі м. Ель-Кобре (Чилі) зруйнувалися (дві з трьох) внаслідок землетрусу. Обвалення сталися при сейсмічній дії в 8...9 балів; сповзли укуси і розріджувався матеріал тіла гребель.

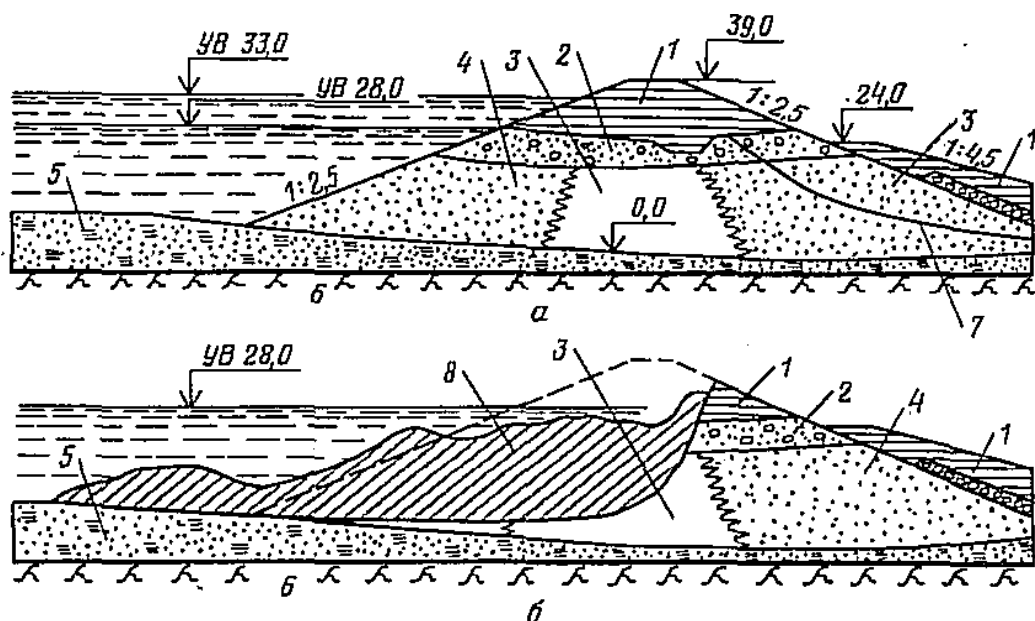


Рисунок 12.2 – Гребля Сан-Фернандо нижня:

а – до аварії; *б* – після обрушення;

1 – укочений ґрунт; 2,4 – намівний ґрунт; 3 – намівне ядро; 5 – аллювий;
6 – скала; 7 – крива депресії; 8 – зона обрушення

Гребля Сан-Фернандо нижня (США) намівна, з ядром і насипною

верхньою частиною (рис. 12.2, а), висота 43 м і довжина по гребню 640 м. При сейсмічному впливі близько 9 балів, що тривав близько 12 с, обрушилася верхова частина. Руйнування сталося тому, що верховий укіс був запроєктований надто крутим порівняно, наприклад, з намівними греблями. Підтвердженням цього є той факт, що в районі вціліли греблі Фермонт, Нижній Франклін; Срібне озеро, а також гребля Сан-Фернандо верхня, хоча і на останній утворилися поздовжні тріщини внаслідок рухів тіла греблі у бік верхнього б'єфу (до 1,5 м) та осідання низового укосу біля гребня (до 0,9 м).

Гребля Роваллен (Австралія) із центральним глинистим ядром, висота 43 м, довжина по гребню 579 м. Через рік після її зведення в правобережному примиканні ядра греблі до водозливу поблизу гребня на низовому укосі виникла промоїна з умовним діаметром 1,4 м і глибиною 1,3 м. Тому терміново спрацювали водосховище на 7,6 м зі швидкістю 0,3 м/добу і тим самим уникнули небезпечного розвитку суффозії. Причини аварії – неякісне виконання контакту між ядром та бетонною стінкою та виникнення неприпустимих градієнтів.

Наведені приклади руйнування ґрунтових гребель свідчать про те, що небезпека виникнення аварії значно зростає зазвичай у двох випадках: під час паводку та при землетрусах. Разом із тим руйнування гребель може бути у низці випадків запобігана службою експлуатації, якщо своєчасно забезпечувати нормальну роботу гідромеханічного обладнання, підтримувати в належному стані водоскиди, спрацьовувати водосховище, спостерігати за крутими схилами, фільтрацією, особливо на контакті бетонних елементів з ґрунтовою греблею в її основі.

12.3 Пошкодження та аварії бетонних та кам'яних гребель

Основними причинами аварій та руйнувань бетонних гребель є недоурахування несучої здатності порід основи або неприйнятний розподіл зусиль на контакті основи із спорудою. Крім того, руйнуванню сприяють зсуви порід основи, їх вивітрювання, вихід з ладу дренажу або цементаційної завіси, підвищена фільтрація в основі тощо. Аварії арочних гребель відбуваються переважно через втрату тримальної здатності породи скельної основи.

Нижче наведено приклади аварій та руйнувань бетонних гребель.

Гребля Мальпасе (Франція) висотою 60 м була тонку циліндричну арку товщиною біля основи 6,91 м і 1,5 м біля гребня. В результаті руйнування греблі в 1959 р. загинула 421 людина і завдано значної матеріальної шкоди.

Сильні дощі підвищили рівень води у водосховищі до 100 м за відмітки гребеня водозливу 100,4 м. При цьому дисковий затвор донного водовипуску мав відкриватися автоматично. Проте автоматика не спрацювала. Черговому наглядачеві було надано вказівку відкрити затвор вручну при позначці 100,12 м. Через 1,5 години рівень води знизився на 3 см, і доглядач залишив споруду, а через 25 хвилин після його відходу гребля миттєво зруйнувалася. Спеціальна комісія розглянула низку можливих причин руйнувань, а саме:

вплив сейсмічних явищ, зокрема від вибухів у зв'язку з будівництвом поблизу автодороги, диверсія, падіння метеориту, порушення правил експлуатації донного водовипуску, погана якість бетонних робіт, помилки у розрахунках греблі на міцність.



Рисунок 12.3 – Гребля Мальпассе (Франція)
(<http://www.cawater-info.net/bk/dam-safety/catastrophes.htm>)

За висновками експертів, гребля зруйнувалася через усунення лівого берегового устою, який зрушився на 208 см по довжині тріщини, недоурахування міцності скельної основи та її тріщинуватості.

Гребля Вега-де-Тера (Іспанія) заввишки 34 м, контрфорсна, виготовлена з кам'яної кладки з напірною плитою з бетону, зруйнувалася в 1959 році після експлуатації упродовж трьох років.

Водосховище було заповнене до НПР. Внаслідок аварії було змито 17 контрфорсів. Причиною руйнування стало те, що фактичний модуль пружності кам'яної кладки був значно нижчим від необхідного за розрахунком. Розтягуючі напруження у верхній частині спірання контрфорсу перевищували 5 МПа. Напірна бетонна плита в цьому випадку мала податливі опори (контрфорси) і працювала, як консоль, закріплена в основі. З'явилися розтягувальні та підвищені дотичні напруження в основі, що й викликало зрушення контрфорсів.

Гравітаційна гребля Чиккахоле (Індія) заввишки 36,7 м, побудована 1968 р., зруйнувалася через чотири роки її експлуатації. Гребля була виконана також із кам'яної кладки на вапняному розчині. Водоскидна споруда являла собою чотирипролітний водозлив з отворами по 10 м завширшки і 3 м заввишки, із пропускною здатністю 450 м³/с. Зливи, що тривали протягом 3 діб, викликали паводок із витратою 1 150 м³/с. Відбувся перелив води через гребінь греблі. У тілі греблі утворилася промоїна глибиною 14,3 м, довжиною по гребню 122 м і шириною по дну 26 м. До того ж під час зливогого паводку сталася аварія в системі електропостачання, що вивело з ладу електричні лебідки, призначені для підйому затворів на водозливі.

Гребля Іслам (Індія) контрфорсна, з плоскими плитами, висотою 12,2 м над дном річки та 26 м над найнижчою точкою зуба. Гребля мала 67 контрфорсів завтовшки по 0,46 м, плоске напірне перекриття та фундаментну плиту завтовшки 0,31 м. За день до аварії на одній з ділянок збільшилася витрата води з дренажного отвору фундаментної плити. У день аварії з-під фундаментної плити біля одного з контрфорсів виходив значний потік води, а рівень води у верхньому б'єфі знизився на 0,6 м. Затвор підняти не вдалося. Гребля зруйнувалася. Фундаментна плита провалилася в промоїну, що утворилася, підмитий контрфорс впав. П'ять секцій греблі було винесено в нижній б'єф, а три секції було пошкоджено. Руйнування сталося, як впливає з вищенаведених фактів, внаслідок розмиву ґрунту під зубом та фундаментною плитою на ділянці, де зуб не доходив до водонепроникного ґрунту основи, тобто через неякісні геологічні вишукування, або низький технічний рівень проєкту.

Неординарним прикладом аварії бетонних гребель є аварія, що сталася на греблі Вайонт, доволі докладно викладена у 12.1.

Гребля Глено (Італія) – багатоаркова контрфорсна гребля на річці Глено в долині Скальве, на півночі провінції Бергамо, Італія (рис. 104). Гребля була збудована у 1916–23 роках для виробництва гідроелектроенергії. Через сорок днів після заповнення водосховища, 1 грудня 1923 року, середина греблі обрушилася, що викликало масштабну повінь, внаслідок якої загинуло щонайменше 356 людей.

Гребля була спроектована та побудована компанією Вігано. Заявка на будівництво була подана у 1907, будівництво почалося у 1916 році. У 1920 році було закладено основу. У вересні того ж року місцева влада попередила про те, що підрядники використовували нецільовий цементний розчин. В 1921 р. через відсутність фінансування проєкт греблі був змінений з гравітаційної на ароково-гравітаційну. Переглянутий проєкт схвалили: багатоаркова гребля стала на основі гравітаційного фундаменту греблі. До січня 1923 року греблю було закінчено на 80 %, а до 23 жовтня було завершено повністю. Після злив доповнилося водосховище. Встановлена потужність електростанції становила 3 728 квт (3,7 МВт).

Саме 1 грудня 1923 року о 6:30 ранку контрфорс греблі тріснув і обрушився. Протягом кількох хвилин близько 4,5 млн м³ води хлинуло з водосховища на висоті 1 535 м вниз у долину. Першим було затоплено село Бuedжо, за ним було часткове затоплення Деццо, частини муніципалітету Аццоне, повне затоплення Деццо, фракції Колере і Корна-ді-Дарфо. Вода зупинилася, коли досягла озера Ізео, розташованого на висоті 186 м над рівнем моря. Внаслідок катастрофи загинули щонайменше 356 людей.

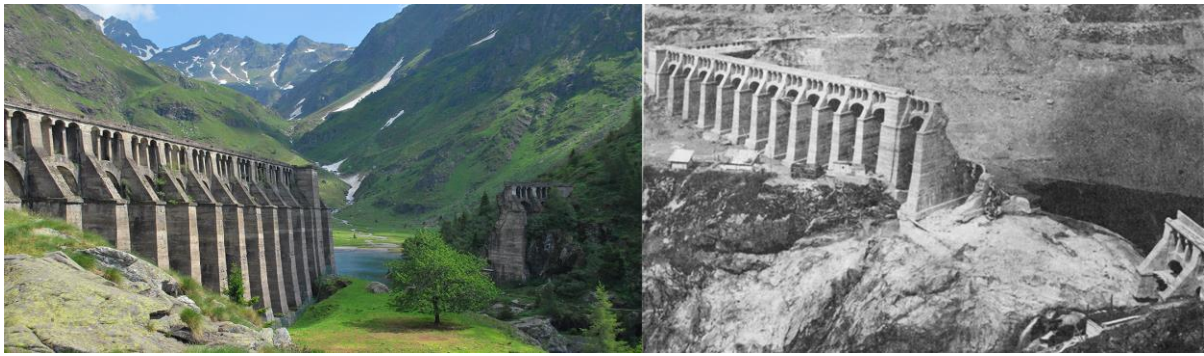


Рисунок 12.4 – Гребля Глено (Італія)

З наведених прикладів аварій та руйнувань гребель, а також аналізу причин, що їх викликали, потрібно, що періодично, приблизно 1 раз на 4...5 років, необхідно проводити інспекцію стану бетонних гребель. Це зазначалося неодноразово на засіданнях спеціальної комісії з великих гребель. Інспектування гідровузлів регулярно проводиться у низці зарубіжних країн та в Україні науково-дослідними організаціями, такими як ПРАТ «Укргідропроєкт», м. Харків.

12.4 Ушкодження водоскидів та механічного обладнання

Водоскиди часто під час експлуатації піддаються впливу високошвидкісного потоку, що створює значні гідродинамічні навантаження, зони зниженого тиску, високу турбулентність потоку. Названі явища призводять до зниження стійкості окремих елементів споруд, їх вібрації, кавітаційної ерозії, а також значних місцевих розмивів у нижньому б'єфі. Недолік чи незнання причин їх виникнення викликає ушкодження, аварії, а в деяких випадках катастрофи на гідровузлах, що завдають значних збитків.

На підтвердження сказаного наведемо такі приклади.

Греблі Евклідес да Кунья та Армандо Салес де Олівейра (Бразилія) розташовувалися відповідно вище і нижче (на 10 км) за течією та були виконані кам'яно-земляними. Перша висотою 53 м завдовжки по гребню 305 м зруйнувалася в 1977 р. біля правого берега приблизно на 40 %, а друга висотою 35 м і довжиною по гребню 660 м – на 25 %, оскільки частина потоку була спрямована в обхід споруди влаштованим каналом. Руйнування сталося, по-перше, з вини експлуатаційного персоналу, який своєчасно не спрацював водосховища при виникненні злив 0,01 % забезпеченості, по-друге, тому що затвори водозливів відкрили із запізненням і не повністю.

Гребля Карнафулі (Бангладеш) мала водоскид, розташований у тілі греблі і такий, що складається з 16 прольотів шириною по 12,2 м кожен. Центральна частина водоскиду, представлена у вигляді бетонної масивної стінки з відміткою гребня 24,46 м, розташовувалася на сланцях, а низова частина з позначки 15,19 м була укосом ґрунтової греблі з коефіцієнтом закладання, рівним 2, покритим бетонними плитами товщиною 0,46 м. Водоскид було розраховано на витрати 12 700 м³/с. У перший рік експлуатації (1961 р.) під час

повені з витратою 3 400 м³/с зруйнувалося 11 плит (з 16), за якими утворилися глибокі промоїни. В умовах (сильні дощі) водоскид було зупинено лише на один день для огляду і знову пущено в експлуатацію. Періодичні зупинки, 1 раз на два тижні, дозволили встановити, що припинився розмив та припинилося руйнування плит. Після дощової повені, коли водобійний колодязь був випорожнений, з'ясувалась остаточна картина руйнувань. У підшви укусу утворилася промоїна. Нижні бетонні плити товщиною 1 м були зрушені і розламані, а деякі з них обрушилися в промоїну. Частина плит опинилась на дні водобійного колодязя. Водоподібна плита колодязя також була пошкоджена та вимагала термінового ремонту. Проведені після аварії модельні дослідження дозволили встановити, що аварія сталася через підвищений зважувальний тиск, що виник при нерівномірному відкритті прольотів водоскиду.

Гребля Веллот Грув (США) являла собою кам'яне накидання з кладкою укосів насухо, заввишки 33,6 м, шириною по основі 32,1 м і по гребню 3 м. Через ненадійну роботу затворів водоскиду, які не вдалося підняти під час паводку, стався перелив води через гребінь. При цьому укуси греблі були прийняті надто крутими, їх стійкість при заповненому водосховищі знаходилася на межі. Гребля зруйнувалася повністю. Загинули 129 людей.

На *греблі Гранд Кулі* (США), що мала довжину водозливного фронту 503 м, висоту 169 м і питому витрату на водозливні 55,6 м³/с, сталося руйнування водобою брилами скелі.

Дубоссарський гідровузол на р. Дністер (Україна) має водозливну греблю, що складається з восьми прольотів шириною у світлі по 13 м кожен, обладнаних плоскими затворами. Розріз по водозливній греблі, водобою та рисбермі наведено на рисунку 12.5.

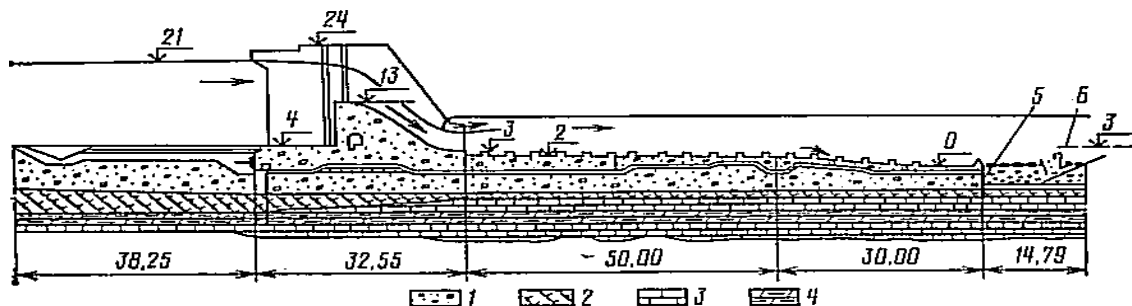


Рисунок 12.5 – Розріз по водоскиду Дубоссарського гідровузла на р. Дністер:

1 – гравійно-піщані ґрунти; 2 – мергель глинистий; 3 – вапняк середньої щільності; 4 – мергель; 5 – шпунт; 6 – поверхня дна до розмиву.

Розміри в метрах

Споруда побудована з відхиленнями від проєкту. У крайніх прольотах (першому і восьмому) були встановлені стопорні рейки, що дозволяють відкривати затвори частково. Кріплення за рисбермою було влаштовано не за рекомендаціями дослідників: замість кам'яного відсипання було укладено гнучко пов'язані плити, проте, як зазначено нижче, це не було основною причиною руйнування. Обстеження показали, що частково зруйнувалося кріплення з гнучких плит і вимило кам'яну структуру з-під їхніх останніх рядів. Ряд плит провис, під ними утворилися порожнечі. Значні руйнації сталися навпроти четвертого та п'ятого прольотів. За кріпленням утворилася яма глибиною 8,5 м. У 1959 р. виконали ремонт шляхом відсипання каменю різної крупності. Однак протягом наступних чотирьох років розмив продовжувався. Провели вторинний ремонт: влаштували кам'яний насип по укосу вирви розмиву з гальки та щебеню, а зверху насип покрили каменем крупністю 0,2...0,3 м шаром завтовшки 1 м. При пропуску паводку 1967...1969 рр. знову відбулися значні руйнування гнучкого кріплення. Глибина вирви місцевого розмиву досягла 10...11 м нижче за відмітку бетонного кріплення. У 1978 р. виконали третій ремонт із застосуванням тетраедрів масою 2,3 т, укладених поверх кам'яного накидання, що залишилося. Зверху плит гнучкого кріплення, де воно залишилося, поклали нові плити, скріплені арматурою. Проте повені 1978 та 1979 рр. показали, що відремонтоване кріплення знову деформується.

Нові плити зрушили старими, а деякі з них виявилися перевернутими або віднесеними. Тетраедри перемістилися нижче за течією. Наразі службі експлуатації запропоновано відпрацьовану схему маневрування затворами. Основними причинами руйнування нижнього б'єфу греблі Дубоссарського гідровузла були: невдале конструктивне рішення, прийняте у проєкті, порушення умов експлуатації – не працювали донні водоскиди, відхилення від проєкту під час будівництва та недостатньо вдала схема маневрування затворами, прийнята під час експлуатації греблі. Як впливає з наведеного, на цьому гідровузлі мав місце комплекс технічних відхилень, який привів до неодноразових руйнувань кінцевої ділянки кріплення нижнього б'єфу.

Основними причинами руйнування водобійних колодязів є: кавітаційна ерозія, втрата стійкості плит під впливом гідродинамічних сил, стирання наносами та попадання в них каміння, бетонного великого сміття, металевих та залізобетонних предметів тощо. Іноді каміння в колодязі заносяться вирами при руйнуванні елементів кріплення. У низці випадків кам'яні брили падають у них, зриваючись зі схилів. Руйнування водобійних колодязів можуть виникати при великих швидкостях потоку (до 50...55 м/с), що викликають великі гідродинамічні навантаження, у поєднанні з механічним впливом бетонних масивів, що відірвалися, і сміття. Значні їх руйнування спостерігалися на греблях Саусель (Туреччина), Сан Естебан (Іспанія), Бхакра (Індія) та інших.

На ряді гідровузлів США, водопропускні отвори яких забезпечені конусними затворами з водобійними колодязями, зруйнувалися високі роздільні стінки, що увійшли до резонансу, але розраховані лише на статичні навантаження.

Основними причинами пошкоджень затворів гідротехнічних споруд є: недоурахування під час проектування особливостей роботи затворів, значні обмерзання, утворення льоду, неправильні прийоми експлуатації, технологічні причини тощо. Прикладом неправильної експлуатації механічного обладнання може бути аварія, що сталася на *греблі Паниет* (Індія), висотою 56,6 м, з відкритим береговим водоскидом. У період інтенсивних дощів щит затвору було введено в пази та підвішено на ланцюгах у положенні, коли відкриття затвору становило 0,61 м. У умовах пропуск води супроводжувався значними гідравлічними ударами, у яких деформувалися шви у водоскиді. Динамічні навантаження та деформація швів призвели до інтенсивних осідань тіла ґрунтової греблі. За 2,5 години гребля осіла на 1,37 м і зруйнувалася.

У практиці експлуатації мали місце випадки, коли затвори під час повені не вдавалося підняти. Тому відбувалися переливи води через гребінь та руйнування греблі, наприклад, згаданої вище греблі Велнот Грув.

Під час експлуатації механічного обладнання не завжди вживаються своєчасні заходи: з обігріву, повітрообдуву, потокоутворення або в крайньому випадку сколу льоду перед затворами, які запобігають статичному тиску крижаного поля на затвори за його температурного розширення.

Надає велику небезпеку значне намерзання льоду на металоконструкціях затворів. Не можна допускати примерзання затворів до закладних частин. У таких випадках стає неможливим аварійне відкриття отворів водоскиду, а спроба підняти замерзлі затвори нерідко призводить до виходу з ладу механізмів приводу, ущільнень, пошкодження опорно-ходових частин затворів.

Є думка, що з метою підвищення надійності роботи механічного обладнання та можливості відкриття отвору у будь-який момент необхідно передбачати резервування джерел енергії (установка аварійних електростанцій, застосування аварійного ручного приводу), елементів гідроприводу (насосів, гідропанелей), створення з'єднувальних маслопроводів між сусідніми гідроприводами. Зокрема, руйнування греблі Чиккахоле (Індія) заввишки 36,7 м сталося через аварію системи електропостачання, внаслідок якої не працювали лебідки для підйому затворів і не вдалося вчасно відкрити отвори водоскиду.

Причинами пошкодження та аварії затворів можуть бути також недостатня кваліфікація експлуатаційного персоналу, незнання особливостей конструкції та умов експлуатації механічного обладнання.

12.5 Ушкодження та аварії інших споруд

Ушкодження та аварії інших споруд можуть бути найрізноманітнішими. Розглянемо лише найхарактерніші. У 1975 р. у нижньому б'єфі за трампліном водоскиду Чиркейської ГЕС (Дагестан) (рис. 12.6) у русло річки обрушилося близько 300 тис. м³ скельного ґрунту. Причина обвалення – втрата стійкості внаслідок обводнення масиву під час роботи водоскиду. При цьому різко і значно піднявся рівень води в нижньому б'єфі, було затоплено два нижні яруси галерей греблі. Розчищення русла представляло складний та трудомісткий

комплекс робіт. На цьому ж гідровузлі поблизу греблі обрушилося кілька нестійких скельних блоків (до 1,5...2 тис. м³), підтоплених у період наповнення водосховища.

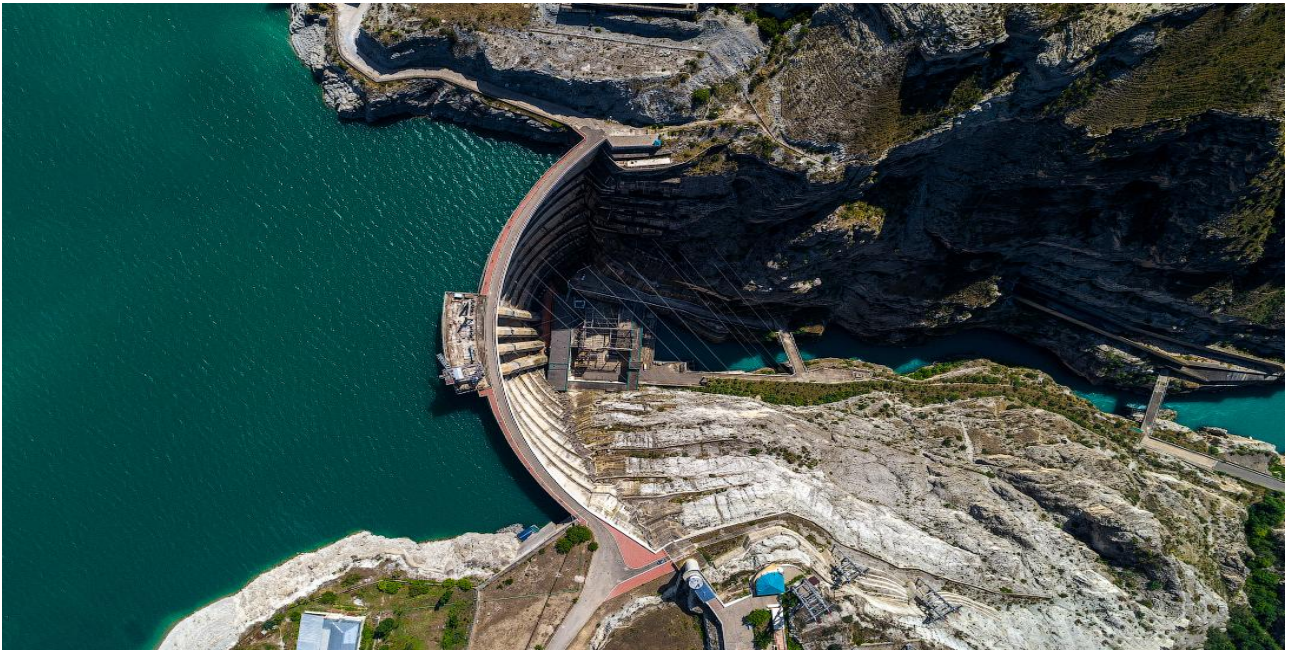


Рисунок 12.6 – Чиркейська ГЕС (Дагестан)
(https://www.cawater-info.net/review/chirkeiskaya_hps.htm)



Рисунок 12.7 – Гребля Сан Естебан (Іспанія)
(https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%95%D0%A1_%D0%A1%D0%B0%D0%BD-%D0%95%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%B1%D0%B0%D0%BD)

Складна аварійна ситуація склалася в тунельному водоскиді *греблі Сан Естебан* (Іспанія) (рис. 12.7), розрахованому на безнапірний режим. За експлуатаційними умовами виникла потреба включити його в роботу за високого рівня в нижньому б'єфі. Оскільки тунель був підтоплений, у ньому утворився гідравлічний стрибок. На ділянці зони розлому скелі зруйнувалося залізобетонне кільце облицювання тунелю. У тунель почав надходити продукт заповнення зони розлому настільки, що у місці виходу розлому на денну поверхню утворився кратер. При усуненні аварійних ушкоджень потрібно виконати великий обсяг гірничих та інших видів робіт.

Більше півстоліття тому зруйнувалися від кавітаційної ерозії облицювання та скельна основа водоскидного тунелю діаметром 15,2 м на *гідровузлі Боулдер* (США). Через тунель пропускала витрата 390 і 1 070 м³/с, що становило відповідно 7 і 19 % розрахункового зі швидкостями потоку, що досягають 46 м/с. Після руйнування облицювання тунелю в скелі утворилася яма глибиною 13,7 м, шириною 9,5 м і довжиною 35 м. Кавітаційні руйнування відбулися також у тунелях гідровузлів: Альдеодавіла (Іспанія), Інфейнло (Мексика), Мовтаїл (США) і інших гідровузлів.

На гірських річках, які несуть велику кількість наносів (твердого стоку) пошкодження *водопропускних трактів* виникають в результаті стирання бетону і динамічного впливу на нього великих наносів, гальки, каменя тощо. Наприклад, на Сари-Курганському водозабірному вузлу на річці Сох (Киргизстан) (рис. 12.8), що несе велику кількість великопіщаних та галечникових наносів розміром до 300...350 мм, значно пошкодився водозлив водоскидної споруди, що складається з шести водоскидних отворів.



Рисунок 12.8 – Річка Сох (Киргизстан)
(фото з відкритих джерел)

Бетонна поверхня, фанерована гранітним каменем, вже в перший рік експлуатації зруйнувалася на глибину до 1,2 м. В окремих місцях водозлив був покритий листами металу товщиною 25 мм, на водобої були встановлені рейки

через 1 м із заповненням простору між ними бутобетоном. Паводок 1950 р. зруйнував рейки з бутобетоном та покриття з металевих листів. Пізніше водозлив покрили настилом із рейок та швелерів і до них приварили листову сталь завтовшки 25 мм.



Рисунок 12.9 – Кампир-Раватська гребля (Киргизстан – Узбекистан)
(<https://rivers.help/n/1662>)

Великі труднощі боротьби з стиранням і руйнуванням бетону великими наносами, галькою і каменем були на Кампир-Раватській греблі (Киргизстан – Узбекистан) (рис. 12.9), де зірвалося чавунна облицювання з биків. Аналогічні руйнації мали місце на греблях на р. Зеравшан та інших.

12.6 Ремонт пошкоджень на гребнях та укосах ґрунтових споруд

У процесі експлуатації ґрунтових водопідпірних споруд виникає необхідність досипання гребня і тіла греблі до проектних відміток, суглинка на верховий укіс з метою його кольматації, закладення поперечних або поздовжніх тріщин до порожнеч, ремонту кріплень укосів, одернівки, посіву трав тощо, поточний ремонт.

Обвалення та сповзання укосів, непередбачувані великогабаритні промоїни, глибокі тріщини та інші деформації, що виникають при сейсмічних впливах, пошкодження селевим або паводковим потоком відносять до аварійних.

За наявності поздовжніх і поперечних тріщин на гребні і укосах гребель відкривають трапецеїдальну траншею, що звужується донизу, уздовж осі тріщини на 0,3...0,5 м нижче її глибини (рис. 12.10, а) і довжиною на 1 м в кожний бік більше тріщини. Траншеї заповнюють тим самим ґрунтом, з якого складається гребля, якщо немає спеціального обґрунтування заміни ґрунту. Ґрунт укладають шарами по 10...15 см із трамбуванням до проектної щільності. При усуненні тріщин нижче кривої депресії влаштовують короткі замки впоперек тріщини (рис. 12.10, б), які запобігають контактній фільтрації вздовж

траншеї. Закладення тріщин зазвичай виконують у теплу пору року. При проведенні ремонтних робіт взимку траншею заповнюють тільки талим ґрунтом, не допускають промерзання шарів при їх укладанні, стінок та дна траншеї. Якщо рівень води в траншеї нижче рівня води у верхньому б'єфі і можливе її проникнення в траншею, місце проведення ремонтних робіт огорожують шпунтом.

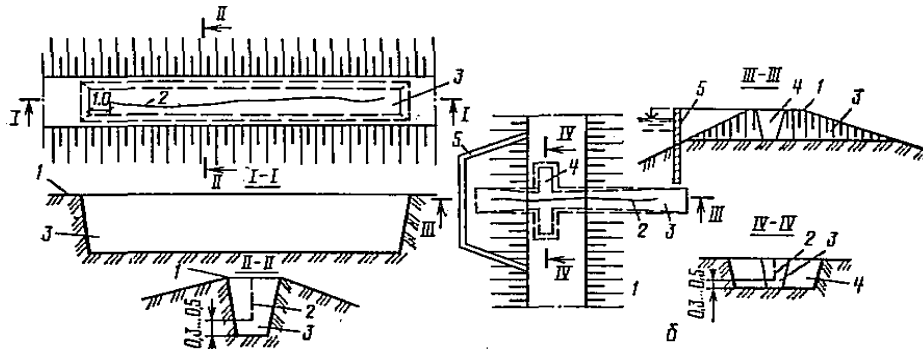


Рисунок 12.10 – Закладення тріщин ґрунтових гребель:
а – поздовжньої; *б* – поперечної; 1 – гребінь греблі; 2 – тріщина;
 3 – траншея; 4 – замок траншеї; 5 – шпунтова огорожа. Розміри в метрах

На Чарвакській греблі (Узбекистан) (рис. 12.11) з ядром у процесі будівництва з'явилися поздовжні та поперечні тріщини. Одна з поздовжніх тріщин довжиною 450 м, з максимальним розкриттям 18 см і глибиною до 6 м утворилася вздовж контакту перехідної зони з наполегливою низовою призмою. Поперечні тріщини зашпаровували шпонками, створюваними в шурфі, орієнтованому вздовж тріщин, а поздовжні – замивом дрібним піском по влаштованій траншеї глибиною 1 м. Пісок малими порціями подавали до безперервного потоку води. Замив припиняли тоді, коли на поверхні траншеї з'являвся шар піску.



Рисунок 12.11 – Чарвакська гребля (Узбекистан)
https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A7%D0%B0%D1%80%D0%B2%D0%B0%D0%BA%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B0_%D0%93%D0%95%D0%A1

Гребінець досипали звичайним способом, при якому спочатку розпушували поверхню, переміщали матеріал кріплення в тимчасові відвали, планували і боронували поверхню, до зволожували ґрунти на гребні до оптимальної вологості, відсипали кар'єрний матеріал з оптимальним зволоженням, розрівнювали та ущільнювали. У міру досягнення проєктної позначки влаштовували дорожнє полотно.

Відновлення обрушених укосів або їх упорядкування здійснюють шляхом переміщення розпушеного сповзлого ґрунту, відсипання та ущільнення ґрунту похилими шарами по всій висоті укосу (поперечний спосіб) або горизонтальними шарами по всій довжині укосу (подовжній спосіб) (рис. 12.12).

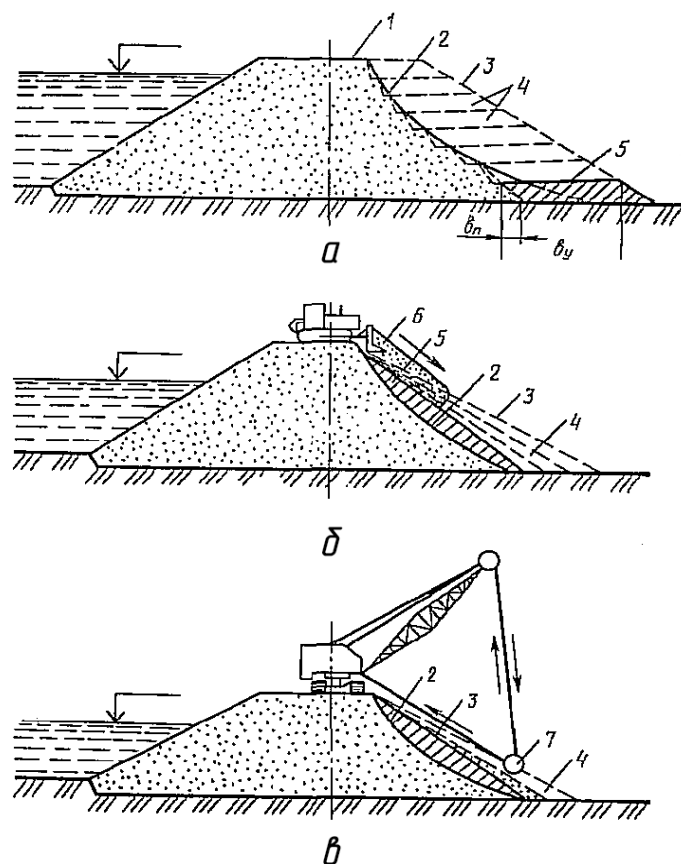


Рисунок 12.12 – Схема розширення та упорядкування укосів ґрунтових гребель:

- a* і *б* – подовжній та поперечний способи; *в* – ущільнення ґрунту катком;
 1 – гребінь греблі; 2 – низовий укіс до ремонту; 3 – проєктний укіс; 4 – шар відсипки на ущільнення ґрунту; 5 – ущільнений ґрунт; 6 – ґрунт, що розрівнюється бульдозером; 7 – коток

Як матеріал для відсипання можна використовувати той же самий сповзлий ґрунт при дотриманні технології його відсипання. Для підвищення стійкості відсипаного ґрунту виконують ступінчасту підрізку низового укосу на ширину, яку можна розрахувати за формулою:

$$b_e = mh_y + 0,5 \text{ м}, \quad (12.1)$$

де m – коефіцієнт закладання укосу після ремонту;

h_y – висота уступу, що приймається залежно від характеристики ущільнюючого механізму, зазвичай 0,15...0,25 м.

При поздовжньому способі мінімальну ширину майданчика приймають на 0,5...1 м більше за ширину прийнятого катка для ущільнення, бульдозера або автосамоскида.

При порушенні насипів ґрунтових споруд землероями (ондатри, бобри, ховрахи, кроти, миші та ін.) перекопують і утрамбовують ґрунт. При цьому нори заливають водою, глиняним чи піщано-цементним розчином. В окремих випадках влаштовують «замки» шляхом відкопування траншеї з умови зручності хімічної обробки нори та засипання траншеї ґрунтом оптимальної вологості з пошаровим ущільненням.

У разі течій необхідно з'ясувати причини їх виникнення. Спочатку в місцях підвищеної фільтрації на верховому укосі накладають пластир з поліетиленової плівки з привантаженням її ґрунтом, а на низовому укосі влаштовують тимчасову дренаж з привантаженням ґрунтовим матеріалом. Потім з'ясовують причину фільтрації та виконують ремонт.

Кам'яне кріплення верхового укосу ремонтують як насухо, так і з плавзасобів. При осушенні укосу часто потрібне значне спрацювання водосховища, що не виправдано з позиції вироблення електроенергії, подачі води на зрошення, водопостачання та інших водогосподарських потреб. При підводному ремонті монтують плавучу платформу, що складається із системи понтонів, засобів переміщення, мірних пристроїв та засобів для вивантаження каменю на укіс. За допомогою рейки-футштока вимірюють глибини та визначають обсяг зони руйнування, яку попередньо розбивають на захватки. Після цього приступають до виконання робіт. Матеріали для ремонту підвозять баржею. Товщину відсипки приймають не менше 2,5...3 шарів розрахункового діаметра каменю і контролюють за допомогою рейки-футштока, що опускається з платформи вертикально вниз. Камінь у воду відсипають шаландами з днищами, що відкриваються, саморозвантажувальними баржами, саморозвантажувальними контейнерами із застосуванням берегового або плавучого крану, за допомогою крану з багатоцелепним грейфером, зіштовхуванням каменю бульдозером, автосамоскидами з берега, плавучого пірсу. Спосіб відсипання каменю вибирають виходячи з техніко-економічних міркувань і технічних можливостей.

Найчастіше ремонт верхових укосів виконують шляхом нанесення насухо щільного гідротехнічного асфальтобетону, що укладається та ущільнюється в гарячому стані (рис. 12.13). Перед укладанням асфальтобетонного покриття на зруйнований укіс насипають піщано-гравійний ґрунт, який вирівнюють та ущільнюють. Основу обробляють гербіцидами з розрахунку 20 г/м² та хлорним вапном – 200 г/м². При укладанні покриття асфальтоукладачем основу протруюють отрутохімікатами, обробляють розрідженим бітумом або

емульсією бітумної з витратою 1...2.5 кг/м². Для ремонту укосів застосовують асфальтобетони зі складами, наведеними в таблиці 12.1.

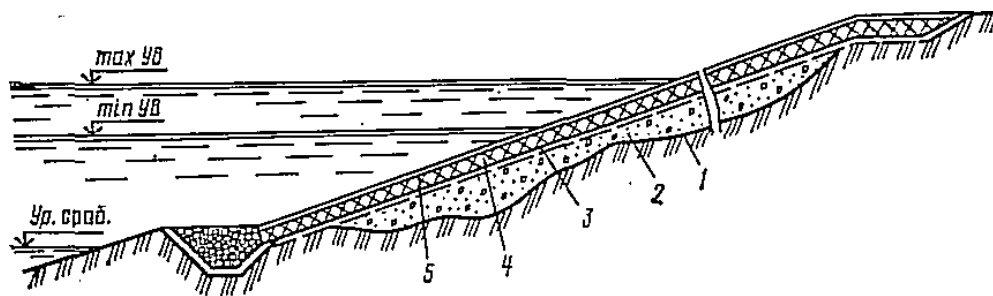


Рисунок 12.13 – Відновлення кріплення відкосу греблі асфальтобетонним облицюванням:

- 1 – межі руйнування укосу; 2 – промоїна, заповнена піщано-гравійним ґрунтом;
3 – зона протравлення отрутохімікатами; 4 – асфальтобетонне покриття;
5 – оброблена поверхня

Таблиця 12.1 – Склад асфальтобетонів, %

Компоненти	Асфальтобетон		
	піщаний	дрібнозернистий	пористий
Щебінь (розмір частинок до 15 мм)	—	10...25	40...65
Кам'яна крихта (розміром до 5 мм)	20...35	40...65	20...35
Середньозернистий пісок (розмір песчинок до 2 мм)	40...65	15...25	15...25
Вапняковий порошок (розмір часток до 0,15 мм)	15...25	15...25	0...5
Волокнистий наповнювач – азбест	1...15	1...3	—
Нафтовий бітум	8...11	7...10	5...7

Температура асфальтобетону, що укладається, повинна бути не нижче ніж +130 °С. Щоб підвищити водонепроникність асфальто-бетонного покриття, його поверхню поливають гарячим бітумним сплавом, посипають кам'яною крихтою або крупнозернистим піском з розрахунку 5...10 кг/м² і прикочують легким катком. Товщину асфальтобетонного покриття приймають залежно від напору від 3...4 см до 9...12 см. Воно має такі переваги: висока водонепроникність, тріщино-стійкість, деформативність. Тому таке покриття широко застосовується як за кордоном, так і в Україні. До недоліків відносять те, що воно руйнується при товщині льоду більш ніж 1 м, швидкому зниженні рівня води у водоймі (50 см на добу), впливу хвиль заввишки 3 м.

Для ремонту верхових укосів використовують також асфальт або дрібнозернистий асфальтобетон, заливаючи його під воду спеціальним пристроєм із плавзасобів. При незначних пошкодженнях спочатку промивають поверхню кріплення водою під тиском, а потім заливають асфальтовим розчином під воду з витратою 100...120 кг/м². При значних руйнуваннях засипають пошкоджені ділянки шаром щебеню і, якщо потрібно, влаштовують зворотний фільтр. Поверх щебеню відсипають камінь або великий щебінь. Існуючу поверхню бетону або асфальту навколо зони руйнування кріплення очищають водою під тиском, і ділянку, що ремонтується, заливають асфальтовим розчином під воду. Раніше деформовані плити, що виступають, видаляють або скидають у знижені місця руйнувань. Цей спосіб застосовують при закладенні укосів до 1 : 2...1 : 3 залежно від ступеня руйнування. Асфальтне або асфальтобетонне покриття має перекривати здорове кріплення на 1,5...2 м. Асфальтовий розчин містить 80...88 % крупнозернистого піску або дрібного гравію (розмір частинок до 5 мм), 12...20 % вапнякового або доломітового порошку та 14...18 % бітуму. Литий дрібнозернистий асфальтобетон містить на 1...2 % менше в'язучого і 25...40 % щебеню (розмір частинок до 20 мм).

Верхові укоси гребель і гребель іноді ремонтують під водою із застосуванням асфальтових армованих матраців, розміри яких становлять: ширина 1,75...3,5 м, довжина 6...70 м, товщина 5...6 см. Арматура становить сітку з дроту діаметром 3...5 мм, з розміром осередків від 100 мм × 100 мм до 150 мм × 200 мм. По ширині сітка менше розміру матраца на 5...7 см, по довжині – більше на 15...20 см. Тюфяк має два шари асфальту або асфальтобетону, посередині яких розташована металева сітка. При виготовленні його ущільнюють котками та охолоджують до +20...40 °С. Готовий матрац намотують на барабан діаметром 2,5...4 м, після чого транспортують до місця укладання. Укіс вирівнюють і надводну частину його обробляють гербіцидами. Потім за допомогою крана або лебідки матрац укладають на брівку укосу перпендикулярно напрямку течії потоку. Кінець матраца закріплюють на гребені за допомогою бруса та краном або лебідкою розмотують по укосу. Сполучають матраци внахлестку або впритул з наступним заливанням швів асфальтовим герметиком. Якість стиків перевіряють водолази. Герметик становить, наприклад, розчин з крупнозернистого піску (розмір частинок 5 мм) – 80...88 %, вапнякового або доломітового порошку – 12...20 %, бітуму – 14...18 %, високополімерних добавок – 2,5...3 %.

Деформаційні шви тонких бетонних облицювань ремонтують у різний спосіб залежно від характеру пошкоджень.

У разі порушення ущільнення, коли основа плит не має пошкодження, ремонт виконують на пропозицію ПРАТ «Укргідропроект» одним з таких способів.

1. Шов ущільнюють бітумно-полімерними герметиками типу БІТЕП або іншим. Перед ущільненням сухий шов очищають від пилу та сміття і проводять ґрунтування стінок шва рідким бітумом або мастикою. У нижню частину шва

щільно укладають канат, просочений бітумом, поверх якого наливають бітумно-полімерний герметик. Зверху шов зачеканюють цементним розчином (рис. 12.14, а).

2. Після ґрунтування стінок рідким бітумом у шов укладають джгут із пористої гуми (пороізол, герніт), понад яке розміщують антиадгезійну прокладку з поліетиленової плівки товщиною не менш ніж 0,2 мм. У підготовлений шов заливають тіколову мастику. Верхню частину шва зачеканюють цементним розчином.

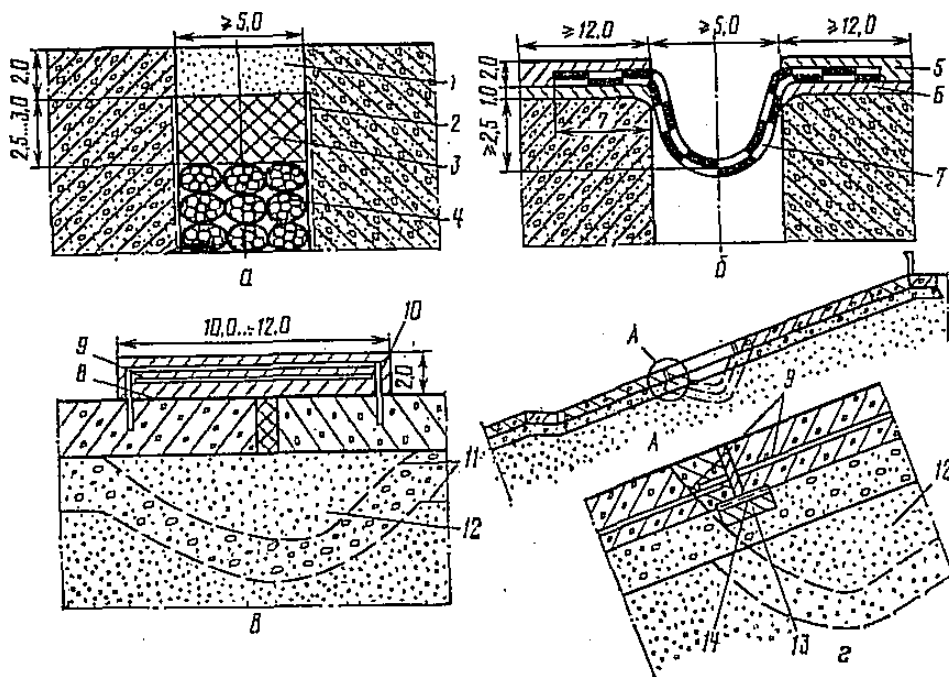


Рисунок 12.14 – Ремонт деформаційних швів бетонних кріплень:

а і б – за відсутності промоїн під плитами; в і г – при промоїнах під плитами відповідно з непорушеною і порушеною стійкістю плит; 1 – цементний розчин; 2 – ґрунтовка торців плит; 3 – бітумно-полімерний герметик; 4 – просочений бітумом канат; 5 – полімер-розчин; 6 – епоксидно-каучукова композиція; 7 – стрічка склопластику; 8 – шар бітуму; 9 – арматура; 10 – плита-накладка; 11 – межа зруйнованого кріплення; 12 – засипання ґрунтом; 13 – плита-підкладка; 14 – бітумний мат. Розміри в сантиметрах

3. Приклеюють до бетону епоксидно-каучуковою композицією профільні стрічки, що герметизують, з гуми, поліізобутилену, склотканини (рис. 12.14, б).

Такі способи використовували на магістральному каналі Каховської зрошувальної системи, каналі Сіверський Донець-Донбас та інших.

Наведені вище три способи ремонту деформаційних швів застосовні при напорах на кріплення в 10...15 м.

При утворенні в підплитній області швів порожнин в результаті вимивання ґрунту, якщо стійкість плит не порушена, ремонт проводять у такий спосіб. Через шви або спеціально пробурені свердловини порожнечі заповнюють гравійно-піщаною сумішшю. По всій довжині ділянки, що

ремонтуються, влаштовують монолітні плити-накладки шириною 1,0...1,2 м. Щоб прикріпити їх до старого бетону, кінці захисно-деформаційної рами приварюють до арматури старого кріплення, що оголилася, або встановлюють спеціальні анкери шляхом забурювання свердловин. Потім армують і бетонують плиту-накладку, попередньо промазавши основу бітумом (рис. 12.14, в). У такий спосіб відремонтували плити кріплення укосів на Кременчуцькому водосховищі.

У тому випадку, якщо в результаті винесення ґрунту з підплитної області кріплення втратило стійкість, потріскалося і просіло, ремонт його виконують у такий спосіб. Плити, що вийшли з ладу, розбирають, а порожнечі засипають або замивають піском, ремонтують зворотний фільтр. У місцях розташування швів кладуть плити-підкладки, що покривають бітумними матами. Встановлюють арматуру, кріплять її до старих плит і бетонують простір, попередньо змочивши поверхню старого бетону (рис. 12.14, г).

Щоб уникнути сповзання ґрунтових мас укосів широко застосовують зазвичай буронабивні палі. З їхньою допомогою ґрунтові маси прикріплюють до основного масиву споруди. Однак цей спосіб порівняно дорогий.

На низьконапірних спорудах іноді доцільніше влаштовувати палі із хімічно закріпленого ґрунту. Для цієї мети пробурюють свердловини глибиною 2,5...3 м, розташовані в шаховому порядку по сітці 3 м × 1,5 м, у які поміщають ін'єктори діаметром 50 мм. Гирла свердловин з поверхні укосу тампонують жирною глиною, щоб не виходив ін'єкційний розчин. Як ін'єкційний використовують водний розчин поліпшеної карбамідної смоли у кількості 15...20 % маси ґрунту з добавкою затверджувача – хлористого амонію (4 % маси смоли). Співвідношення в розчині смоли та води становить 1 : 0,5.

12.7 Усунення підвищеної фільтрації через ґрунтові греблі, основи та берегові примикання

У процесі експлуатації ґрунтових гідротехнічних споруд можуть з'являтися ключі (грифони) у зоні підніжжя низового укосу, як це мало місце на Шардар'їнському гідровузлі (Казахстан) (рис. 12.15) або у берегових примиканнях, викликані високими вихідними градієнтами фільтраційного потоку. Ключі – серйозний сигнал про аварійну ситуацію греблі. Інтенсивні височування на берегах, складених з м'яких ґрунтів, призводять до виникнення зсувів берегових примикань і заболочування території нижче греблі.

Щоб усунути інтенсивні фільтраційні деформації на берегах, можна закласти дренаж у траншеях, влаштованих глибиною 2...5 м. У піщаних ґрунтах роблять трубчастий дренаж, а в ґрунтах з великою кількістю глинистих частинок – розпластаний, у вигляді матраца. При цьому необхідно правильно підбирати зворотний фільтр.



Рисунок 12.15 – Шардар'їнський гідровузол (Казахстан)

(<https://wikimapia.org/9148967/ru/%D0%A8%D0%B0%D1%80%D0%B4%D0%B0%D1%80%D0%B8%D0%BD%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F-%D0%93%D0%AD%D0%A1#/photo/6371189>)

При чергуванні водотривких і водопроникних прошарків зі висхідним напрямом у бік нижнього б'єфу можуть з'являтися фільтраційні води у вигляді ключів та окремих джерел. Для їх ліквідації влаштовують дренаж з відведенням води в русло річки, а біля підніжжя низового укосу греблі – піщане привантаження довжиною 20...50 м товщиною 2...3 м. При розташуванні на заплаві населених пунктів або підприємств споруджують систему глибокого дренажу з відкачуванням води ерліфтами, глибинними насосами тощо.

У низці випадків мали місце великі втрати води з водосховища в результаті підвищеної фільтрації через тріщинуватий, а іноді закарстовану основу і берегові примикання. У цьому випадку з'ясовують положення зони підвищеної фільтрації та вибирають один із способів боротьби з нею: цементацію, бітумізацію, глінізацію або комбінований.

На Орто-Токойській греблі (Киргизстан) (рис. 12.16) висотою 52 м мала місце інтенсивна фільтрація через тіло греблі (150...240 м/сут). Причиною цього стала недостатня кількість у кар'єрному матеріалі дрібнозернистого ґрунту та відсіпання тіла греблі великими шарами завтовшки 60 см, за якої відбувалася сегрегація матеріалу при його розвантаженні, тобто природний поділ на фракції. Для боротьби з фільтрацією розглядалися такі методи: виконання водонепроникного екрану на верховому укосі, влаштування діафрагми в тілі греблі шляхом створення бетонно-пальових стінок у ґрунті, влаштування ін'єкційної завіси із закачуванням цементно-глинистого розчину через труби. Перевага була віддана останньому способу – створення ін'єкційної завіси.



Рисунок 12.16 – Орто-Токойська гребля (Киргизстан)
(<https://economist.kg/enierghietika/2025/03/11/kak-prodvighaietsia-stroitelstvo-ges-na-orto-tokoiskom-vodokhranilishchie-otviet-mineniergho/>)

Досвід експлуатації ґрунтових гребель свідчить про надійну роботу таких протифільтраційних завіс (гідровузли Серр-Понсон (Франція), Фессенхейм (Франція), Сільвенштейн (Німеччина) та інші), оскільки у цьому випадку створюється широке маловодопроникне ядро, матеріал є спорідненим з матеріалом тіла греблі. При цьому не потрібно випорожнити водосховище.

12.8 Ремонт протифільтраційних елементів

Основними причинами утворення тріщин у ядрах та екранах ґрунтових гребель є:

- нерівномірні осідання основи греблі на схилах і в руслі річки, а також напружено-деформований стан греблі з появою розтягуючих напружень у її верхній частині; у цьому випадку тріщини орієнтуються найчастіше поперек греблі;

- нерівномірні деформації окремих частин поперечного профілю греблі через різні осідання, обумовлені неоднаковим ущільненням основи; тріщини, що виникли з цієї причини, іноді досягають глибини 7 м і більше і розташовуються зазвичай вздовж греблі.

Найбільш небезпечними є поперечні тріщини. Найчастіше вони з'являються в зоні примикання насипної греблі до берега, складеного повністю або на окремих ділянках зі скельного або напівскального ґрунту.

Зависання ядра на перехідних зонах внаслідок різного ущільнення елементів греблі мало місце, наприклад, на греблі Хайттжувет (Англія) заввишки 93 м та інших. Це супроводжувалося інтенсивним фільтруванням (до

60 л/с), що з'явилося після заповнення водосховища до глибини близько 70 м.

В результаті значних і тим більше нерівномірних осідань екрану в зоні його берегових примикань можуть з'являтися тріщини. Причини їх виникнення мають аналогічний характер.

Ґрунтові ядра та екрани відновлюють у різний спосіб:

- споруджують буронабивні палі;
- влаштовують суцільну стінку в ґрунті (в ядрі);
- занурюють шпунти;
- виконують ін'єкцію ґрунту;
- укладають полімерну плівку;
- роблять шпонки;
- здійснюють замив;
- проводять ремонт шляхом розкривних робіт.

Буронабивні палі споруджують у такій послідовності. По осі споруди влаштовують траншею, що дозволяє зменшити довжину палі, і прокладають тимчасові шляхи розміщення ними бурового агрегату. У ґрунті бурять свердловину на необхідну глибину (30...50 м), використовуючи глинистий або бентонітовий (з глин, що розширюються в 10...15 разів) розчин для закріплення їх стін. У неї занурюють металеву напрямну (обсадну) трубу. Потім бурять другу свердловину, яку також опускають напрямну трубу. З першої свердловини витягають обсадну трубу (за необхідності в неї опускають арматурний каркас) і її бетонують способом вертикального переміщення труби з витісненням глинистого розчину. Забетонувавши першу свердловину, бурять третю і опускають до неї напрямну трубу. Виймають трубу з другої свердловини та бетонують її, як і першу. Таким самим способом бетонують всі інші палі і отримують суцільну стінку з паль, що примикають одна до одної. Іноді свердловини бурять захватками, що твердіють матеріалом, по 3...4 одночасно. Діаметр свердловин приймають 0,4...1 м залежно від допустимих градієнтів на завісі та наявних бурових агрегатів. Відстань між центрами суміжних свердловин приймають менше двох діаметрів свердловин.

Поширеним способом відновлення ядер або екранів за кордоном є влаштування суцільної стінки в ґрунті шляхом створення прорізу із заповненням її спочатку глинистим розчином з метою збереження від обвалення укосів, а потім твердіючим матеріалом способом підводного бетонування. Щоб отримати проріз у ґрунті (траншею), розробляють окремі секції (довжиною 5...10 м) або безперервну траншею. Секції другої черги починають робити після твердіння матеріалу-заповнювача та набору необхідної міцності (зазвичай через 10...20 діб). Щоб забезпечити хороший контакт між секціями, елементи другої черги врізають у секції першої черги на 0,3...0,5 м. Проріз розробляють глибиною до 50 м: бурофрезерним агрегатом СВД-500Р в комплекті з буровим верстатом, грейфером прохідницьким з гідравлічним приводом щелеп або з напірною штангою. Ударно-канатний верстат з ерліфтом дозволяє розробляти траншеї глибиною до 100 м.

Іноді для створення стінки в ґрунті використовують ґрунтову суміш із

малим коефіцієнтом фільтрації. Її товщина сягає 4 м.

Неглибокі протифільтраційні завіси (до 20 м) іноді виконують тонкими, до 0,2 м, з твердіючого матеріалу. Розробку траншей у м'яких ґрунтах ведуть водоповітряним струменем через монітор, опущений у свердловину і який має три концентричні труби із соплами на кінці. Через два сопла в ґрунт нагнітають водоповітряну суміш під тиском 40...50 МПа. Розроблений ґрунт виноситься на поверхню через сусідню свердловину, а траншея заповнюється бентоніто-цементним розчином через третє сопло. Траншеї виконують також шляхом послідовного занурення та вилучення металевих паль, що мають замкове з'єднання. У міру вилучення паль утворюється простір заповнюють глиноцементним або глинистим розчином через спеціальні труби, що проходять усередині палі. Глиноцементний розчин має приблизно такий склад по вазі (Ц:Г:В) 550:244:735 кг/м³. Глинисті суспензії створюють із глин з числом пластичності не менше 0,2 і вмістом частинок більше 0,05 мм не більш ніж 10 %, а дрібніше 0,005 мм не менш ніж 30 %.

Іноді для ремонту ядра в слабких або попередньо розпушених ґрунтах застосовують звичайні шпунти або гідрошпунти із замковими з'єднаннями.

У сильноводопроникних ґрунтах використовують суспензії підвищеної в'язкості з додаванням рідкого скла або вапна. Підвищити густину суспензії можна добавками обтяжувача (барит, магнезит, гематит тощо).

При виконанні ремонтних робіт протифільтраційних елементів ін'єкцію застосовують у таких випадках:

- за необхідності влаштування нового або посилення наявного протифільтраційного елемента (ядро, зуб, понур, завіса тощо), при аварії після землетрусу, непередбачених осідань елементів споруди, катастрофічної повені тощо;

- при незавершеному будівництві протифільтраційного елемента;

- при фізичній, хімічній суфозії або інших фільтраційних деформаціях на контакті протифільтраційного елемента з елементами споруди, що примикають.

Ін'єкцію пошкоджених протифільтраційних елементів проводять шляхом примусового нагнітання в тріщини і пори ґрунту тампонажних розчинів, які утворюють щільний заповнювач, що перешкоджає руху підземних вод. Розчини вводять за допомогою спеціальних установок насосів під тиском через пробурені свердловини в один або кілька рядів.

Як тампонажні розчини застосовують (за даними ПРАТ «Укргідропроект»):

1) при цементації:

- цементні, з водоцементним відношенням В/Ц = 20...0,4;

- цементно-піщані, з відношенням Ц/П = 0,5...4;

- цементно-глинопіщані, (Г+П)/Ц = 0,5...15;

- цементно-глинисті, Г/Ц = 0,5...10;

2) при глінізації:

- глиносилікатні, з вмістом глини 400...850 кг/м³ і додаванням силікату натрію (рідке скло) 0,1...10 % маси сухої глини;

– бентонітосилікатні, що містять 100...300 кг/м³ бентоніту та 0,5...1,5 кг/м³ силікатного натрію;

3) при силікатизації:

– піщаних ґрунтів – спочатку рідке скло, а потім розчин хлористого кальцію для прискорення процесу цементзації ґрунту;

– дрібнозернистих, пилюватих пісків, пливунів – рідке скло з затверджувачем (ортофосфорна або сірчана кислота з добавками реагентів) при в'язкості, є близькою до в'язкості води.

Крім того, при цементзації широко використовують природні добавки: золу-унос, кам'яне борошно, лес (з середнім діаметром $d_m < 0,1...0,15$ мм), бентоніт та інші матеріали. До складу цементних розчинів вводять бентоніт (0,5...5 % від маси цементу), рідке скло (силікат натрію), хлористий кальцій, поташ, сульфатно-дрожжеву бражку та інші поверхнево-активні речовини, вони зменшують структуроутворення в цементному розчині і підвищують рухливість розчинів у порожнинах. За необхідності застосовують цементні розчини, що розширюються, з алюмінієвим порошком у кількості 0,02...0,05 % по відношенню до масі цементу. Спосіб нагнітання розчинів та контроль цементзації докладно викладені у спеціальній літературі. Діаметр свердловин при ін'єкції приймають не більше 30...200 мм. Відстань між свердловинами цементзації першої черги призначають в 6...16 м, а останньої – 2...3 м і більше.

Глінізацію та бітумізацію здійснюють через ін'єктори діаметром 25...35 мм. Радіус силікатизації великих і середніх пісків змінюється від 1 до 0,3...0,4 м. Його можна збільшити за допомогою газової силікатизації, що є послідовним нагнітанням рідкого скла і затверджувача.

В агресивних середовищах застосовують смолізацію ґрунтів, тобто закріплення їх розчином карбамідних фенолформальдегідних та інших синтетичних смол із затверджувачами. Однак цей спосіб через високу вартість використовують рідко, лише за відповідного обґрунтування.

Ґрунтові ядра та екрани можна відновлювати за допомогою полімерних пліткових матеріалів, які мають різні характеристики по міцності, довговічності, морозостійкості, водонепроникності, технологічності з'єднання, вартості та перспективності. Найчастіше використовують поліетилен, полівінілхлорид та поліпропілен, хоча останній має низьку морозостійкість. Для зменшення старіння плівки під час її виготовлення застосовуються різні стабілізатори. Термін служби стабілізованих плівок завтовшки 0,2 мм при захисті їх від кліматичних факторів у центральних районах становить 35...40 років, у південних – не менше 25...30 років.

Під час виконання ремонтних робіт верхньої частини екрану із застосуванням полімерних пліткових матеріалів знижують рівень води у водосховищі, знімають верхній шар насипу на верховому укосі, укладають екран із полімерних матеріалів, який привантажують високоякісним насипом.

Товщину (мм) поліетиленової плівки визначають за формулою:

$$S = 0,075 \cdot H \cdot y_0 \cdot d_m \cdot \sqrt[0,4]{\frac{E}{\sigma^3}}, \quad (12.2)$$

де H – напір, м;

γ_o – густина води, г/см³;

d_m – середній діаметр пор ґрунту підстиляючого шару, мм;

$$d_m = 0,535 \cdot \sqrt[3]{\eta} \cdot \frac{n}{1-n} \cdot d_{17}, \quad (12.3)$$

де η і n – відповідно коефіцієнт неоднорідності та пористість ґрунту підстиляючого шару;

d_m – діаметр фракцій (мм), менше якої в ґрунті міститься 17 % частинок по масі;

E – розрахунковий модуль пружності поліетилену, МПа;

σ – розрахункова межа міцності поліетилену на розтягування, МПа,

Модуль пружності плівки має бути не нижчим за 70 МПа, а межа міцності на розтягування – не менш ніж 10 МПа. Крупність частинок ґрунту підстиляючого шару зазвичай не більш ніж 6 мм. Товщина підстиляючого шару не менше 0,3–0,4 м, а захисного – понад 0,4...0,5 м.

Для збільшення довговічності плівки та коефіцієнта тертя ґрунту по плівці останню зверху та знизу захищають толем. Стрічки плівки з'єднують склеюванням, зварюванням або шляхом влаштування внахлест складок, які щільно притискають ґрунтом. Плівку укладають прямими стрічками віялоподібно, сходами або зигзагоподібно залежно від очікуваних деформацій, висоти плівкового покриття та орієнтації її у просторі.

Способи ремонту ґрунтових ядер та екранів за допомогою виконання шпонок, розкривних робіт та замиву наведено вище.

Небезпечним місцем з погляду появи суфозії у глинистого ядра є примикання його до бетонної споруди, наприклад водозливу. Таке пошкодження спостерігалось в 1968 р. на одній із кам'яно-земляних гребель в Австралії (висота 43 м), яка експлуатувалася лише 1 рік. У примиканні ядра до бетонного водозливу на низовому укосі поблизу гребня з'явилася промоїна діаметром 1,4 м і глибиною 1,3 м. Водосховище негайно спрацювали на 7,6 м зі швидкістю 0,3 м/добу. За допомогою шурфів і пробурених свердловин було встановлено, що причиною суфозії була відсутність додаткового фільтру з мореного ґрунту на одній з ділянок висотою 2,4 м. Низовий фільтр із гравію не міг бути надійним фільтром для захисту глин. Ремонтні роботи виконали упродовж чотирьох тижнів. У місці примикання ядра до стінки до скельної основи забили діафрагму з сталевого коробчастого шпунта. Оскільки незрозумілий стан низового фільтру з мореного ґрунту нижче дна шурфу, то зацементували цей фільтр, а після зворотного засипання шурфу – й ґрунт навколо шпунтової стінки. Свердловини, що примикають до замків шпунтин, заповнили цементним, а решта – спеціальним хімічним розчином. Верховий деформаційний шов бетонної стінки, який раніше був без шпонки, також зацементували.

При відновленні мерзлотних протифільтраційних елементів ґрунтових гребель у суворих кліматичних умовах застосовують сезоннодіючі термосваї (пристрої) з природною внутрішньою циркуляцією робочої речовини, що охолоджує. Вони бувають рідинні (гас) і парорідкісні (аміак, фреон, пропан та ін). У першому випадку циркуляція відбувається під дією різниці щільностей нагрітих (у ґрунті) та холодних шарів (у повітрі) охолоджувача. У другому перенесення тепла від ґрунту до поверхні здійснюється шляхом фазового перетворення. На рисунку 12.17, а наведено схему виконання термопаль за допомогою парорідкісної циркуляційної системи, яка працює так. В осінньо-зимовий період пари робочої речовини, що знаходяться в конденсаторі, конденсуються і краплями або цівками стікають вниз у випарник. У нижній частині термосваї робоча речовина нагрівається, відбираючи від ґрунту тепло, і, випаровуючись, піднімається в конденсаторну частину. Далі цикл повторюється. Влітку, коли температура повітря близька або вище за температуру ґрунту, пара не конденсується і термопаль припиняє роботу. Якщо протягом літнього періоду є небезпека неприпустимого розморожування мерзлотої протифільтраційної завіси, що визначається теплотехнічними розрахунками, додатково застосовують штучне заморожування ґрунту.

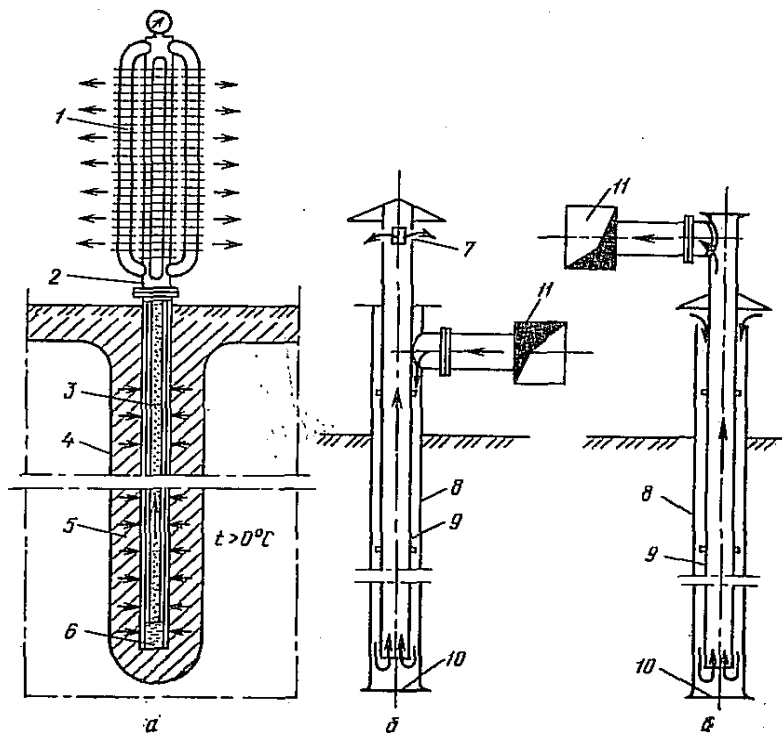


Рисунок 12.17 – Схеми заморозувальних систем:

а – парорідинна циркуляційна; *б* і *в* – повітряна примусова дія з нагнітанням і відсмоктуванням повітря: 1 – конденсатор; 2 – труба; 3 – пар; 4 – межа талої та мерзлої зон ґрунту; 5 – мерзлий ґрунт; 6 – рідина; 7 – отвір для виходу повітря; 8 і 9 – зовнішня та внутрішня труби; 10 – заглушка; 11 – колектор

Відстань між палями призначають залежно від конкретних умов, приблизно 1,5...2,5 м. На сьогодні найбільшого поширення набули повітряні

заморожувальні системи (рис. 12.17, б, в), засновані на циркуляції низькотемпературного атмосферного повітря в заморожувальній колонці, що складається з двох труб. Зовнішня труба знизу заглушена, а внутрішня встановлена так, що між її нижнім торцем і заглушкою зовнішньої труби утворюється зазор висотою близько 20 см. На один вентилятор групують по 35...45 колонок.

Діаметр зовнішніх труб приймають рівним 100...219 мм, внутрішніх – 31...189 мм.

12.9 Ремонт дренажних систем ґрунтових споруд

Ушкодження дренажних систем ґрунтових споруд (з умов виконання ремонтних робіт) поділяються на такі види:

- ушкодження дренажу ґрунтових гребель;
- підвищення кривої депресії з виклинуванням її на поверхню низового укосу;
- порушення роботи зворотних фільтрів, покладених на дні та укосах каналів;
- вихід із ладу дренажних свердловин;
- замулення дренажних систем тощо.

Нижче наведено приклади виконання ремонтних робіт із відновлення дренажних систем.

Під час експлуатації ґрунтових гребель зазвичай оснащених дренажем у низового укосу, у низці випадків спостерігали винос піску з тіла греблі в дренаж, викликаний поганою якістю укладання зворотного фільтру дренажу, невдалим підбором складу обсіпання перфорованих труб або появою значних нерівномірних осідань. У випадку, якщо дренаж перестає нормально функціонувати, вода, що фільтрує, просочується на укіс, різко знижуючи його стійкість. При цьому можливе утворення провальних воронки та зсув відкосу. Розміри зсувів можуть змінюватися від кількох метрів до кількох десятків метрів. Порушення роботи дренажу є надзвичайно серйозним ушкодженням. Нижче наведено характерну послідовність виконання ремонтних робіт з дренажу:

- у верхньому і нижньому за течією оглядових колодязях на труби ділянки дренажу, що ремонтується, встановлюють дерев'яні заглушки з ретельним законопачуванням щілин;
- з вищерозташованої ділянки дренажу воду відкачують з найближчого до майбутнього котловану колодязя насосом в оглядовий колодязь, що знаходиться нижче;
- щоб уникнути опливу укосу по всьому периметру котловану забивають шпунт;
- паралельно шпунтової стінки із зовнішнього боку від неї монтують голкофільтрову установку для відкачування води та зниження рівня ґрунтових вод;
- по всій довжині ділянки, що ремонтується, розкривають котлован

шириною по основі 3...4 м залежно від конструкції і поперечного розміру дренажу;

- видаляють забиті піском дефектні труби чи інші пошкоджені частини дренажу;

- розчищають основу до проєктних позначок;

- відновлюють дренажні труби та зворотний фільтр, після чого водознижувальні установки відключають;

- зверху дренажу насипають добре фільтруючий ґрунт завтовшки близько 1 м, витягують шпунт;

- відсипають укіс із ущільненням та кріпленням його відповідно до проєкту;

- витягують дерев'яні заглушки з труб оглядових колодязів і відключають насос.

Під час виконання ремонтних робіт з дренажу забезпечують хороший стан фільтрів водознижувальної установки та цілодобовий водовідлив, оскільки в іншому випадку підніметься депресійна крива і укіс обрушиться в котлован. Не можна занурювати голкофільтри гідравлічним способом, щоб уникнути розмиву укосу. Особливу увагу приділяють якісній стиковці старих та нових шарів зворотного фільтру.

Порушення технології зведення ґрунтових гребель призводять до підвищення кривої депресії та виклинування її на низовий укіс під час експлуатації споруд. Наприклад, в результаті неякісних наливів греблі та очищення кар'єрів від розкритих порід, відсутності необхідного контролю якості кар'єрного матеріалу та інших порушень у насипі з'являються прошарки з матеріалів з малим коефіцієнтом фільтрації. У таких умовах фільтраційний потік поділяється на окремі частини, спрямовані відповідно до орієнтації прошарків. Ці потоки зазвичай височуються на поверхню укосу.

Для усунення височення води на укосі греблі бурять свердловини діаметром 250...400 мм на глибину закладення прошарків (8...15 м), які заповнюють гравистим або грависто-піщаним матеріалом. У плані водопоглинаючі свердловини розміщують у шаховому порядку з відстанню між ними 5...10 м. Розміри та кількість їх приймають залежно від конкретних інженерно-геологічних умов. Для зниження кривої депресії на період ремонту застосовують також голкофільтрові установки, що є трубами діаметром 25 мм з перфорацією діаметром 4 мм по всій довжині. Навколо перфорованої труби влаштовують зворотний фільтр (товщина шарів по 10...30 см залежно від конструкції дренажу).

Досвід експлуатації відкритих колекторів магістральних, дренажних каналів, приплотинних кюветів та інших споруд свідчить про те, що через неякісне відсипання або підбір зворотного фільтру, покладеного на укоси та дно каналу, можуть виходити з ладу елементи його кріплення. У цьому випадку ремонт виконують в такий спосіб. Перемичками захищають пошкоджену ділянку. З ділянки каналу, що лежить вище, в воду нижче перекачують за допомогою насоса або пропускають по обвідному каналу. Навколо ділянки, що

ремонтуються, встановлюють голкофільтри з цілодобовою відкачкою води, які дозволяють осушити канал і оберігати його укоси від зсуву при впливі гідродинамічного фільтраційного потоку.

В окремих випадках, коли рівень ґрунтових вод перебуває в зниженому стані, достатньо обмежитися поверх ніс водовідливом, влаштувавши для цієї мети зумпф (яма, куди по шахтному стовбуру стікає вода). На ділянці осушеного каналу розбирають кріплення та зворотний фільтр. Укоси, дно каналу, зворотні фільтри та кріплення відновлюють відповідно до проєкту. При цьому особливу увагу приділяють правильній стиковці старих та нових шарів зворотних фільтрів та кріплення каналу. Після закінчення ремонтних робіт обережно розбирають перемички і витягують пристрої та використовуване обладнання.

Для захисту території від підтоплення найчастіше застосовують дренажні свердловини. Прикладом може бути система дренажу в районі Токтогульського водосховища (Киргизстан), що представляє лінійний ряд 408 свердловин довжиною 7,9 км, розташованих паралельно захисній греблі на відстані 150 м від неї. Відстань між свердловинами становить 12...25 м. Дренажні свердловини можуть виходити з ладу внаслідок фізичної чи хімічної кольматації фільтрового матеріалу. Працездатність дренажних свердловин відновлюють різними способами: пневмоімпульсним, мікровибуховим, реагентним, комбінованим.

При обробці дренажних свердловин пневмоімпульсним способом використовують пневмоснаряди, що просуваються вздовж фільтра свердловини. Принцип роботи пневмоснаряда ґрунтується на автоматичному випуску порції стисненого повітря з балонів під тиском 6...15 МПа. Під впливом стисненого повітря у фільтрі свердловини виникають імпульсні ударні хвилі фільтраційного потоку змінного напрямку, які руйнують закольматований шар.

Для мікровибухів у дренажних свердловинах використовують шнур, що детонує. При вибуху його у воді по всій довжині фільтра свердловини ударна і відбита хвилі в поєднанні з газовими бульбашками порушують суцільність продуктів, що кольматують на фільтрі і в прифільтровій зоні. Внаслідок такої обробки питомий дебіт свердловини збільшується у 3...5 разів і більше. Щодо початкового значення питомий дебіт відновлюється до 45...65 % при терміні її експлуатації 5...10 років. Міжремонтний період становить 6...12 міс.

Реагенти доцільно використовувати в тому випадку, коли відомий хімічний склад матеріалу, що кольматує, і економічно вигідно застосовувати розчинники. Після хімічної обробки продукти реакції відкачуються разом із водою зі свердловини та прифільтрової зони. Реагентами є кислотні, лужні, сольові розчини або порошкоподібні склади. Порошкоподібні реагенти в фільтр свердловини подають з допомогою стиснутого повітря від компресора.

Комбінований спосіб обробки дренажних свердловин з відновлення їх працездатності дозволяє часом збільшити тривалість міжремонтного періоду до 2,5...3 років. Однак питання доцільності застосування того чи іншого способу має вирішуватись у кожному окремому випадку з урахуванням конкретних

умов.

З метою зменшення напору ґрунтових вод під порівняно невеликим водотривким шаром для підвищення стійкості основи влаштовують розвантажувальні свердловини у вигляді фільтрів. Під час експлуатації може з'явитися фільтрація контакту зовнішньої поверхні обсадної труби свердловини з водотривким шаром. Закріплення ґрунту навколо труби за допомогою силікатизації та забиття металевої обсадної труби великих розмірів для перекриття зони зруйнованих ґрунтів навколо свердловини не завжди дають позитивні результати. У такому разі фільтрацію усувають таким шляхом. Навколо аварійної свердловини влаштовують кругову огорожу зі шпунта, що забивається у водонапір. З зовнішнього боку шпунтового огородження встановлюють кілька (4...5) водознижувальних свердловин, обладнаних занурювальними насосами. Під прикриттям шпунтової стінки виймають ґрунт у зоні свердловини, не доходячи до низу водоупору на 3...5 м, щоб не сталося прориву товщі водоупору, що залишилася. Водопонижувальні установки як зменшують приплив води в колодязь утворений шпунтом, а й знижують п'єзометричний рівень напірних вод. У нижній та верхній частинах колодязя зазвичай влаштовують бетонні подушки, а простір між ними заповнюють суглинком чи глиною з якісним ущільненням.

Трубчастий дренаж від замулювання очищають способом промивання ділянок труб, розташованих між двома оглядовими колодязями, у напрямку руху води. Існують самопливний та примусовий способи промивання. При самопливному способі перекривають трубу в нижче й вище розташованому колодязях, заповнюють водою вище розташований колодязь і проводять промивання. При різкому відкритті труби (зняття пробки) в нижчому колодязі потік, що рухається з великими швидкостями по трубі, змиває наноси. Після цього видаляють наноси з колодязя нижче і аналогічну операцію виконують на наступній ділянці. Примусовий змив наносів здійснюють шляхом подачі в трубу води під напором через шланг і відкачування її з оглядового колодязя, що знаходиться нижче.

Для промивання колекторів діаметром від 3 м до 8 м застосовують спеціальні машини. Існують також очисні пристрої, що слугують для видалення щільних наносів і становлять ковшові снаряди або спеціальні щити, які протягують трубами за допомогою лебідок або під тиском води. Технологію виконання операцій з механічного очищення колекторів докладно наведено у спеціальній літературі.

Очистити дренаж від залізистих відкладень можна хімічним способом. Для цього в закриту пробку ділянку дренажу вводять на добу водний розчин сірчаної кислоти і бісульфату натрію з концентрацією 1,2...2 % або двоокису сірки за наявності води в трубі.

Для боротьби із заростанням дренажних систем корінням використовують гербіциди сільськогосподарського призначення. Однак до такого способу вдаються дуже рідко з метою охорони навколишнього середовища.

12.10 Усунення загальних та місцевих пошкоджень бетонних масивних споруд

Руйнування бетонних гідротехнічних споруд відбувається в результаті фізико-хімічної, фізико-механічної корозії, кавітаційних впливів, місцевих деформацій, стирання наносами і великогабаритними предметами, ударів тощо.

Роботи з усунення місцевих пошкоджень поділяють на чотири основні цикли: підготовку бетонної поверхні для ремонту, приготування бетонної суміші, бетонування та догляд за бетоном.

Підготовка пошкодженої бетонної поверхні проводиться для забезпечення міцного зчеплення нового бетону зі старим. Існує механічна та хімічна підготовка поверхні. Найбільш застосовна механічна, яка виконується у такій послідовності. Знімають цементну плівку з поверхні, що ремонтується, якщо вона є, і роблять її шорсткою шляхом насічки старого бетону за допомогою металевих щіток, перфораторних молотків, піскоструминних агрегатів та іншого обладнання. Обробляють до міцного бетону раковини, тріщини та каверни. Видаляють до чистого бетону жирні плями мазуту, бітуму, нафти, олії. Очищають від іржі оголену арматуру. За необхідності бурять свердловини, встановлюють анкери і додаткову арматуру. Перед бетонуванням очищають від пилу стисненим повітрям поверхню бетону, змочують або промивають її струменем води.

Для забезпечення підвищеної міцності шва на оброблювану поверхню рекомендується наносити проміжний (адгезійний) шар, виконаний з жирного цементного розчину, колоїдно-цементного розчину або колоїдно-цементного клею.

Бетонну суміш ущільнюють вібраторами. При цьому не допускається укладати бетон на основу з його температурою нижче $+5^{\circ}\text{C}$. Температурний режим твердіння бетону під наглядом забезпечують до отримання 50 % марочної міцності, тобто 7...14 діб. При температурі повітря до -10°C бетонують у відкритих блоках методом термоса, тобто укладають теплий бетон на поверхню з позитивною температурою, а потім укривають теплоізоляційним матеріалом. При температурі повітря нижче за -10°C бетон укладають у тепляках, де підтримується позитивна температура не нижче ніж 4–5... 10°C .

Догляд за бетоном здійснюють постійно до набору їм 50...60 % міцності. Щоб запобігти тріщиноутворенню передбачають захист відкритих поверхонь від усіх видів впливів, систематичне поливання водою бетону на портландцементі протягом 7 діб, із пластифікуючими добавками – 14 діб.

При неглибоких пошкодженнях поверхні бетону її відновлення широко використовують торкретування. Однак без арматурної сітки воно є недовговічним (3...5 років). Арматурна сітка дозволяє забезпечити якісне покриття на 15...20 років та більше. Разом про те якість торкрету значною мірою залежить від кваліфікації персоналу, що виконує роботи. Поверхню, що піддається торкретуванню, ретельно очищають від забруднень, пухких, пористих і тріщинуватих шарів, промивають і продувають стисненим повітрям.

Арматуру очищають від прилиплого бетону, бруду та іржі. Поверхню обробляють перфораторними молотками чи грубими карборундовими колами. Роботи з підготовки поверхні та її торкретування проводять: для вертикальних площин – з підвісних колисок, а для похилих – з рухомих санок, керованих з гребня.

За технологією виконання ремонтних робіт застосовують поверхнево-активну речовину – пластифікуючу добавку, сульфатно-дрожжеву бражку, що вводиться разом із водою.

Активованій торкрет використовують при ремонті раковин умовним діаметром до 10 см, при створенні поверхонь, що чинять опір стиральному та ударному впливу води. Його забороняється наносити на гнучку та жорстку основу, при температурі повітря та основи нижче за +5 °С, під час дощу або вітру, що має швидкість понад 10 м/с. Для торкрету застосовують цемент марки не нижче ніж 400, пісок зазвичай кварцовий або кварцово-польовошпатний. Основне обладнання для нанесення торкрету – цемент-гармата з відповідними пристроями. Максимальна товщина шарів, що одночасно наносяться на вертикальну поверхню становить 40 мм, а на горизонтальну: знизу вгору – 20 мм і зверху вниз – 100 мм. Черговий шар наносять лише після схоплення попереднього. При оптимальних параметрах торкретування кількість матеріалу, що відскакується, не повинна перевищувати 20...25 % при нанесенні на вертикальну поверхню, 10...20 % – на горизонтальну знизу вгору і 3,5...5 % – на горизонтальну зверху вниз.

При значних по глибині та протяжності ушкодженнях у зоні змінного рівня ремонт виконують за допомогою опалубки та бетононасоса. У оброблені ушкодження встановлюють анкери, куди прикріплюють арматуру. Опалубку застосовують металеву або дерев'яну, у яку вставляють патрубок з фланцем у вигляді штуцера. По висоті опалубки влаштовують кілька отворів, що служать для виходу води під час бетонування. Бетон подають через окремий патрубок, до якого прикріплюють трубу з краном. Під тиском 0,2...0,3 МПа бетонна суміш надходить у нижню частину ушкодження. У міру її виходу з отворів закривають їх дерев'яними пробками. Роботи виконують за максимального зниження рівня води.

У підводній частині бетон ретельно очищають від плісняви, мулу, продуктів обростання; опалубку закріплюють водолази.

Для ремонту пошкоджених місць бетону, що вимагають усунення або зменшення фільтрації, використовують бетон з добавками натрію алюмінію ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Na}_2\text{O}$), що представляє суміш гідрату глинозему і технічного їдкого натрію. Препарат випускають заводи у вигляді розчину із щільністю 1,34...1,44 т/м³. Розчини з алюмінатом натрію мають швидке схоплення, підвищену водопотребу і стійкість проти розмиву водою. Вони не розшаровуються і не відокремлюють воду. Бетон з добавками алюмінату натрію застосовують також для закладення мокрих каверн в бетонних конструкціях, влаштуванні водонепроникних штукатурок по сирих поверхнях бетону, торкретуванням або звичайним способом, що наноситься, нагнітання в

тріщини тощо.

Поверхні, зруйновані кавітацією або механічним впливом наносів, іноді ремонтують за допомогою пластобетону, що представляє різновид спеціального бетону, у якому замість цементу використовується синтетична смола у вигляді фурфурольно-ацетонового мономеру, продукту конденсації фурфуролу з ацетоном у лужному середовищі. Швидкість його твердіння в залежності від складу може змінюватися від кількох десятків хвилин до кількох місяців. Пластобетон приблизно в 10 разів більше стійкий до стирання, ніж звичайний бетон. Укладають його на оброблену чисту та осушену поверхню, що дозволяє забезпечити максимальне зчеплення зі старим бетоном.

Кавітаційні пошкодження бетону частіше зашпаровують епоксидними смолами, епоксидно-каучуковими матеріалами, полімербетонами, полімеррозчинами, полімерними клеями, мастичними полімерними лакофарбовими покриттями тощо. Водозливна поверхня, зруйнована кавітацією, після ремонту має бути міцною, однорідною, гладкою, без виступів. Раковини, що з'явилися в результаті кавітаційної ерозії, поділяють на три групи залежно від їхньої глибини: I група – завглибшки > 20 см, II – від 5 см до 20 см, III група – < 5 см. При ремонті раковин I групи застосовують арматурні сітки зі стрижнями діаметром 25 мм та кроком $25 \text{ см} \times 25 \text{ см}$, які приварюють до спеціально встановлених анкерів діаметром 32 мм, з кроком $50 \text{ см} \times 50 \text{ см}$. Ремонт раковин II групи виконують з анкерами діаметром 20 мм кроком $50 \text{ см} \times 50 \text{ см}$, до яких приварюють арматурні стрижні діаметром 10 мм і кроком $10 \text{ см} \times 10 \text{ см}$. Раковини глибиною до 5 см закривають без анкерування та армування.

Схема ремонту масивних бетонних споруд, запропонована ПРАТ «Укргідропроєкт», показана на рисунку 12.18. На водозливній поверхні при ремонті використовують пересувний візок 2, обладнаний лебідкою 3 (рис. 12.18, а). Будівельні матеріали та пристрої подають за допомогою крану або лебідки. Схема ремонту місцевого ушкодження на вертикальній грані наведено на рисунку 12.18, б. Опалубку притискають до старого бетону брусами, прикріпленими до додаткових анкерів 10.

Руйнування биків на Дніпровській ГЕС глибиною від 10 см до 40 см у зоні змінного рівня (висота 9 м) бетонували, а дрібніші пошкодження зашпаровували торкретом. Навколо биків встановлювали криволінійну металеву опалубку товщиною 8...10 мм, яку знизу приварювали до існуючого (у нижній частині) металевого облицювання, а з боку пазів – до закладних куточків. Додатково опалубку приварили до анкерів діаметром 28 мм з кроком $60 \text{ см} \times 60 \text{ см}$, встановленим у спеціально пробурені шпури глибиною 30 см. Останні пробурювали під кутом 30° до горизонтальної поверхні, а анкери після установки відгиналися в горизонтальне положення. У верхній частині опалубки для зручності бетонування прикріпили козирок.

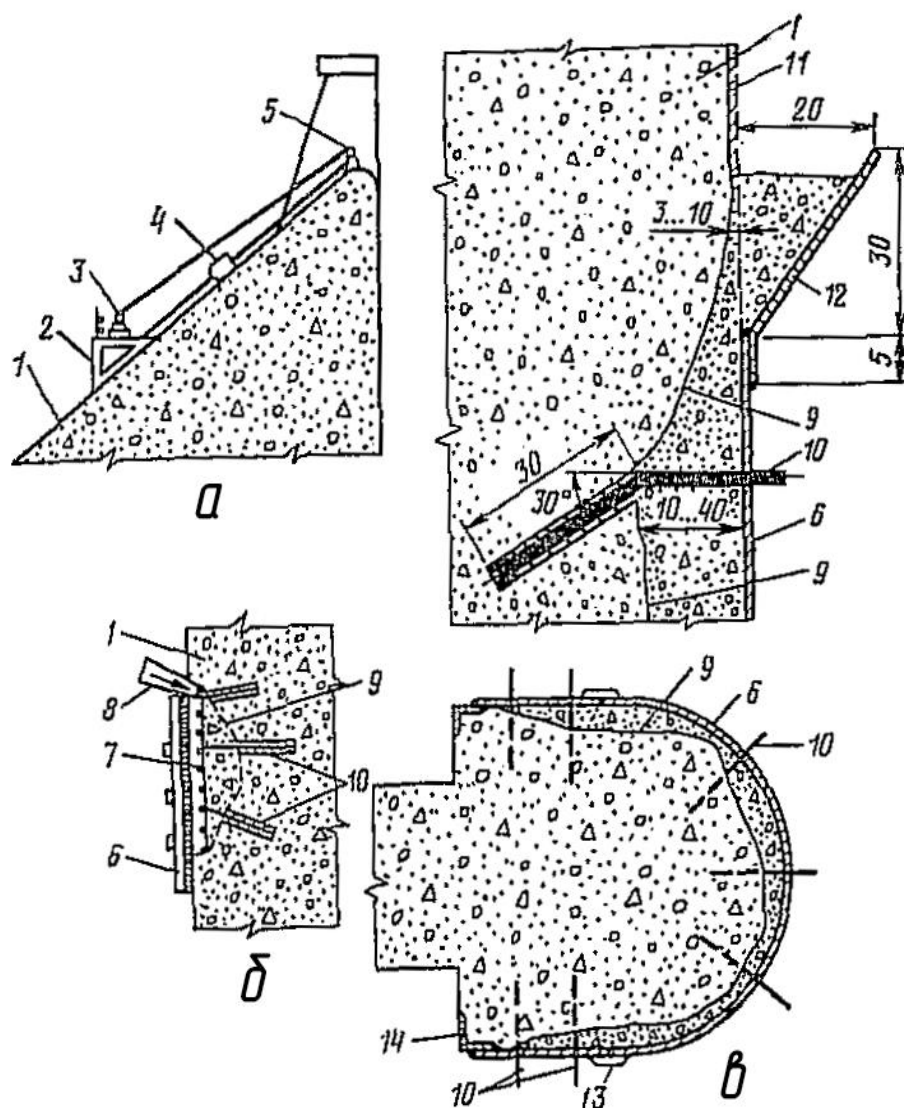


Рисунок 12.18 – Схема ремонту масивних бетонних споруд:

a – похилої водозливної грані; *б* – місцевого пошкодження на вертикальній грані; *в* – бика; 1 – бетонний елемент, що ремонтується; 2 – пересувний візок; 3 – лебідка; 4 – пересувний бункер; 5 – блок; 6 – опалубка; 7 – арматурна сітка; 8 – бетоновод; 9 – контур руйнування; 10 – анкери; 11 – зона торкретування; 12 – козирок; 13 – накладки; 14 – закладні куточки. Розміри в сантиметрах

Для бетонування використовували бетон В22,5 на дрібному гравійному наповнювачі (розмір частинок 5...20 мм). Металеve облицювання залишили і після ремонту, тому що в ньому була необхідність.

12.11 Усунення протікань через шпонки, шви, тріщини та відновлення водонепроникності та міцності бетону

Асфальтові шпонки розміром від $0,15 \times 0,15$ м до 1×1 м широко застосовують при спорудженні бетонних гребель та інших масивних бетонних споруд, незважаючи на те, що їх порожнини важко очищати від будівельного сміття, напливів цементного розчину, стикувати електроди систем обігріву під

час монтажу і використовувати. Неякісне прилягання залізобетонних корит до порожнини шва викликає неприпустиму фільтрацію в обхід шпонки, наприклад, через температурно-осадові шви. Шпонки важко піддаються ремонту. Найбільш ефективним та порівняно простим способом усунення фільтрації через шпонки є розігрів у них асфальтового матеріалу електричним струмом. Цей спосіб застосовували на Каховській, Дніпровській та інших гідроелектростанціях. Способи обігріву асфальтових шпонок, наприклад, за допомогою пари, гарячого повітря, не завжди дають позитивний результат (Дніпровська гребля).

У разі відмови стаціонарної системи обігріву в асфальтовій шпонці бурять свердловини на всю її глибину. У кожную свердловину встановлюють новий електронагрівач, що є трубою, всередині якої розташовується стрижень з ізоляторами. Потім розігрівають шпонку і доливають свіжу гарячу мастику. Взимку верхню частину шпонки можна бурити кільцевою коронкою з виїмкою керна. Буріння проводять трешарошечним долотом з діаметром, що змінюється по довжині, від 159 мм до 76 мм з активним промиванням водою з витратою не менше 18 м³/год. Це дозволяє не допускати налипання мастики на буровий інструмент та утворення у затрубному просторі пробки. При цьому необхідно забезпечувати високу точність положення свердловини по довжині шпонки з огляду на малу її ширину і більшу глибину. Електронагрівач діаметром 40...60 мм виготовляють секціями довжиною 3...5 м з різьбовими з'єднаннями, що дозволяють зібрати його повністю на місці в процесі монтажу в свердловині (рис. 12.19). При цьому витримують зазор (3...4 мм) між ізоляторами, виконаними у вигляді шайб товщиною 40 мм із жаростійкого матеріалу (склотекстоліт, азбошифер, кераміка), та внутрішнім діаметром труби. При великій довжині електронагрівача (10...40 м і більше) та зміні температур від 180 °С до 200 °С стрижень подовжується на кілька десятків сантиметрів, тому він разом із ізоляторами всередині електронагрівача повинен мати вільне переміщення. В окремих випадках, коли електронагрівач не опускається вниз під дією власної ваги, його стисненням повітрям дотискають домкратами. Однак цю операцію необхідно виконувати вкрай обережно, щоб уникнути втрати стійкості. Час розігріву шпонки становить 2...4 діб в залежності від температури зовнішнього повітря. Цикл робіт долив мастики-підігрів-долив проводять кілька разів.

Відновлення шпонки за допомогою електропідігріву асфальтової мастики та ущільнення її стисненням повітрям показано на рисунку 12.20. У гирлі шпонки герметично монтують металевий оголовок, який заанкерується в бетонний масив на глибину 0,8...1 м. У бітумній мастиці бурять свердловину, в яку встановлюють електронагрівач, що збирається в процесі монтажу. Прогрівають мастику, доводячи її до рідкого стану. Потім через штуцер у металевому оголовку подається стиснене повітря, і під тиском асфальтова мастика опускається, заповнюючи порожнечі. При необхідності мастику доливають. Якщо відновити шпонку не вдається, наприклад через сильне забруднення, то бурять свердловину на деякій відстані від неї, обладнають

електродами і заливають бітумною мастикою. У низці випадків використовують оглядовий колодязь.

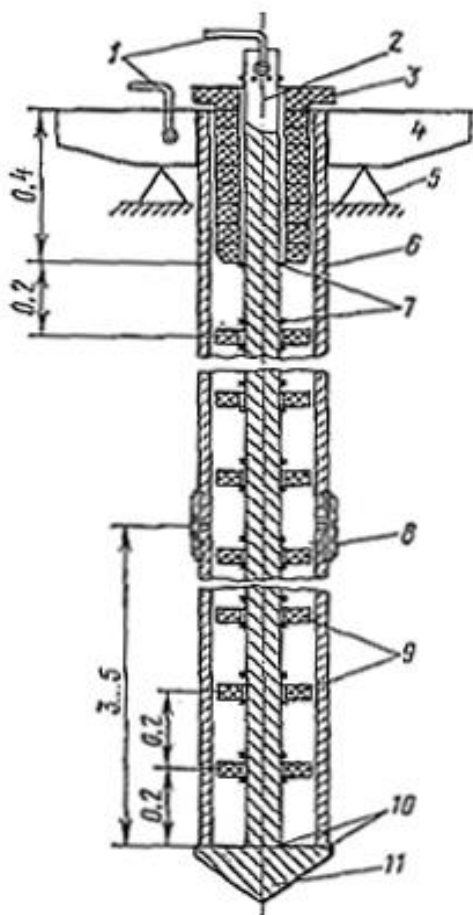


Рисунок 12.19 – Схема електронагрівача:

- 1 – електричний кабель; 2 – стрижень діаметром 20 мм; 3 – верхня ізолювальна втулка; 4 – опори; 5 – підвіска нагрівача; 6 – зовнішня труба діаметром 60 мм; 7 – точкова наплавка для кріплення ізоляторних шайб; 8 – муфта; 9 – ізоляторні шайби; 10 – зварювання; 11 – накінецьник.

Розміри в метрах

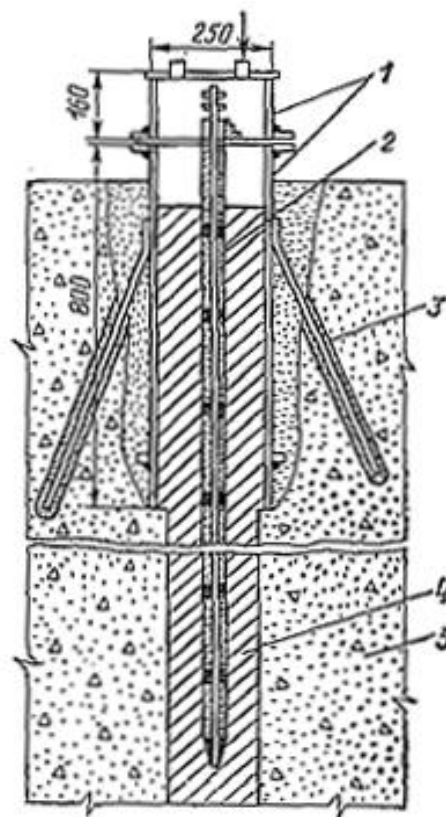


Рисунок 12.20 – Відновлення шпонки за допомогою електропідігріву асфальтової мастики та її ущільнення:

- 1 – оголовок для ущільнення шпонки стисненим повітрям; 2 – електропідігрівач; 3 – анкер; 4 – шпонка; 5 – бетон, розміри в міліметрах

При порушенні деформаційного або деформаційно-осадового шву відбувається підвищена фільтрація через ущільнення. Крім того, вода, що потрапила в шов, за негативних температур перетворюється на кригу. При цьому підвищується місцеві напруження, які можуть зруйнувати бетон. Тому шви потрібно своєчасно ремонтувати переважно одним з двох способів: ін'єкцією герметизуючих матеріалів шов або герметизацією швів обклеєними матеріалами. У низці випадків застосовують комбінований спосіб.

Ремонт пошкодженого шва здійснюють у такий спосіб. З нього видаляють засоби ущільнення, що зруйнувалися (цементний або бітумний заповнювач, мастику, гнилі дошки тощо), дрібний заповнювач, пил і бруд. За необхідності шов обробляють. Потім знімають жирові, бітумні або інші матеріали, що перешкоджають адгезії герметизуючого матеріалу з бетоном. У шов закладають нову дошку просмолену і заливають бітумну мастику. Зверху його омоноличують цементним розчином. Для цих операцій застосовують пневматичні або електричні інструменти: відбійні молотки, піскоструминні апарати, компресори, а також ручні пристрої: сталеві або волосяні щітки, зубила, ломики та інші. Закладання нових просмолених дощок і зачеканювання швів виконують молотками, кувалдами, ломиками та іншими пристроями. Потім відкриту поверхню прокладки змащують протиадгезійним складом та ін'єкують мастику в шов за допомогою пневматичних або ручних шприців, шпателями. Як ін'єкційні матеріали широко використовують тіколові та інші мастики. У низці випадків очищений і підготовлений для ремонту шов шляхом зачехування спеціальним роликком або із застосуванням металевих лопаток встановлюють прокладки з герніту, поронзолу, просмоленої мішковини тощо. Після розгладжування мастики поверхню герметика захищають від дії сонячної радіації цементним розчином або алюмінієвою фарбою. Водонепроникність шва забезпечується здатністю мастики деформуватися та виявляти адгезію до бетону.

Герметизація швів за допомогою армогерметиків обклеєного типу здійснюється шляхом адгезії герметика до бетону до його підвищених деформативних властивостей. Як армогерметик використовують, наприклад, нарізані смуги зі склополотна, покритого тіколовою мастикою. Схеми ремонту деформаційних швів та рухомих тріщин бетонних елементів гідротехнічних споруд, узагальнені ПРАТ «Укргідропроєкт», наведено на рисунку 12.21. Тріщину шириною 1...1.5 см обробляють на глибину 8...10 см завширшки 10...12 см – з розширенням її вглиб. Вибійну частину обробляють бітумною ґрунтовкою і пошарово наносять бітумне покриття товщиною 2 см. Причому останній шар бітумного захисного покриття обробляють щебенем з фракціями до 5...10 мм (рис. 12.21, а). Форму оброблення, що залишилася, разом з щебнистою поверхнею промазують цементним розчином 1 : 1, після чого заповнюють звичайним цементним розчином і встановлюють дерев'яну або еластичну прокладку для ослаблення перерізу навпроти тріщини. Розкриту арматуру добре обробляють бітумною мастикою.

Більш широкі тріщини (1,5...5 см) ремонтують, як показано рисунку 12.21, б. Кромкам швів надають округлий контур, а на зовнішній грані вздовж тріщини на відстані від неї 10...15 см пробивають канавки глибиною не менше 5 см. Далі тріщини перекривають пробкою з мастики, потім накладають та закріплюють мідну компенсаційну пластину, кінці якої заводять у канавки, що заповнюються цементним розчином. Простір усередині пластинки також заповнюють герметизуючою мастикою.

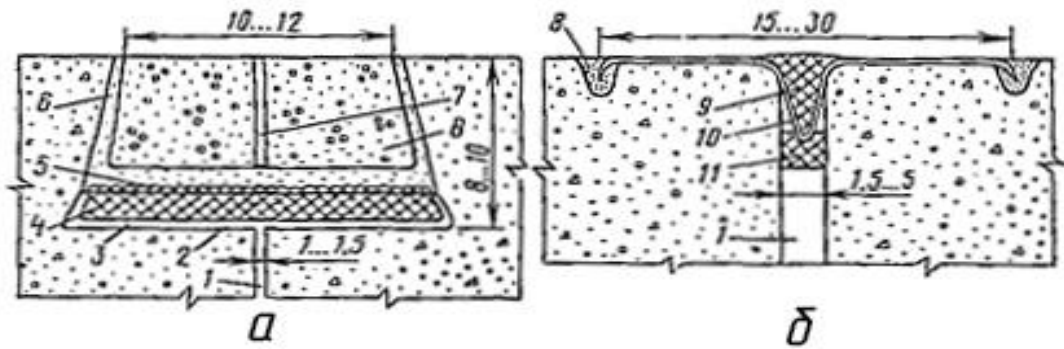


Рисунок 12.21 – Ремонт деформаційних швів і бетонних споруд:
 а – захисне покриття рухомої тріщини при сухій поверхні бетону;
 б – те ж саме без оброблення тріщини;

1 – тріщина; 2 – межа оброблення тріщини; 3 – бітумна ґрунтовка; 4 – захисне бітумне покриття; 5 – щебінь; 6 та 8 – цементний розчин, склад відповідно 1 : 1 та 2,5 : 1; 7 – дерев'яна та еластична прокладки; 9 – мастика; 10 – мідна пластина; 11 – пробка з мастики. Розміри в сантиметрах

Існують і інші способи ремонту ущільнень швів та тріщин. Наприклад, температурно-осадовий шов шлюзу Дніпровської ГЕС ремонтували шляхом прикріплення на анкерних болтах гумової прокладки, покритої металевим листом шириною близько 40 см, а в простір між прокладкою і бетонною поверхнею заливали асфальтову мастику. Пропонується закладати тріщини і шляхом притискання щита з гумовими прокладками, з штуцером або нагнітання ущільнюючого складу, наприклад полімерного клею або розчину, полімербетону та інших матеріалів.

Відновлення водонепроникності та міцності масивного бетону великих площ та об'ємів виконують такими способами: ін'єкційними (цементациєю, смолізациєю, силікатизациєю, введенням синтетичних латексів тощо), гідроізоляційними (гарячою або холодною мастикою, плівкою, полімерними матеріалами) та комбінованими.

Схеми розміщення свердловин під час ін'єкції бетону, прийняті за даними ПРАТ «Укргідропроєкт», наведено на рисунку 12.22.

При ущільненні тріщин і швів застосовують залежно від конкретних умов одно- або двосторонню схему розташування свердловин (рис. 12.22, б). Зазвичай перевагу надають двосторонній схемі. Глибину свердловин приймають: при товщині бетону 2 м і більше для першої та другої черги відповідно 1 та 0,5 м; за меншої товщині бетону – її зменшують. Свердловини розташовують під кутом 45° або 60° до поверхні поверхні. Діаметр їх приймають 32...52 мм та більше. Відстань між ними за односторонньої схеми призначають 1 м, а при двосторонній – 2 м. Суцільну ін'єкцію (рис. 12.22, а) бетону виконують на ділянках, де практично неможливо виділити окремі тріщини. У цьому випадку глибину свердловин приймають у межах 0,5...5 м і розташовують їх у шаховому порядку. Свердловини бурять колонковими чи пневмоударними верстатами. За наявності в масиві бетону окремих зосереджених виходів води свердловини мають у своєму розпорядженні групу

a – на профілі гравітаційної греблі; b – при ущільненні тріщин, що фільтрують, і швів; c – при суцільній ін’єкції поверхні бетону; z – при усуненні точкової фільтрації;

Сферу застосування ін'єкційних способів та матеріали для них обирають

у кожному конкретному випадку. Шви та тріщини з розкриттям більше 0,2 мм та питомим водопоглинанням понад 0,05 л/(хвил · м²) герметизують за допомогою цементациї, використовуючи різні цементи марок 300...600.

Смолізація полягає в нагнітанні в бетон гелеподібних розчинів, що складаються з карбамідних смол (іноді з добавками) і щавлевої кислоти. Остання має інертність по відношенню до бетону та металу. Розчин характеризується високою адгезією до сирої поверхні бетону. Смолізацію проводять при позитивній температурі бетону як самостійний спосіб при питомому водопоглинанні бетону 0,1 л/(хвил · м²), а також як додатковий після цементациї. Для ущільнення деформаційних швів, що піддаються в процесі експлуатації попереминому розкриттю та звуженню, смолізацію виконують розчином на основі смол, модифікованим латексом (смола, щавлева кислота, синтетичний латекс). Існують та інші компоненти для смолізації із застосуванням гумової або азбестової крихти та інших матеріалів.

Синтетичні латекси використовують окремо при ущільненні бетону, що слабо фільтрує, але має достатню міцність.

Силікатизацію (нагнітання рідкого скла) застосовують для ущільнення бетону з питомим водопоглинанням <0,01 л/(хвил · м²), коли в бетоні не закінчився процес гідролізу і гідратації цементу (до 3 років). Її виконують як самостійний спосіб, або як додатковий захід після цементациї. Для цього застосовують як чистий силікат натрію, так і його розчини. У низці випадків при силікатизації використовують розчин двох компонентів: силікату натрію та щавлевої кислоти, яка служить затверджувачем. Такий вид силікатизації називають дворозчинним і застосовують за питомого водопоглинання менше 0,01 л/(хвил · м²) в будь-якому віці бетону.

Гарячу асфальтову гідроізоляцію роблять при ремонті напірних поверхонь, що фільтрують, близьких до вертикальних. При цьому поверхня має бути сухою, а максимальне розкриття тріщин на ній не більш ніж 0,2 мм. Перед гідроізоляцією поверхню вирівнюють, очищають, роблять на ній насічки та ґрунтують розрідженим бітумом. Гідроізоляцію наносять у декілька (не менше трьох) шарів. Товщина одного шару для асфальтового розчину 4–7 мм, для асфальтової мастики 2–5 мм. Наступний шар наносять тільки після остигання попереднього до +5...20 °С. За умов вищої механічної міцності асфальтовий розчин краще, ніж асфальтова мастика. В асфальтовому розчині міститься 40...45 % (за масою) піску, чого немає в асфальтовій мастиці, що складається, наприклад, бітуму і порошкоподібного волокнистого наповнювача. За негативної температури перед гідроізоляцією бетонну поверхню підігрівають.

Холодну гідроізоляцію застосовують переважно для закритих приміщень, не схильних до значних температурних змін. Для підвищення тріщиностійкості її армують мішковиною або склосітками. Детально про технологію нанесення мастик, а також полімерних матеріалів для гідроізоляції написано у спеціальній літературі.

Застосовують також інші види гідроізоляції, зокрема плівкову гідроізоляцію із захистом торкретом. Роботу виконують в такий спосіб.

Очищають та вирівнюють поверхню, потім з кроком 1...2,5 м встановлюють анкери. Обклеюють місця їх встановлення поліетиленовою плівкою товщиною 0,2 мм, стабілізованою сажею, а також всю поверхню поліетиленовою плівкою на бітумі у два шари. Після цього поверхню покривають шаром бітуму завтовшки 3 мм. Температура бітуму повинна бути не вищою за 120 °С. На анкери навішують металеву сітку. По сітці проводять торкретування завтовшки 3 см. В особливо відповідальних приміщеннях та в суворих кліматичних умовах для гідроізоляції застосовують епоксидно-каучукові емалі та інші спеціальні розчини.

12.12 Проведення ремонтних робіт у нижньому б'єфі гідротехнічних споруд

Досвід експлуатації водоскидних гідротехнічних споруд свідчить про те, що найчастіше зазнають руйнування пристрої нижнього б'єфу. Правильно виявлені причини руйнування дають змогу скласти обґрунтований проєкт ремонтних робіт. Основними причинами руйнування пристроїв нижнього б'єфу є такі:

- підвищені гідродинамічні навантаження;
- неправильна експлуатація (маневрування затворами);
- попадання на водобій бетонних масивів продуктів скельних обвалів та інших великих габаритів, здатних руйнувати бетонне кріплення при тривалому обертанні в колодязі;
- неякісне виконання бетонних робіт;
- недосконалість конструкції;
- передчасний запуск споруди в експлуатацію;
- непередбачені явища тощо.

При складанні проєкту ремонтних робіт звертають особливу увагу на можливість пропуску витрат у період ремонту через інші водопропускні споруди (ГЕС, водовипуски, водоспуски, судноплавні шлюзи тощо) або через спеціальні тимчасові споруди у вигляді водоводів, обвідних каналів тощо.

Способи та період проведення ремонтних робіт визначаються конкретними умовами та наявними можливостями. Гідротехнічні споруди, що працюють тільки в повені, ремонтують у позаробочий період, коли нижній б'єф звільнений від води. Елементи споруд, які завжди знаходяться під водою, ремонтують такими способами:

- підводне бетонування з плавзасобів;
- втрамбування бетону;
- укладання бетону в мішках;
- укладання бетону за допомогою бадей;
- відсипання сортового каменю або гірської маси;
- укладання будівельних конструкцій, бетону або каменю під прикриттям перемичок з водовідливом;
- ін'єкції;
- комбіновані способи тощо.

Найбільшого поширення нині знайшло підводне бетонування. Його основою є забезпечення введення бетонної суміші, цементного розчину або цементного тіста під воду, коли вони не зазнають суттєвої зміни. Міцність бетону, що укладається під воду, призначають на 10...20 % вище за проєктну міцність у споруді. Найчастіше при цьому використовують пластифікуючі та воздуховтягуючі добавки. Бетонування проводять безперервно під систематичним контролем. Бетон укладають в опалубку, яку встановлює та знімає бригада водолазів.

Підводне бетонування виконують зазвичай способами вертикального переміщення труби (ТВП) або висхідного розчину (ВР).

Бетонування способом вертикального переміщення труби (рис. 12.23, а) ведуть при глибинах 1...50 м і товщині шару, що укладається не менш ніж 1 м. Бетонну суміш безперервно подають по трубі, опущеній через товщу води в бетонований блок. Мінімальне занурення води в бетонну суміш протягом усього часу бетонування має бути 0,8 м при глибині до 10 м, 1,2 м при глибині 10...20 м та 1,5 м при глибині понад 20 м. У міру підйому рівня бетонної суміші в блоці трубу також піднімають. Її діаметр приймають 200...300 мм. На початку бетонування заповнюють бункер при закритому клапані (пробці). Потім зрізають трос, що утримує пробку, або висмикують клапан, щоб труба рівномірно заповнювалася бетоном (без повітряних пробок), поступово витісняючи воду. Для того, щоб жорстка бетонна суміш добре просувалася по трубці, до неї кріплять вібратор, у цьому випадку мінімальне заглиблення труб можна зменшити на 30...35 %.

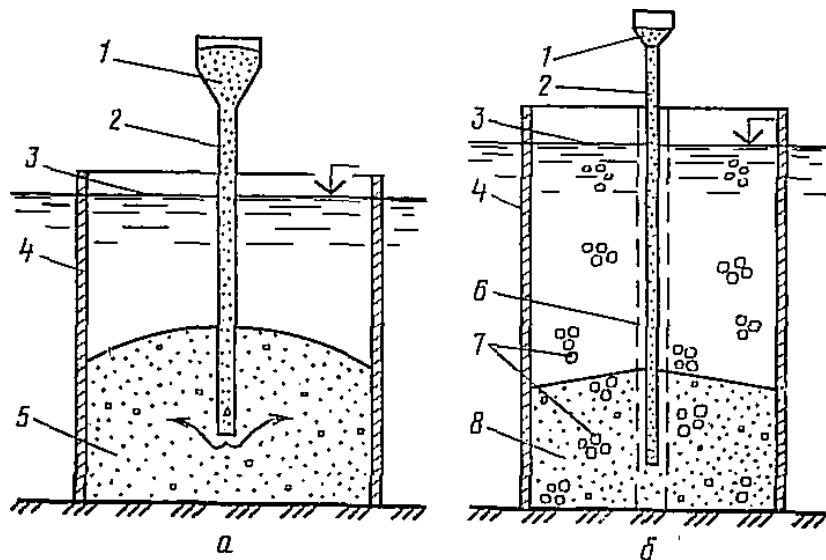


Рисунок 12.23 – Схеми підводного бетонування:

а і б – способами ТВП та ВР; 1 – бункер; 2 – труба; 3 – вода; 4 – опалубка; 5 – бетон; 6 – шахта, огорожена арматурною сіткою; 7 – камінь або щебінь; 8 – простір, заповнений розчином

Спосіб висхідного розчину відносять до роздільного бетонування в два етапи: укладання великого заповнювача (камінь, щебінь) і подача цементного

розчину по трубах діаметром 50...200 мм, встановленим на відстані 2...2,5 м одна від іншої в спеціальні шахти, огорожені арматурною решіткою (рис. 12.23, б). Розчин. Що витікає з труби, витісняє воду і піднімається вгору. У невисоких блоках (до 2 м) іноді застосовують нерухомі труби, які залишаються в споруді. У високих блоках труби поступово піднімають так, щоб їх заглиблення в розчин було не менш ніж 0,8 м. За глибини бетонування до 20 м як заповнювач використовують крупне каміння, за більшої глибини (50 м) – щебінь. Цей спосіб використовують за міцності підводних частин споруд 10...15 МПа.

Спосіб втрамбування здійснюють рідко, тільки за неармованого бетонування укосів на глибинах до 1,5 м. На відстані 25...30 см від укосу бетонованого блоку висипають жорсткий бетон, який втрамбують в раніше покладений бетон, але який ще не схопився. Таким чином, укос бетонованого блоку переміщається від берега до раніше встановленої опалубки.

Спосіб укладання бетону в мішках застосовують в аварійних ситуаціях при влаштуванні тимчасових підводних споруд, загортання великих промійн. Роботу виконують водолази зазвичай вручну. Мішки, виготовлені з водонепроникної міцної тканини, місткістю 20...30 л заповнюють приблизно на 2/3 бетонною сумішшю і транспортують до місця укладання. Водолаз укладає їх із перев'язкою швів. Для забезпечення щільного укладання мішків незначне їх число виготовляють невеликою місткістю (2...7 л). З метою взаємного зчеплення суміжних рядів укладені мішки прошивають загостреними металевими штирями діаметром 10...12 мм.

Спосіб укладання бетону за допомогою бадей використовують при спорудженні опускних колодязів, колон-оболонки, фундаментних плит гідротехнічних споруд, розташованих у щільних ґрунтах. Бетонну суміш подають у блок бетонування в цебрах місткістю 0,1...0,4 м³, що опускаються кранами під воду з плавзасобів або берегів. Бадді бажано заглиблювати в раніше покладений бетон на глибину 5...10 см. Недолік цього способу – можлива шаруватість бетонної кладки.

Спосіб ремонту під прикриттям перемичок з водовідливом стосовно відновлення плит водобою, рисберми та інших елементів споруд виконують у такому порядку: видаляють продукти руйнування з осушеного котловану, слабкий бетон, а також плити, що втратили стійкість, або підмиті плити, засипають гравієм або гравійно-піщаною сумішшю з ущільнювачем; укладають новий бетон у блоки.

У разі відновлення гасіїв енергії або нарощування бетонного покриття у старому бетоні бурять шпури, встановлюють анкери із заливанням їх цементним розчином або склеюванням композиціями на основі епоксидних смол.

Перемички, що огорожують котлован, розміщують з урахуванням конкретних умов та наявності будматеріалів (рис. 12.24). Найчастіше застосовують такі перемички:

- з каменю, піску з екраном;
- суглинку та іншого місцевого матеріалу;

- ряжеві (ящики без дна, заповнені каменем);
- з ряду цапів, розставлених через 1...1,5 м, обшитих шпунтовими дошками, покритих гідроізоляцією та завантаженим каменем.

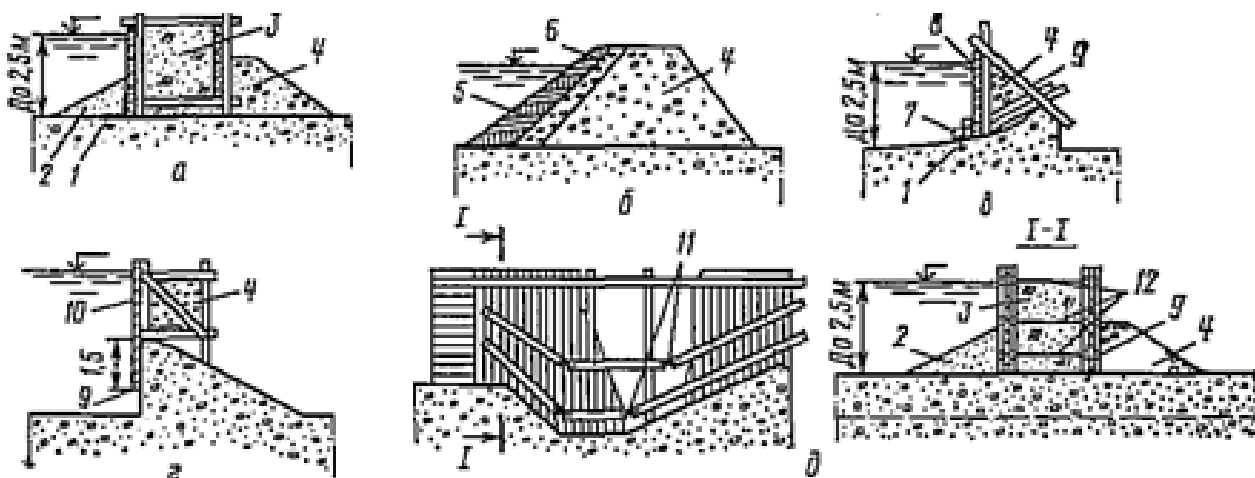


Рисунок 12.24 – Типи перемичок для ремонту підводних бетонних конструкцій:

- а* – ряжева з привантаженням ґрунтовим матеріалом; *б* – кам'яна з екраном;
в – козлова з дощатою обіймою та брезентом; *г* – з дерев'яного каркаса, укріпленого на розрізній водобійній стінці; *д* – що перетинає бетонну траншею:
1 – брезентове ущільнення; 2 – піщане відсипання; 3 – піщано-глинистий ґрунт;
4 – камінь; 5 – екран з глинистого ґрунту; 6 – гравій; 7 – мішки з ґрунтом;
8 – просмолений дерев'яний шпунт; 9 – козли; 10 – прокладка з просмоленої повсті; 11 – з'єднання каркаса в «прясло»; 12 – сталеві стяжки

Як екран може слугувати брезент або поліетиленова плівка, привантажена мішками з піском. Водовідлив часто здійснюють шляхом відкачування води з влаштованих зумпфів (приямків) насосними станціями або голкофільтрами або комбінованим способом.

Ремонт вертикальних елементів підводних споруд при глибинах до 15 м виконують за допомогою плавучих затворів округлої або прямокутної форми, що занурюють або піднімають на поверхню за допомогою баластових камер, заповнених відповідно водою або повітрям. Обшивку затворів виготовляють дерев'яною чи металевою. Встановивши затвор у призначене місце, його прикріплюють до грані греблі анкерними болтами та ущільнюють за допомогою дерев'яних брусів, конопаткою, грубим полотном тощо. Після відкачування води приступають до ремонту пошкодженої поверхні.

В окремих випадках виправдовує себе спосіб ремонту підводних бетонних елементів гідротехнічних споруд із застосуванням плавучого відкритого кесону, що є металевою скринькою без дна і кришки. Розмір сторін кесон може досягати декількох метрів. Нижня частина кесону повинна мати ущільнення і повністю відповідати поверхні ділянки, що ремонтується, наприклад водозливу, флютбету тощо. Занутивши кесон за допомогою

плавучих засобів і ущільнивши його, відкачують воду і проводять локальний ремонт споруди.

Заслугує на увагу досвід заповнення порожнин, що утворилися у основі плит водобою на Цимлянській ГЕС. У плитах водобою пробурили свердловини, які опустили виготовлені шляхом склеювання гравійно-піщаного матеріалу палі. У водному середовищі клей розчинився, і цей матеріал заповнив порожнини, що утворилися під водобійною плитою.

12.13 Особливості ремонту тунельних та трубчастих споруд

Основними причинами пошкодження тунельних споруд є низька якість проєктів та недостатній рівень виробництва підземних робіт.

Перша причина викликає: розкриття швів у облицюваннях (на 10...50 мм) через неправильно вибрані розрахункові схеми; появу великих тріщин у облицюваннях тунелів довжиною до 40 м через недоурахування нерівномірності гірського тиску, прогноз якого на стадії проєктування був скрутний; неприпустиме стирання облицювань наносами (до 30...70 см) через неякісний прогноз зносу та низьку міцність бетону.

Друга призводить до такого: пошкодження бетонного облицювання (каверни, вимини, ями, нориці, раковини тощо глибиною до 60 см і більше і завдовжки кілька метрів); неусунення джерел фільтрації з тунелю на період його експлуатації (через неліквідовані цементаційні свердловини, незароблені вертикальні шви між блоками бетонування вздовж тунелю, необроблені поверхні робочих швів тощо); дефектам, викликаним порушенням технологічних процесів (незароблені порожнечі за облицюванням, значний розрив у часі проведення заповнювальної цементації після виконання бетонних робіт, а також усадкові явища як у бетоні облицювання, так і в цементно-тампонажному розчині, передчасний пуск в експлуатацію до набору необхідної міцності бетону).

Тріщини, що з'явилися в бетонному облицюванні, ремонтують із застосуванням безусадкового або ін'єкційного складу, що розширюється. При цьому виконують такі основні операції: підготовку тріщини, нанесення захисного шару і ін'єкція. Перша полягає в обробці тріщини на 10...15 см за шириною і 5...10 см за глибиною, продування, просушування і промивання ацетоном або іншим розчином, що його замінює. Потім в неї на глибину 2...3 см вставляють штуцера діаметром 2...3 см і довжиною 5...10 см. Під час другої операції ґрунтують епоксидним клеєм тріщину і прилеглі до неї ділянки, наносять захисний шар 0,2...0,5 м з полімерного розчину на свіжооґрунтовану (кілька липку) поверхню. Перед третьою операцією тріщини продувають через штуцери під тиском 0,5...1 МПа, що дозволяє очистити їх від механічних забруднень і промивають ацетоном. Ін'єктування проводять за допомогою механізованих пристроїв або вручну за допомогою шприца. Спочатку ін'єктують нижню зону, потім поступово піднімаються нагору. Після закінчення робіт штуцери виймають з тріщин, а решту заглиблення закладають

епоксидним клеєм або полімерним розчином. При низьких температурах для прискорення процесу полімеризації ремонтвані ділянки підігрівають.

Для замолоджування водопроникних швів, тріщин та інших нещільностей застосовують також пластобетон, склопластобетон або армопластобетон на основі синтетичних смол, які є доволі міцними, довговічними, деформативними при розтягуванні та зсуві, адгезійними та водонепроникними. У процесі ремонту осадкові шви та тріщини в залізобетонному облицюванні обробляють по периметру тунелю під кутом 15...30° до оголення найближчих стрижнів арматури. З метою скорочення можливих зрушень суміжних секцій тунелю арматуру з'єднують короткими стрижнями на зварюванні. На оброблену поверхню наносять спочатку епоксидний шар ґрунтовки товщиною 1...1,5 мм, потім перехідний шар товщиною 10 мм з еластичного пластобетону. Остаточне загортання виконують основним складом армопластобетону і обробляють ґрунтовним складом.

Для протифільтраційного захисту облицювань без обмеження по напорі, тобто при роботі гідроізоляції на «притиск», і при напорах до 40 м в умовах роботи на «відрив», а також при значній механічній, гідродинамічній або абразивній дії застосовують штукатурну гідроізоляцію колоїдним цементним розчином (суміш портландцента, будівельного піску, природного матеріалу – маршиту та води). Перед нанесенням штукатурки поверхню бетону ретельно очищають металевими щітками, піскоструминним агрегатом, промивають та продувають для зняття зайвої води. При нанесенні штукатурки, що працює на відрив, на поверхні бетону необхідна насічка. Слабкий бетон та нерівності зрубують.

Облицювання, що мають тріщини, сколи, каверни, вимоїни, раковини тощо, з сильною фільтрацією ремонтують одним із таких способів:

- облицьовують металом товщиною 8...12 мм (за розрахунком), при цьому затрубний простір заповнюють за допомогою розчинонасоса; при великому обсязі пропонується прокладати в тунелі рейки і по них подавати секції металевих облицювань до місця встановлення;

- відновлюють активованим торкретом товщиною 3...4 см по арматурній сітці, виготовленій із дроту діаметром 2,5...5 мм із кроком 10 см × 10 см;

- при значних ушкодженнях застосовують залізоторкрет завтовшки 5...6 см по сітці з арматури діаметром 10 мм із кроком 10 см × 10 см. Якість торкрету перевіряють через 15...20 діб шляхом простукування молотком.

Виявлені порожнечі за облицюванням терміново усувають, оскільки після цього значно покращуються статичні умови його роботи та зменшується фільтрація води з тунелю. Для нагнітання за облицювання використовують дешевший розчин. Таким розчином може бути цементно-зольний, що має у своєму складі дуже дрібні золи – виробничі відходи теплових електростанцій і дозволяє заощадити 30...50 % цементу (зола, як і цемент, виконує роль в'язучого). Застосовують також глиноцементні розчини, близькі за параметрами піщано-цементних. У низці випадків глини простіше добувати і витрати на їхнє транспортування є більш низькими. Для підвищення міцності

глиноцементних розчинів іноді використовують розчин сірчистого натру в кількості 2 % по масі. За облицювання тунелів нагнітають також глинопіщано-цементні розчини. Однак у низці випадків додавання глинистих частинок у розчини має обґрунтовуватись лабораторними дослідженнями.

У необлицьованих тунелях основним їх ушкодженням є утворення вивалів порід. Наприклад, в напірному тунелі Кемано-Кітімат (Канада) (рис. 12.25) перерізом 7,5 м × 7,5 м, що працює під тиском 0,23...0,41 МПа, стався вивал скелі і утворилася каверна довжиною вздовж тунелю 20...21 м і шириною від 7 м (на рівні підлоги) обсягом 3,9 тис. м³. Осип (обрушена порода) засипала тунель і нижню частину каверни, висота якої становить 63 м.



Рисунок 12.25 – Вивал у стіні тунелю

Ремонт виконували в такий спосіб. Осип усередині каверни спланували скрепером із підсипкою гравію. На цю основу за допомогою бетононасоса уклали 800 м³ м'якопластичного бетону, який утворив у каверні вище за тунель захисне склепіння завтовшки 2...3 м. Під прикриттям цього склепіння з тунелю забрали осип. Змонтували жорсткий арматурний каркас та влаштували облицювання. Новий переріз тунелю (5,7 м × 7,25 м) виявився меншим від попереднього. Виконане облицювання разом із склепінням було розраховано на динамічне навантаження, що викликається падінням скельних блоків масою 20 т з висоти 30 м.

При порівняно незначних вивалах влаштовують локальне залізобетонне, бетонне або металеве облицювання.

Ремонт напірного тунелю Тазан (Швеція) після вивалу об'ємом 3 000 м³ шаруватих порушених гнейсів виконували шляхом горизонтального забиття шпунта Ларсена, на якому в міру проходки монтували сталеві кріпильні рами. Стіни кріпили залізничними рейками, простір між якими бетонували із

застосуванням арматури. Поперечний переріз відремонтованої ділянки у найвужчому місці зменшився майже вдвічі і склав 8,2 м².

Капітальний ремонт невеликих водопропускних труб (водовипусків), трубчастих перепадів, переїздів, споруд, що сполучають, тощо, включає відновлення окремих дефектів ділянок труб або їхнє перекладання заново. Найчастіше це – зруйновані оголовки з перекошеними або секціями, що просіли, розстроєні шви і місця, де є вимитий ґрунт із затрубного простору, велика кількість тріщин. Необхідність проведення капітального ремонту та обсяг його робіт визначають у кожному конкретному випадку на основі докладного обстеження споруд з урахуванням терміну служби та перспектив використання споруди. Труби омоноличують так само, як і тунелі. При невеликій висоті насипу враховують її навантаження як повну вагу стовпа ґрунту над трубою і частину тиску від транспорту, що рухається по насипу. За умовами бетонування мінімальну товщину стінки труби приймають 15 см. У низці випадків проводять гільзування труб з використанням круглих гільз (металеві труби меншого діаметра) та заповнення міжтрубного простору бетонною сумішшю. Однак при цьому необхідно перевіряти пропускну здатність труб. Бетонування міжтрубного простору здійснюють при гільзах завдовжки понад 3...5 м. При влаштуванні гільзи зі збірних труб важливо якісно законопатити шви між ланками труб.

12.14 Особливості ремонту гідротехнічних споруд гідромеліоративних систем

Під час експлуатації споруд гідромеліоративних систем виникають такі ушкодження: тріщини, раковини, вибоїни, відколи кутів та граней, лущення поверхні; вихід з ладу швів та порушення гідроізоляції; руйнування окремих блоків, плит кріплення; втрата стійкості блоків та плит; вихід із ладу мостів; порушення нормальної роботи гідромеханічного обладнання; утворення воронки місцевого розмиву, промоїн; відкладення в б'єфах наносів та заростання рослинністю; поява фільтрації під спорудами, в обхід їх або через ґрунтові греблі та греблі; порушення облицювань, покриттів тощо.

Ремонт сколів та вибоїн виконують різними способами залежно від того, де сталося руйнування (на горизонтальній або вертикальній поверхні).

При утворенні сколу на межі шва плити, що лежить на горизонтальній поверхні, ремонт виконують у такій послідовності: очищають від пилу, бруду, жирних плям поверхню сколу; промивають або продувають стисненим повітрям; у місці шву встановлюють дошку, обгорнуту поліетиленовою плівкою; готують розчин або бетон з дрібним заповнювачем класу не нижче класу бетону, що ремонтується; заповнюють простір сколу ремонтною сумішшю, яку ущільнюють вібраторами, металевими трамбуваннями, штикуванням тощо. При цьому звертають увагу на те, щоб вібратор не торкався старого бетону. Після затвердіння бетону зі шва виймають дошку та плівку. Шов крупним планом герметизуючим матеріалом.

На вертикальних гранях відколи ремонтують у різний спосіб. Незначні відколи на поверхні бетону або залізобетону затирають розчином. Глибокі усувають шляхом встановлення на них опалубки з двома штуцерами. У нижній штуцер розчин нагнітають до виходу його через верхній. Для усунення відколів вертикальних кутів встановлюють опалубку у вигляді притискної плити. Простір, що утворився, заливають бетоном, попередньо підготувавши ремонтуються поверхню, а потім вібрують суміш. Цю ділянку закривають плівкою або іншим матеріалом, що захищає свіжий бетон від атмосферних впливів (сонце, дощ, сніг із дощем).

Шви збірних і монолітних бетонних і залізобетонних облицювань каналів герметизують за допомогою полімерної мастики, по цементному розчину або пороіолової прокладки, армогерметики, бітумно-полімерної мастики, за допомогою гумової шпонки, поліетиленової прокладки тощо. На рисунку 12.26 показані лише деякі варіанти герметизації швів облицювань каналів. Можливі й інші технічні рішення, зокрема їх комбінації. Ущільнення, що забезпечують великі переміщення плит щодо одна до одної і мають компенсаційні провіси армогерметики, частіше застосовують на просадних і набухають ґрунтах (рис. 12.26, в, г, д, е, м, н, о, п).

Ремонт швів виконують в такий спосіб. Зі шва видаляють продукти старого ущільнення (мастику, гнилі дошки, цементний розчин тощо) і очищають його від пилу та бруду. Встановлюють герметизуючі засоби. Шов заливають мастикою, розчином, який потім розгладжують, а надлишки знімають.

Інші типи швів ремонтують з урахуванням рекомендацій, викладених у 12.11.

Конструктивні блоки гідротехнічних споруд гідромеліоративної системи, що зазнали значних руйнувань, замінюють збірними, збірно-монолітними елементами або бетонують нові монолітні блоки замість зруйнованих. Перший спосіб менш трудомісткий і дозволяє експлуатувати споруду безпосередньо після ремонту. Однак не завжди, у наявності є необхідні блоки. Тому, якщо неможливо реалізувати перший спосіб, використовують другий або третій спосіб.

Пошкоджені конструктивні блоки замінюють в такий спосіб. Їх звільняють від ґрунту та від'єднують від інших блоків. За допомогою крану достають блок цілком або частинами, попередньо зруйнувавши його на шматки. Ремонтують основу, далі монтують новий блок та закладають шви.

При заміні блоків прагнуть забезпечити міцність секцій. На просадних і пучинистих ґрунтах необхідно застосовувати такі збірні елементи, які після монтажу представляють просторово-жорсткі секції.

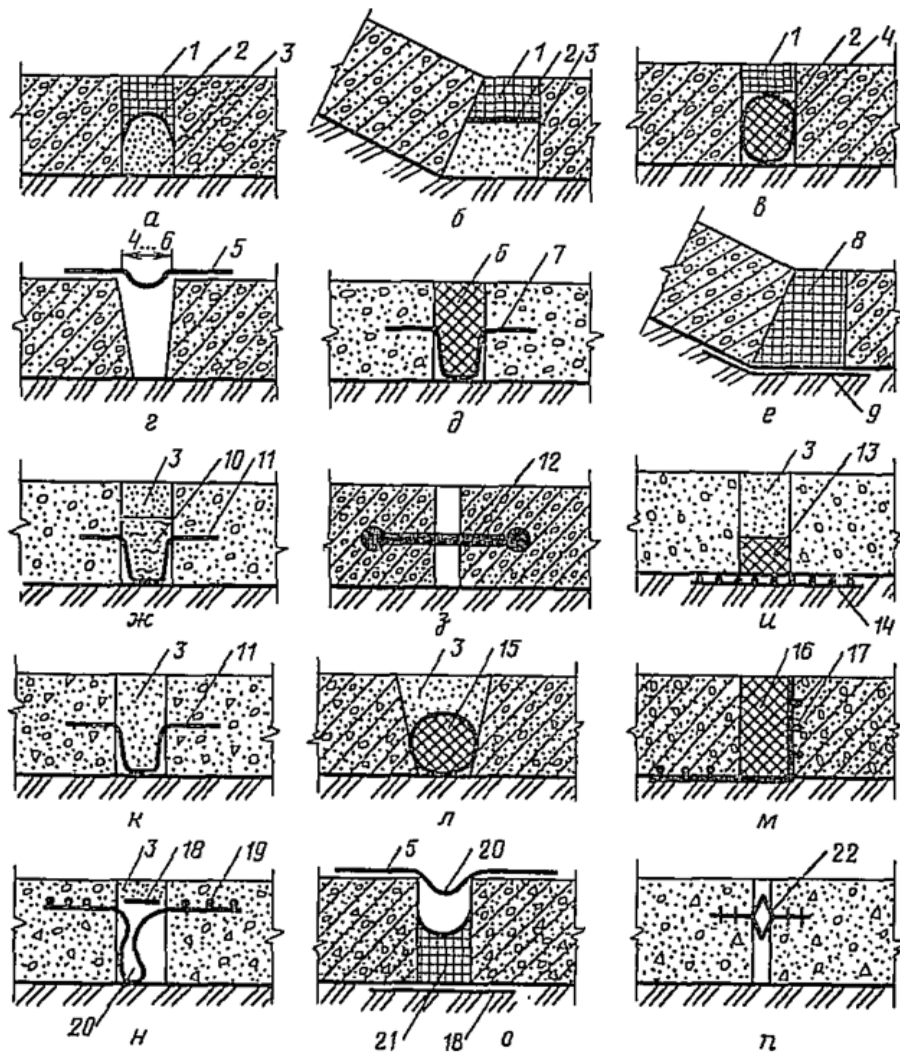


Рисунок 12.26 – Герметизація швів облицювань каналів:

a і *б* – полімерною мастикою по цементному розчину; *в* – полімерною мастикою по пороізовій прокладці; *г* – армогерметиком; *д* – армогерметиком з холодним асфальтовим розчином; *е* – бітумно-полімерною мастикою по пороізовій прокладці; *ж* – поліетиленовою плівкою; *з* – гумовою шпонкою; *и* – бітумною мастикою по мішковині; *к* – поліетиленовою плівкою і цементним розчином або дошкою (не показано); *л* – гнучким рукавом, заповненим еластичною композицією; *м* – гнучкою кутко-подібною смугою з анкерними ребрами; *н*, *о*, *п* – зі збільшеним компенсаційним пристроєм; 1 – полімерна мастика; 2 – протиадгезійний шар у вигляді прокладки; 3 – цементний розчин; 4 – пороізова прокладка; 5 – армогерметик, приклеєний завтовшки 0,5 см; 6 – холодний асфальтовий розчин; 7 – склополотно, покрите бітумною мастикою; 8 – бітумнополімерна мастика; 9 – прокладка з протиадгезійним шаром; 10 – шлаковата; 11 – поліетиленова плівка; 12 – профільна гумова смуга; 13 – бітумна мастика; 14 – мішковина; 15 – гнучкий рукав, заповнений еластичною композицією; 16 – пластичний матеріал; 17 – еластична смуга з анкерними ребрами; 18 – прокладка; 19 – профільований поліетилен; 20 – компенсаційний провис; 21 – приклеєний мастичний герметик; 22 – профільна еластична прокладка типу «констоп»

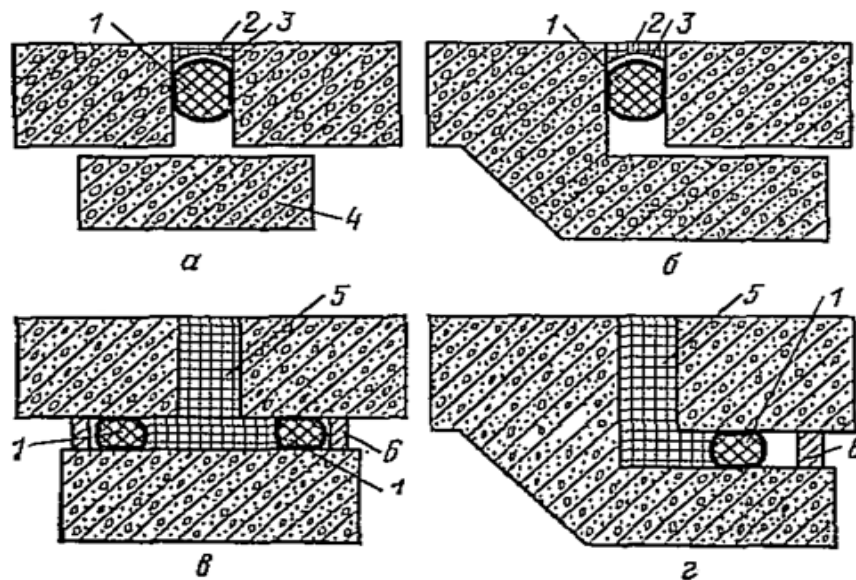


Рисунок 12.27 – Герметизація швів лотків-каналів:

- а, б* – пороізовою прокладкою та полімерною мастикою;
в, г – пороізовою прокладкою та бітумно-полімерною мастикою;
 1 – поропзол; 2 – полімерна мастика; 3 – протиадгезійний шар;
 4 – опорна плита або сідло стійки; 5 – бітумно-полімерна мастика;
 6 – обмежувальна прокладка з дерева

Номенклатура збірних елементів має відповідати уніфікованій номенклатурі залізобетонних конструкцій, що застосовуються для водогосподарського будівництва. При цьому якщо виявиться, що причиною руйнування з'явилися неприпустимі деформації, то ґрунти можуть бути замінені на більш якісні (пісок, гравійно-піщані ґрунти та інші). Зворотнє засипання здійснюють ґрунтами з оптимальною вологістю та обов'язковим ущільненням.

Лотки-канали, які зазвичай мають довжину 6...8 м і глибину 40...120 см, ремонтують у такий спосіб. За допомогою крану знімають пошкоджену конструкцію, торці суміжних лотків очищають від засобів ущільнення. Встановлюють нову секцію лотка, нівелюють, розкріплюють дерев'яними клинами. Прикріплюють герметизуючі елементи в шов, забезпечуючи герметизацію. Якщо лоток-канал зруйнувався через осідання або через вихід з ладу фундаменту або стійки, то ці елементи монтують шляхом заміни або встановлення їх в проєктне положення. Лотки, встановлені безпосередньо на ґрунтову основу, ремонтують шляхом виправлення або заміни опорних плит, секцій лотків, ущільнень тощо. На пучинистих ґрунтах фундаменти опор заглиблюють на 0,5...1 м нижче за глибину промерзання.

При відновленні герметичності стиків лотків-каналів найбільшого поширення набули ущільнення швів пороізовими прокладками та полімерною або бітумно-полімерною мастикою (рис. 12.27), залежно від конструкції торцевих частин лотка. Джгути пороізолу виготовляють круглого, трикутного або прямокутного поперечного перерізу. При укладанні на них

секцій джгути обтискаються не більше ніж на 50 % товщини шляхом встановлення обмежувачів вставок. Після цього порожнину стику заливають мастикою. Ширину шву приймають щонайменше 20 мм.

Якість ремонту істотно залежить від ретельності підготовки бетонної поверхні перед встановленням ущільнювачів. З цією метою з неї видаляють напливи розчину, змитають щітками пил, дрібне сміття і продувають поверхню стисненим повітрям. Жирні плями з бетоном видаляють тампоном, змоченим бензином або ацетоном.

12.15 Реконструкція ґрунтових гребель

Відмітку гребня ґрунтової греблі підвищують найчастіше без випорожнення водосховища або з частковим випорожненням. Гребель нарощують зазвичай з низового укосу. У тому випадку, коли кріплення верхового укосу, укладене до реконструкції греблі, виконує свої функції після реконструкції, водосховище можна не спорожнити.

Гребінь однорідної греблі з глинистих ґрунтів підвищують шляхом влаштування знову відсипаної частини греблі з ґрунтовим екраном. Причому останню можна відсипати із ґрунту, наприклад, з великим коефіцієнтом фільтрації. У цьому випадку дренаж старої греблі бажано використовувати після реконструкції.

Греблі, що мають протифільтраційні пристрої у вигляді екрану або ядра з місцевих матеріалів, нарощують шляхом пристрою додаткового екрану, ядра, буронабивних стінок, шпунта, екрану із застосуванням поліетиленової плівки або їх комбінації. Якщо екрани і діафрагми виконані з неґрунтових матеріалів, їх зазвичай нарощують із застосуванням асфальтобетону, залізобетону, поліетиленової плівки тощо. Греблі з вказаним верховим укосом нарощують шляхом зниження рівня води у водосховищі до позначки мертвого об'єму, відсипання ґрунту на низовому та верховому укосах та влаштуванням кріплення останнього. Якщо реконструйована гребля має низовий укос, то верховий укіс відсипають в продовження наявного, а низовий влаштовують більш крутим. Однорідні греблі з піщаних ґрунтів, дренаж яких не може бути використаний надалі, нарощують з низового укосу з влаштуванням нового дренажу.

При незначних нарощуваннях греблі (кілька метрів) можна робити на гребні бетонну стінку, що розширюється донизу, або парапет. Можлива комбінація парапету чи шпунта з будь-якою з розглянутих вище схем нарощування греблі.

Таким чином, з метою покращення виконання робіт нарощувати ґрунтові греблі бажано з боку низового укосу. При цьому верховий укіс по можливості приймають крутішим. Поверхня контакту влаштовують у вигляді уступів зі зняттям рослинного шару, щоб забезпечити надійне сполучення новоствореного матеріалу з тілом греблі першої черги. Систему дренажу наскільки можна залишають без зміни, забезпечуючи відведення вод нижній

б'єф. Осідання греблі, особливо надбудованої частини, не повинне порушувати протифільтраційні елементи з надійно виконаними контактами. Варіант, що реконструюється, повинен бути економічним і надійним.

Прикладом реконструкції гідровузла з ґрунтовою греблею може бути нарощування водонапірного фронту Чорноріченського водосховища (Севастопіль, АР Крим) (рис. 12.28), виконане в 1983 р.



Рисунок 12.28 – Чорноріченське водосховище (Севастопіль, АР Крим)
(https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A7%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%BE%D1%80%D1%96%D1%87%D0%B5%D0%BD%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B5_%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D1%81%D1%85%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%89%D0%B5)

Реконструкція проведена з метою збільшення обсягу водосховища, що використовується для водопостачання, зрошення та усунення негативних екологічних ефектів. Нарощування максимальної висоти греблі з 28 м до 36 м дозволило збільшити обсяг водосховища більш ніж 2 рази. До реконструкції гребля із суглинистим екраном була відсипана з гравійних, щебнистих та гравійно-галечникових ґрунтів. Водоскид до реконструкції був швидкістю з підвідним каналом. У період реконструкції греблю досипали з низового боку гравійними та галечниковими ґрунтами, наростивши екран товщиною 7 м, виконаний із суглинків, глин із галькою, гравієм та деревом. При цьому зверталася особлива увага на забезпечення якісного з'єднання старої та нової частин екрану. Така велика товщина екрану прийнята виходячи з наявності поблизу необхідного ґрунту в кар'єрах (рис. 12.29). Щоб уникнути підвищеної фільтрації у зв'язку із збільшенням напору в основі греблі на довжині 276 м у лівого схилу долини передбачена однорядна цементаційна завіса глибиною 30...35 м. Біля підніжжя низового укосу влаштований дренажний матрац з дренажною призмою з кам'яного накидання. Низовий укіс закріплений шляхом посіву багаторічних трав. Напірна гребля нарощування являла собою греблю з центральною маловодопроникною призмою та протифільтраційним зубом. При цьому гребінь старої греблі перетворили на берму. Кріплення верхового укосу нарощеної греблі виконали монолітними залізобетонними плитами. У місці сполучення відсипаної частини греблі з існуючої зняли рослинний шар на 0,5 м

і видалили дренаж. Нарощуванню екрана передувало зняття верхового шару на 1 м.

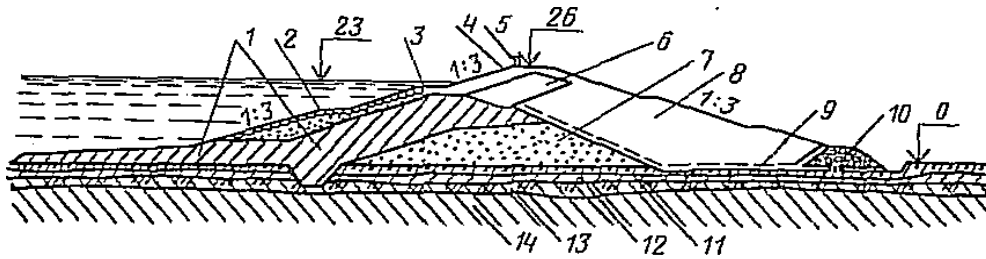


Рисунок 12.29 – Поперечний переріз ґрунтової греблі

Чорноріченського водосховища:

1 – існуючі понур та екран; 2 – одиночне кам'яне мощення; 3 – гребінь існуючої греблі; 4 – монолітні залізобетонні плити; 5 – парапет; 6 – нарощений екран; 7 – тіло існуючої греблі; 8 – тіло нарощеної греблі; 9 – дренажний матрац; 10 – дренажна призма з кам'яного накидання; 11 – суглинки та глини зі щебенем та галькою; 12 – гравійно-галечникові ґрунти; 13 – тріщинувата аргілітоподібна глина; 14 – аргілітоподібна глина

У головній частині швидкотоку зведена водозливна гребля заввишки 7,7 м (рис. 12.30). Реконструйовано вхідну частину водозабору.

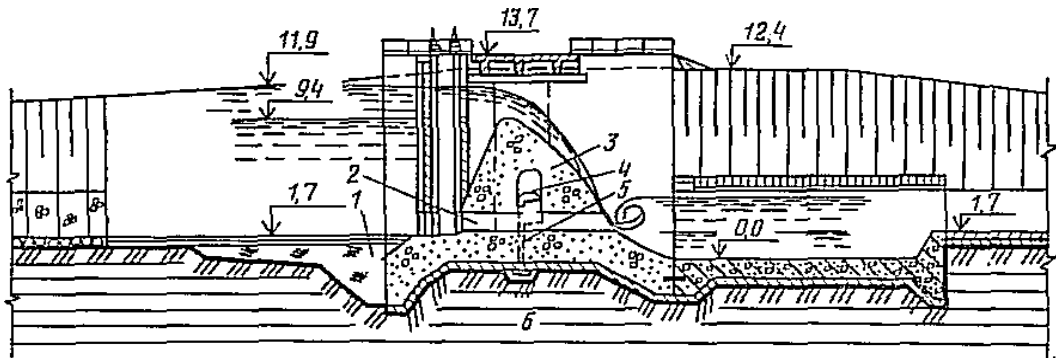


Рисунок 12.30 – Поперечний переріз водозливної греблі, влаштованої в головній частині швидкотоку:

1 – понур; 2 – донний водовипуск; 3 – водозлив; 4 – оглядова галерея; 5 – п'єзометр; 6 – аргілітоподібні глини

Під час реконструкції Чорноріченського гідровузла тривала його експлуатація. Це викликало низку ускладнень. Зокрема, зуб глибиною 6 м, влаштований на напірній греблі, можна було виконувати лише невеликими ділянками (по 50 м), оскільки мав місце інтенсивний приплив фільтраційних вод: паводок пропускали через існуючий водоскид і бетонну греблю з донним водовипуском, що будується в його голові. Невеликі витрати пропускали через резервний трубопровід водозабору.

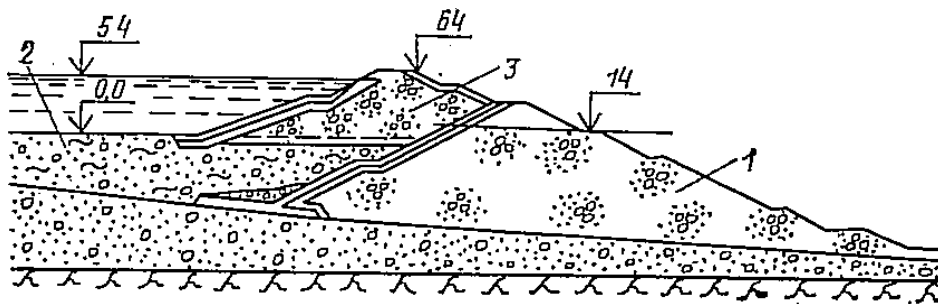


Рисунок 12.31 – Схема наросування тіла земляної греблі в урочищі Медео (Казахстан, Алмати):

1 і 3 – тіло старої та нової греблі; 2 – сільові відкладення у водосховищі

На рисунку 12.31 наведено розріз кам'яно-накидної греблі в урочищі Медео (Казахстан, Алмати), що було реконструйовано у зв'язку з тим, що катастрофічний сіль, який зійшов у 1973 р. майже повністю заповнив наносами селесховище, призначене для цієї мети.

12.16 Реконструкція бетонних гребель

Реконструкцію глухих бетонних гребель переважно проводять з метою підвищення позначки гребня, омонолічування бетонної кладки, підвищення стійкості греблі, усунення підвищеної фільтрації та інших причин. Нарощування бетонних гребель виконують шляхом реконструкції гребня, розширення греблі у бік нижнього, верхнього б'єфу або в обидві сторони, влаштування контрфорсів, бетонного привантаження (Фархадська гребля) (рис. 12.32). Роботи з реконструкції виконують при повному або частковому спорожненні або без спорожнення водосховища.



Рисунок 12.32 – Фархадська ГЕС (Узбекистан – Таджикистан)
(<https://old.asiaplustj.info/news/tajikistan/politics/20180425/shukurdzhon-zuhurov-farhadskaya-ges-strategicheski-vazhna-i-dlya-tadzhikistana-i-uzbekistana>)

Якщо гребля має достатній запас стійкості та міцності, то її нарощують у верхній частині, забезпечуючи надійний контакт між старою та новою кладкою. Як приклад – гребля Сторфоссдаммен (Норвегія) (рис. 12.33).



Рисунок 12.33 – Гребля Сторфоссдаммен (Норвегія)
(https://ru.freepik.com/premium-photo/closeup-shot-storfossdammen-water-dam-norway_40054636.htm)

При недостатній міцності та стійкості збільшують гребінь і заанкерюють греблю в основу. Можливі випадки, коли нарощену частину прианкерюють до старої греблі. При значному підвищенні греблі або низькому запасі стійкості та міцності нарощування виконують з низової грані та гребня, зберігаючи вертикальність напірної грані, або шляхом влаштування консолі, розташованої у верхньому б'єфі. Здійснення робіт на низовому укосі та гребні греблі дозволяє експлуатувати споруду без зниження рівня води. Профіль реконструйованої греблі може бути прийнятий обтисненням в результаті анкерування її до основи. Якщо водосховище можна випорожнити, то греблю збільшують з боку нижнього і верхнього б'єфів. Поширення профілю бетонної греблі у бік верхнього б'єфу знижує водопроникність старої греблі. При розширенні греблі з низового боку будівельні шви наскільки можна орієнтують по траєкторії головних напружень. Дуже економічно влаштовувати вертикальну або похилу залізобетонну стінку, що підтримується контрфорсами з низового боку. В окремих випадках, коли бетон має незадовільний стан, а в основі – міцна скеля, з боку верхнього б'єфу влаштовують похилу залізобетонну стінку, з одним або декількома розкосами. На рисунку 12.33 наведено схему реконструкції греблі Сторфоссдаммен (Норвегія), виконаної таким чином. У цьому випадку зазвичай в основі залізобетонної стінки

передбачають надійну цементаційну завісу. Розглянута схема дозволяє значною мірою звільнитися від зайвого фільтраційного та гідростатичного тиску, що діє на бетонну греблю.

Якщо гребля стає нестійкою після нарощування гребеня, то, щоб знизити напруження, що розтягує на верховій грані, з боку нижнього б'єфу відсипають ґрунт, який виконує роль привантаження.

Розглянуті схеми нарощування гребель можна застосовувати також у комбінації. При цьому в ряді випадків виправдовує себе анкерування греблі з основою. Прикладом може бути гребля Гауден в Англії, зусилля в анкерах якої становили 1 400 т і більше.

У вітчизняній практиці є приклади відновлення гребель, зруйнованих під час Другої світової війни. На Дніпровському гідровузлі (Дніпрогес) у період відновлення греблі було збільшено напір на 1 м, що дозволило отримати додаткову потужність 100 тис. кВт. На рисунку 12.34 наведено приклад реконструкції лівобережних водозливних секцій греблі Дніпрогес із встановленою потужністю 828 тис. кВт.

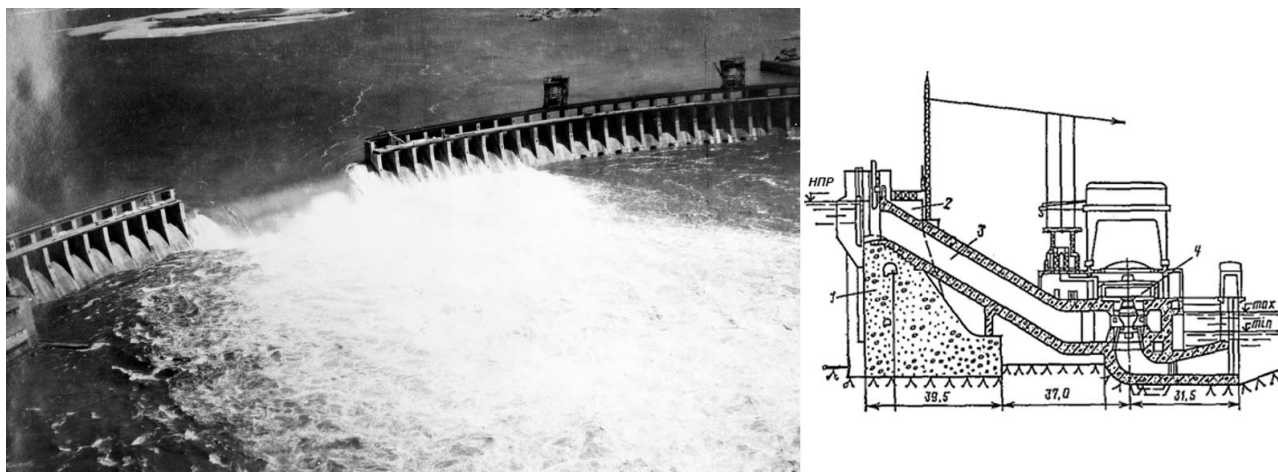


Рисунок 12.34 – Дніпровська ГЕС (Запоріжжя, Україна)

Контрфорсні греблі збільшують тими самими методами, що і гравітаційні, але при цьому враховується специфіка, обумовлена особливостями конструкції. Греблі з масивними оголовками нарощують шляхом реконструкції гребеня та заповнення бетоном простору між контрфорсами (рис. 12.35, а). Розрахунки показують, що стійкість греблі забезпечується зі збільшенням її початкової висоти на 15...25 %. Такий спосіб застосовували на греблі Бургомілодо (Італія). Іноді контрфорсні греблі нарощують шляхом подовження контрфорсів та підвищення позначки гребеня (рис. 12.35, б, в, г). При цьому товщують контрфорси, напірні перекриття старої греблі (плити, арки або оголовки) або омонолічують простору між здвоєними контрфорсами, а також влаштовують додаткові ребра жорсткості. Без спорожнення водосховища контрфорсні греблі нарощують також шляхом реконструкції гребеня та відсипання ґрунтової призми з боку нижнього б'єфу

(рис. 12.35, д, е).

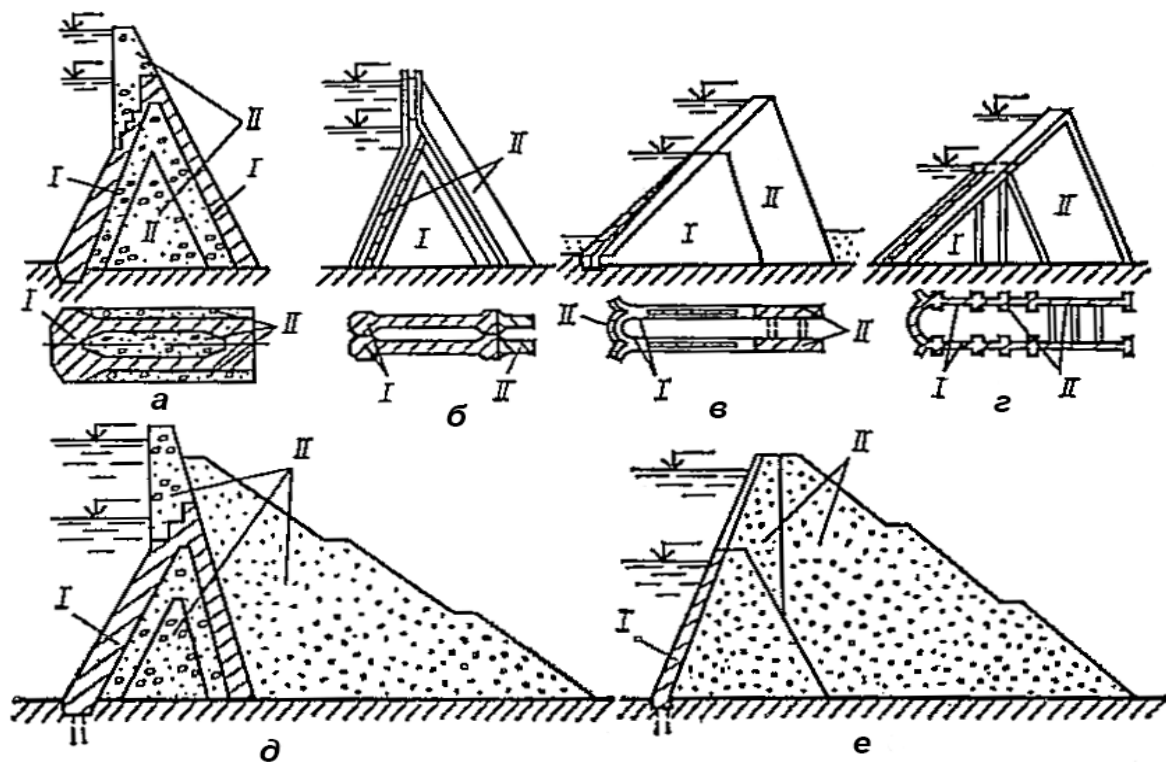


Рисунок 12.35 – Схеми нарощування конрфорсних гребель:
I – стара гребля; II – конструкції, що посилюють греблю

На рисунку 12.36 наведено приклад реконструкції водоскидної греблі Поссум-Кінгдом (США), внаслідок чого позначку НПУ підвищили на 3 м та поміняли дахові затвори на сегментні.

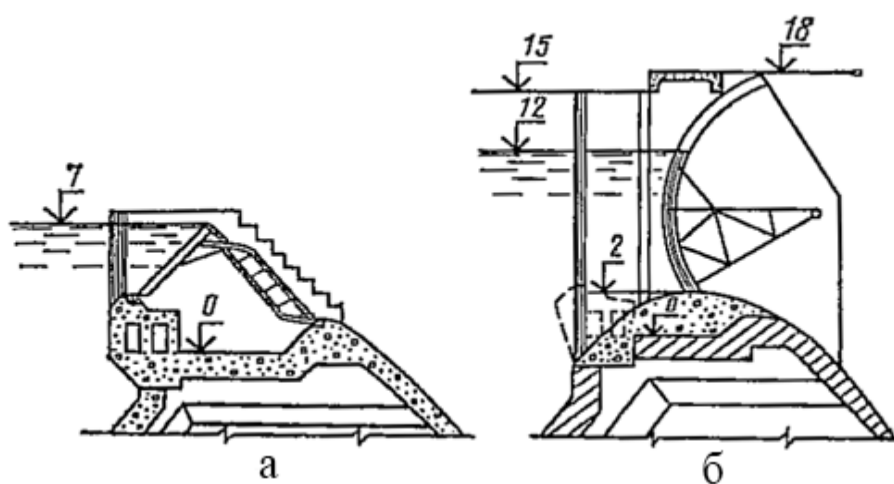


Рисунок 12.36 – Схема реконструкції греблі Поссум-Кінгдом (США):
а і б – гребінь і затвори до та після реконструкції

Аркові греблі реконструюють найчастіше для того, щоб підвищити напір або омонолити бетон. При цьому буває необхідно збільшити товщину арки раніше виконаної греблі. При нарощуванні зводять нову аркову греблю, що примикає впритул до існуючої арки з боку нижнього або верхнього б'єфу (рис. 12.37, а, б). Однак необхідно мати на увазі, що через складне врізання арки в каньйон без спорожнення водосховища розташовувати її з боку нижнього б'єфу небажано, оскільки опори старої арки можуть послабитись і гребля зруйнується. Внаслідок усадкових явищ бетон арки, розташованої з боку нижнього б'єфу, може відокремитися від старого бетону і тим самим викликати локальне навантаження старої та нової арок. Нарощувати аркову греблю можна по черзі з подальшим посиленням з боку низової грані (рис. 12.37, в). Є пропозиції щодо посилення аркових гребель шляхом нарощування їх висоти та влаштування з боку нижнього б'єфу ребер жорсткості у вертикальній та горизонтальній площині.

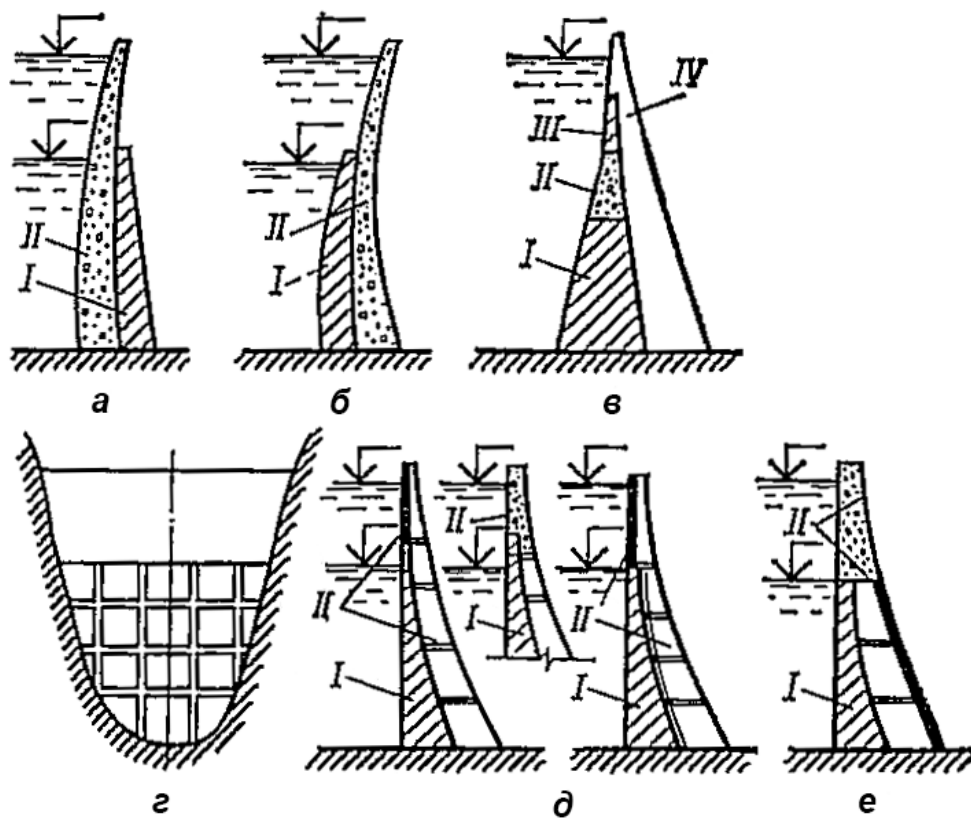


Рисунок 12.37 – Схеми реконструкції аркових гребель:
I – стара гребля; II, III, IV – черги нарощування греблі

Наскрізна арково-консольна решітка може бути посилена суцільною залізобетонною купольною або циліндричною оболонкою, влаштованою з боку нижнього б'єфу (рис. 12.37, г, д). Причому конструкція арки буде більш жорсткою, якщо суцільну оболонку розмістити, як показано на рисунку 12.37, е.

12.17 Особливості реконструкції водоскидів, водозаборів, відстійників, магістральних каналів

Збільшення пропускної спроможності водоскидних споруд є доволі складне в технологічному відношенні завдання. Найчастіше це завдання вирішують шляхом підвищення напору на водоскидній споруді. Однак іноді зрубують бетон на верхній частині водозливу або роблять додаткове водоскидання відкритого або закритого типу. Влаштовувати додаткові водоскидні отвори, що примикають до існуючих, зазвичай небажано, тому що при цьому виникає ряд технологічних і конструктивних складнощів (опорожнення водосховища, складність сполучення з існуючою бетонною спорудою і т. д.). На рисунку 12.38 подана одна з можливих схем пропускної здатності водоскиду шляхом підняття натиску на споруді, надання водозливу більш обтічної форми з підвищеним коефіцієнтом витрати та одночасною заміною робочого затвору.

На Костянтинівській греблі у зв'язку з уточненням у процесі експлуатації гідрологічних даних виникла можливість підвищити позначки НПУ на 2 м з умови пропуску літньо-осінньої катастрофічної повені. Для цього потрібно реконструювати унікальний сегментний затвор водоскиду. Наростити затвор зверху не вдалося, оскільки його нижні металоконструкції не були здатні сприйняти збільшене гідростатичне навантаження. Вирішили виготовити додатковий зварний сегментний затвор і встановити його на поріг водозливу під існуючий затвор (рис. 12.38). Додатковий та існуючий затвори жорстко з'єднали між собою болтами по обшивці та поперечними діафрагмами на зварюванні. Опорний шарнір додаткового затвору розмістили на ногах затвору. Ущільнення між секціями забезпечувалося за допомогою труб, обмотаних повстю і брезентом.



Рисунок 12.38 – Костянтинівська гребля:

1 – підкісне ремонтне загородження; 2 – естакада з візком; 3 – реконструйований підйомний механізм сегментного затвору; 4 – існуючий сегментний затвор; 5 – опорний шарнір додаткового затвору; 6 – монтажна естакада для складання додаткового затвору; 7 – додатковий затвор

Збільшити пропускну здатність низьконапірних водозабірних споруд можна також шляхом підвищення напору на гідровузлі, будівництва нових бетонних секцій водоприймачу, з відповідними затворами, нарощування висоти затворів або за допомогою реконструкції забірної балки.

Якщо перераховані вище заходи виявляться занадто дорогими, то розглядають варіант влаштування додаткового водоприймачу водозабірної споруди. У низці випадків доцільно розміщувати водозливний лоток уперек потоку (на биках), який з'єднується з магістральним каналом у вигляді відкритої або закритої споруди. Питання підвищення пропускну здатність водозбору вирішується у кожному конкретному випадку виходячі з техніко-економічних умов.

Відстійники реконструюють у разі збільшення пропускну спроможності каналів, що подають воду на деривацію, зрошення земель або обводнення. Спочатку розглядають можливість використання існуючого відстійника під час пропуску підвищеної витрати води. Відстійник з періодичним, механічним або комбінованим очищенням завжди має резервний обсяг, в якому наноси акумулюються в період між промиваннями. Після промивання відстійник працює при розрахунковій витраті зі зниженим рівнем води в камері, прийнятому з умови забезпечення мутності, що допускається, на виході в канал, що захищається від наносів. Тому, підвищуючи рівень води у відстійнику, можна пропускати більшу, в порівнянні з розрахунковою, витрату. Однак у цьому випадку скорочують інтервал між промивками. Такий захід має експлуатаційний характер, але він може бути реалізований у багатьох випадках. Якщо експлуатаційними заходами не вдається вирішити питання підвищення пропускну спроможності відстійника, то збільшують кількість камер, їх ширину або довжину. В окремих випадках вигідно влаштувати додатковий відстійник, з'єднавши його з водоприймачем та магістральним каналом. В умовах підняття позначки НПР у верхньому б'єфі водозабірної вузла стає виправданим нарощування стінок камери відстійника, з метою збільшення їх обсягу та, як наслідок, підвищення пропускну здатності.

Реконструкцію каналів виконують по-різному, залежно від їх призначення, умов трасування, наявності бетонних та залізобетонних споруд на них, можливості підвищення рівня води на водозаборі, одягу тощо. Зокрема, зрошувальний канал можна відключити у міжвегетаційний період для реконструкції окремих споруд або ділянок каналу, чого не можна допустити на каналі, що служить для водопостачання населення та промислових підприємств. Канал, що має велику протяжність у земляному руслі, можна реконструювати без припинення подачі води, збільшуючи його живий переріз за допомогою землерийних механізмів або засобами гідромеханізації.

Контрольні запитання

1. Описати технологію ремонту місцевих пошкоджень гребня та укосів ґрунтових гребель.

2. Описати технологію відновлення обрушених ґрунтових укосів.
3. Описати технологію ремонту кам'яного кріплення укосів.
4. Назвати порядок проведення робіт з ремонту укосів асфальтобетоном.
5. Описати технологію ремонту кріплень укосів під водою.
6. Описати технологію ремонту ущільнення плит, якщо основа під ними не пошкоджена.
7. Описати технологію ремонту кріплень в умовах порушення їх основи.
8. Описати способи усунення підвищеної фільтрації, що з'явилися в основі та берегових примиканнях ґрунтових гребель.
9. Описати способи ремонту протифільтраційних елементів.
10. Описати засоби та порядок виконання ін'єкції під час ремонтних робіт ґрунтових споруд.
11. Описати технологію відновлення мерзлих протифільтраційних елементів.
12. Описати випадки та технологію застосування поліетиленової плівки під час ремонту ґрунтових споруд.
13. Описати порядок виконання ремонту дренажу ґрунтової греблі.
14. Описати способи зниження кривої депресії при височуванні фільтраційних вод на низовому укосі.
15. Описати способи захисту прилеглої до гідровузла території від підтоплення.
16. Описати способи очищення трубчастого дренажу від наїлку та наносів.
17. Описати технологію ремонту раковин та каверн на бетонних поверхнях.
18. Описати технологію нанесення торкрету під час виконання ремонтних робіт.
19. Описати технологію ремонту поверхні водозливних гребель.
20. Описати технологію ремонту вертикальних бетонних поверхонь.
21. Описати технологію відновлення асфальтових шпонок.
22. Описати методи ремонту деформаційних швів.
23. Описати технологію відновлення міцності та водонепроникності бетону.
24. Описати способи ремонту споруди під водою.
25. Описати порядок виконання підводного ремонту бетонних споруд при способах висхідного розчину та вертикально-переміщеної труби.
26. Описати особливості ремонту трубчастих споруд.
27. Описати способи ремонту облицювання тунелів.
28. Описати особливості ремонту гідротехнічних споруд гідромеліоративних систем.
29. Описати особливості реконструкції ґрунтових гребель.
30. Описати особливості реконструкції бетонних гребель.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Пальченко О. Л. Основи гідротехніки та гідроенергетики. Тексти лекцій / О. Л. Пальченко. – Харків : ХНУБА, 2022. – 105 с.
2. Гідроенергетика та навколишнє середовище / За заг. ред. Ю. Ландау, Л. Сіренко : монографія. – Київ : Лібра, 2004. – 484 с.
3. Самойленко Є. Г. Основи проектування гідроенергетичних вузлів : підручник / Є. Г. Самойленко. – Запоріжжя, ЗДІА, 2011. – 388 с.
4. Розрахунок та проектування проточної частини реактивних гідротурбін на основі чисельного моделювання робочого процесу : навч. посіб. / В. В. Барліт, К. А. Миронов, О. В. Власенко, Л. К. Яковлєва. – Харків : НТУ «ХП», 2008. – 216 с.

Електронне навчальне видання

ПАЛЬЧЕНКО Олег Леонідович

ВІДНОВЛЕННЯ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

*(для здобувачів першого (бакалаврського)
рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання
зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія)*

Відповідальний за випуск *В. А. Александрович*
Редактор *О. В. Михаленко*
Комп'ютерне верстання *О. Л. Пальченко, Т. П. Воробйова*

План 2026, поз. 6Л

Підп. до друку 06.04.2026. Формат 60 × 84/16.
Ум. друк. арк. 11,5.

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Чорноглазівська, 17, Харків, 61002.
Електронна адреса: office@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 8386 від 14.07.2025.