

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

О. Л. Пальченко

ОСНОВИ ГІДРОТЕХНІЧНОГО БУДІВНИЦТВА

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

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

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2024

УДК 626/627

Пальченко О. Л. Основи гідротехнічного будівництва : конспект лекцій для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання зі спеціальності 194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології / О. Л. Пальченко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024. – 146 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 02.02.2024

Конспект складений з метою допомогти студентам будівельних спеціальностей вишів під час підготовки до занять, заліків та іспитів з дисципліни «Основи гідротехнічного будівництва».

© О. Л. Пальченко, 2024

© ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1 ХАРАКТЕРИСТИКА ГІДРОТЕХНІЧНОЇ СПЕЦІАЛЬНОСТІ	5
1.1 Загальні положення	5
1.2 Профіль гідротехнічної спеціальності	6
2 ВОДНІ РЕСУРСИ ТА ЇХ ВИКОРИСТАННЯ	12
2.1 Водні ресурси	12
2.2 Розподіл водних ресурсів	15
3 ЕТАПИ ГІДРОТЕХНІЧНОГО БУДІВНИЦТВА	17
3.1 Гідротехнічне будівництво у стародавні часи	17
3.2 Сучасне гідротехнічне будівництво	17
4 ВОДНІ ОБ'ЄКТИ, ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА ОХОРОНА	21
4.1 Водні об'єкти і процеси, що в них протікають	21
5 ВОДНЕ ГОСПОДАРСТВО	33
5.1 Основні складові водного господарства	33
6 ОХОРОНА ВОДНИХ РЕСУРСІВ	37
6.1 Раціональне використання природних ресурсів	37
6.2 Наслідки створення гідротехнічних об'єктів	42
7 РІЧКОВІ ГІДРОТЕХНІЧНІ СПОРУДИ. ГІДРОВУЗЛИ	44
7.1 Призначення гідротехнічних споруд	44
7.2 Гідровузли комплексного призначення	51
8 ГРЕБЛІ	53
8.1 Загальні вимоги	53
8.2 Греблі з ґрунтових матеріалів	56
8.3 Греблі зі штучних матеріалів	58
8.4 Водоскидні греблі	62
8.5 Берегові водоскиди	64
8.6 Затвори та підйомники	67
8.7 Водоприймачі	69
8.8 Водоводи	77
8.9 Водосховища	87
8.10 Рибопропускні споруди	90
9 ГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ	95
9.1 Водна енергія і схеми її використання	95
9.2 Гідроелектростанції	101
10 ІНЖЕНЕРНІ МЕЛІОРАЦІЇ ТА ВОДОПОСТАЧАННЯ	123
10.1 Інженерні меліорації сільськогосподарських земель	123
10.2 Осушення і захист територій	127
10.3 Боротьба з зсувами та захист берегів	131
11 ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА ВОДОВІДВЕДЕННЯ	135
11.1 Водопостачання	135
11.2 Водовідведення (каналізація).....	138
11.3 Водопостачання промислових підприємств та електростанцій ...	139
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ	145

ВСТУП

Програму вивчення варіативної навчальної дисципліни «Основи гідротехнічного будівництва» складено відповідно до освітньої професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти зі спеціальності 194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології.

Дисципліна «Основи гідротехнічного будівництва» відноситься до циклу обов'язкових дисциплін професійної підготовки.

Метою викладання навчальної дисципліни «Основи гідротехнічного будівництва» 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 проектуватися стосовно місцевих умов для досягнення максимального економічного ефекту. Такий підхід приносить тут більше користі, ніж проектування типових гідротехнічних споруд. До індивідуального проектування розумно звертатися, маючи на увазі значні розміри, велику трудомісткість та високу вартість таких споруд, тривалість їхнього будівництва. У ряді областей 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 проектувати і будувати воістину 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 їх використання, освоювати та вдосконалювати цю галузь будівельного мистецтва (рис. 1).



Рисунок 1 – Гребля Гувера, Гранд Каньйон, Аризона, США

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. 2).



Рисунок 2 – Гребля Дворжак, США

Провідну роль грають гідротехніки у проектуванні вузлів гідротехнічних споруд галузевого чи комплексного призначення, хоч і не обходиться без участі електриків, машинобудівників, корабелів, агрономів, архітекторів, економістів та інших фахівців. Проектування 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 проектне рішення. Надалі проект деталізується за вибраним варіантом, компонування 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 впоєднуються в реальні споруди, обладнання та технологічні процеси всі елементи розробленого проекту (рис. 3).



Рисунок 3 – Дністровська ГАЕС, р. Дністер, Україна

Основний вид роботи гідротехніків – це будівництво. Хоч би яку діяльність обрав гідротехнік, для успіху його роботи необхідно мати будівельний досвід. Особливо це важливо для проектувальників. 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 намівання різних ґрунтів у споруди, проходка тунелів, бетонні та залізобетонні роботи на землі та підземні, буріння свердловин та нагнітання розчинів у основу споруд (зокрема, цементация) 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 перемичок – 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. Слід пам'ятати, що аварія на гідротехнічних спорудах, особливо на напірних, таких як греблі, шлюзи, гідроелектростанції, може мати катастрофічні наслідки, включаючи загибель людей (рис. 4).

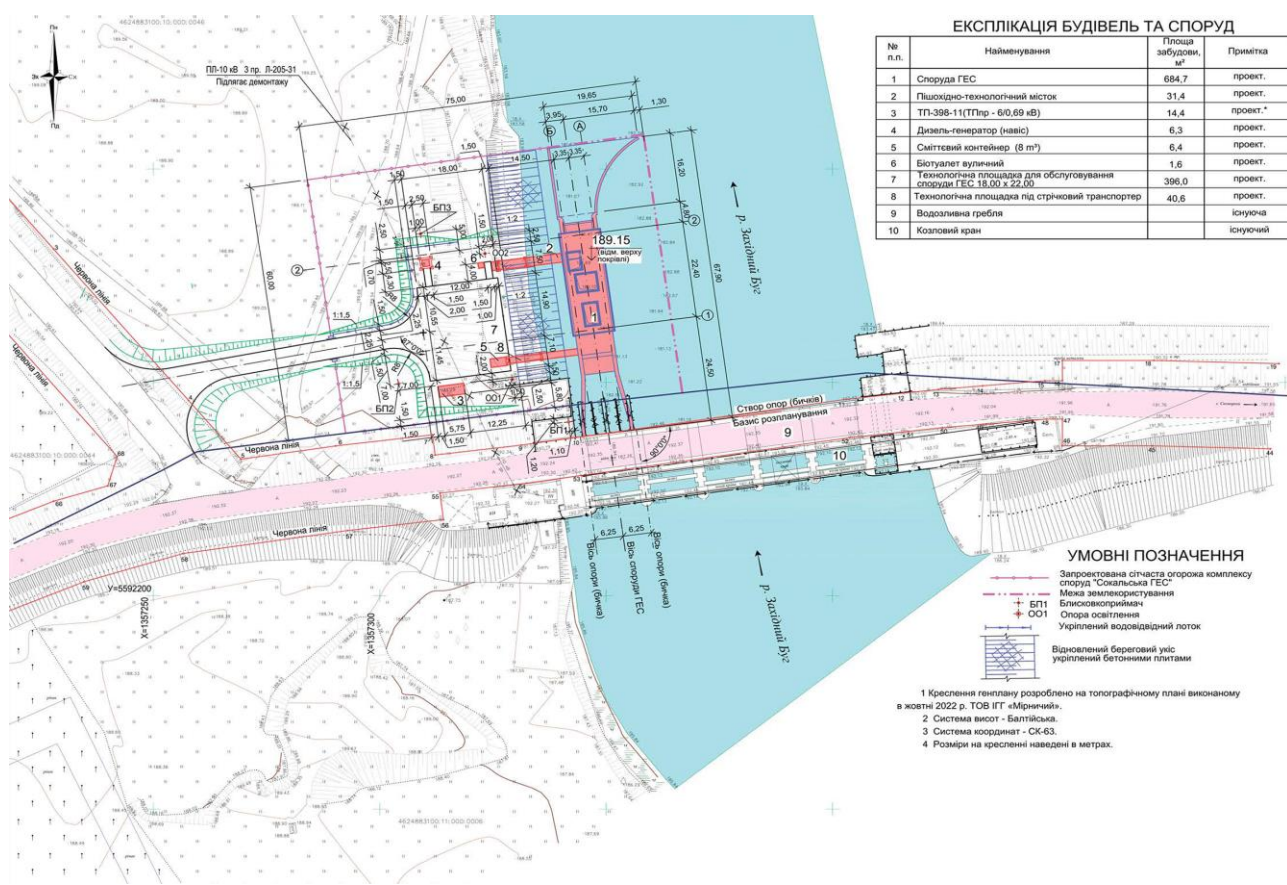


Рисунок 4 – Сокальська ГЕС на річці Південний Буг, Україна

Не останнє місце займають у гідротехніці наукові дослідження, тематика яких є досить 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. Так, 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 проект, створюють нові методи розрахунку, надійно підтвержені 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. 5).



Рисунок 5 – ВІМ модель Дніпровської ГЕС, Україна

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 проектах із спеціальних дисциплін та дипломного проекту. 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 питання

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 ЇХ 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 1400–1500 млн км³, в основному 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 1200 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 6 – Печенізьке водосховище. Гребля. Харківська обл., Україна

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 за рахунок потенційної 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. 7). 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 7 – Канівський шлюз на річці Дніпро, Україна

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 треба 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.

Так, 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. 8).

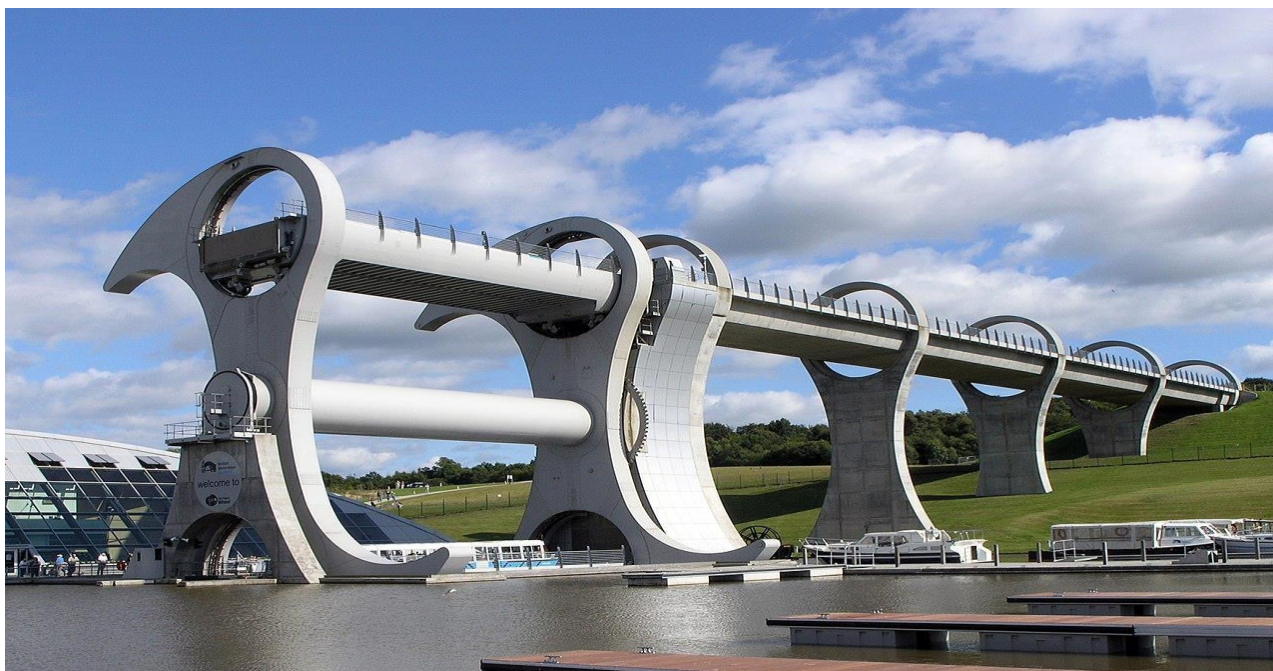


Рисунок 8 – Суднопідйомник Фолкирське колесо, Шотландія

З точки зору енергетики нерівномірне електричне навантаження («піки» добового графіку навантаження) необхідно покласти 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. 9), куди вода надходить від гідроелектростанції нерівномірно, а випускається постійним обсягом в одиницю часу, тому інтереси інших водокористувачів і споживачів не порушуються.

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



Рисунок 9 – Водосховище Мозенбоден, Австрія

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 недоспоживання, 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 слід 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, у тому числі культурних посівів та посадок, що слід 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 дана схема періодично уточнюється та переробляється.

Контрольні питання

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 багатководних 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 касаду, 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. 10), Південно-Український та Північно-Кримський (з Дніпра).



Рисунок 10 – Ділянка каналу Дніпро – Донбас, Харківська обл., Україна

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 гідроакумулюючі електростанції, що працюють поперемінно в режимі ГЕС та насосної станції, з метою підвищення ефективності роботи всіх електростанцій єдиної енергетичної системи України. Не слід забувати також про енергетичні ресурси малих річок. Продовжуються дослідження доцільності проектування і будівництва в Україні припливних гідроелектростанцій (ПЕС).

В даний час 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, вводячі в експлуатацію додатковий земельний фонд за рахунок зрошування, осушування та обводнення територій.

Не менш багаті перспективи водно-транспортного будівництва на усіх великих річках України, будівництво річкових та морських портів (рис. 11), введення в експлуатацію морських промислів на континентальному шельфі тощо.



Рисунок 11 – Порт «Південний», Одеська обл., Україна

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 дозволяють залучити до господарського використання найбагатші природні ресурси даних районів (рис. 12).

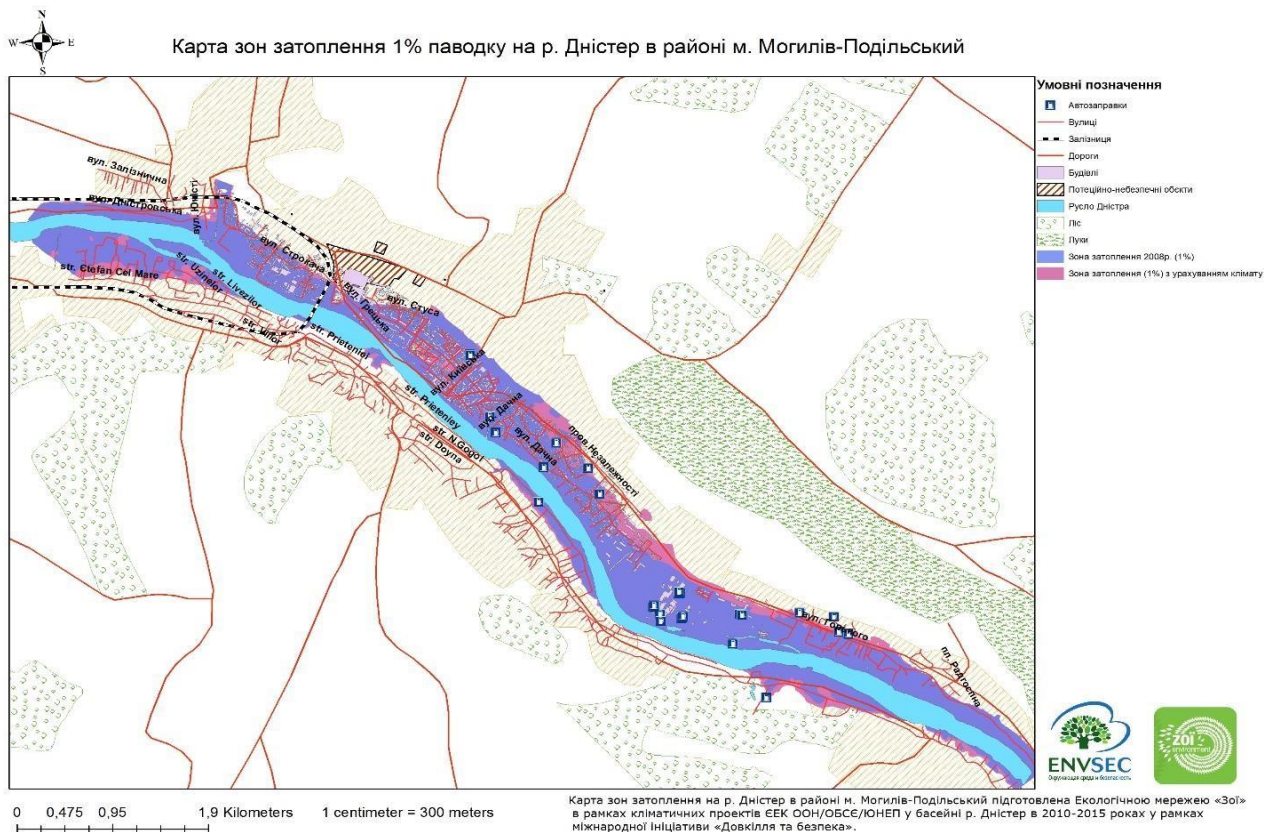


Рисунок 12 – Карта зон затоплення на р. Дністер, Україна

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, ЇХ 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 в основному 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 розрізнити три види кругообігу води на Землі: *загальна* – для всієї земної кулі, *океанічна* і *внутрішньоматерикова* (рис. 13). 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 13 – Внутрішньоматериковий кругообіг води:
 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, в основному 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. 14). *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. 15).

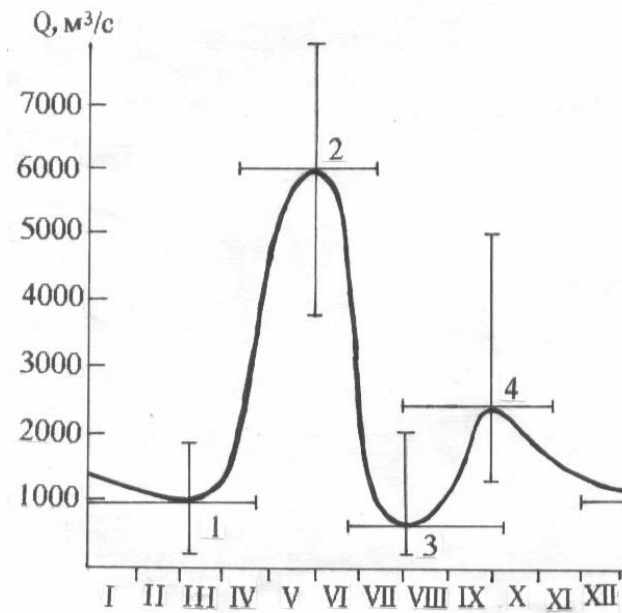


Рисунок 14 – Типовий гідрограф річки із східно-європейським типом водного режиму:
1 – зимова межень; 2 – весняна повінь; 3 – літня межень;
4 – літньо-осінній паводок



Рисунок 15 – Повінь у Саксонії, Німеччина

На рівнинних річках України повінь формується завдяки *сніготаненню* (весняне поводдя), на гірських річках завдяки танення снігу та льодовиків

(літня повінь), у мусонних зонах – через випадання літніх зatoryжних дощів. Короткочасне, в порівнянні з повінню, 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.16). Під час межені стік річки формується за рахунок ґрунтових вод та незначних опадів. 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 у сфері поширення *вічної мерзлоти*.



Рисунок 16 – Межень на р. Ельба біля м. Дрездена (червень 2005), Німеччина

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. 17). 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 17 – Зажор льоду на річці

Навесні з настанням позитивних температур сніг тане, витрата води в річці збільшується, рівні підвищуються, лід зламуються 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 *селями* (рис. 18). Селі 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 18 – Селевий потік

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 переكاتів; 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 за рахунок 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 *сейши*. *Сейша* – це коливання всієї маси води озера, спричинене різницею атмосферних тисків у протилежних його берегів (рис. 19).



Рисунок 19 – Сейша

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 квадратурні припливи, при цьому має місце найменша величина припливу.

З усіх переміщень води, що зачіпають водні маси Океану, припливні течії є найсильнішими та найнебезпечнішими. Морські течії (рис. 20), 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.

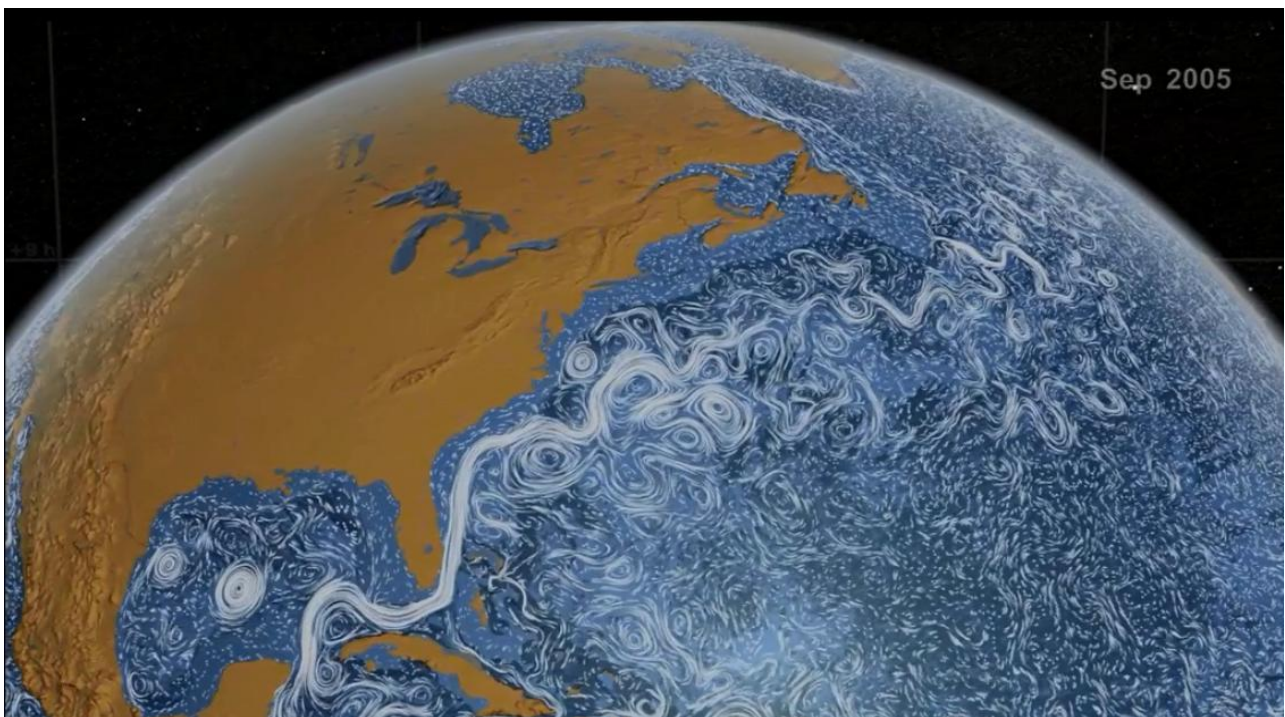


Рисунок 20 – Схема океанічних течій, створена фахівцями НАСА на основі знімків із космосу

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 *зіббю*. В результаті складання вимушених хвиль і зибі, що прийшла із сусідніх районів моря, утворюються *змішані хвилі* (рис. 21). 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 *товчея*. 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 21 – «Квадратні» хвилі

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 проектування. Самі споруди можуть сприяти утворенню торосів, що посилює льодові на них впливи.



Рисунок 22 – Руйнування берегового укосу Кременчуцького водосховища

Абразійний вплив – руйнування берега (рис. 22) 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. 23). В залежності від напрямку руху щодо берегової лінії, розрізняють поперечне і поздовжнє переміщення наносів. Найчастіше ці переміщення наносів відбуваються разом.



Рисунок 23 – Морські відкладення

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 питання

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. 24).

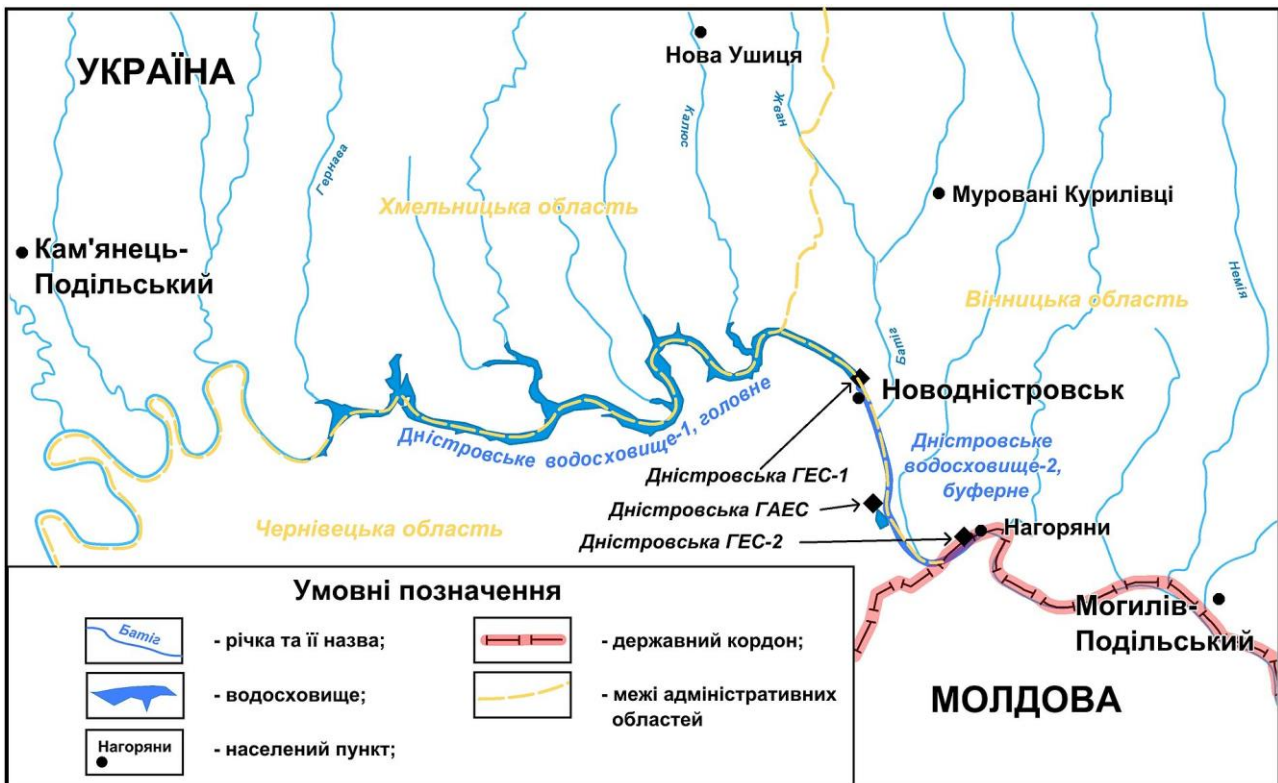


Рисунок 24 – Дністровський каскад

Потреба у воді різних галузей народного господарства є дуже нерівномірною в часі. Так, 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 25. 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 забезпечення судноплавних глибин протягом навігаційного періоду.

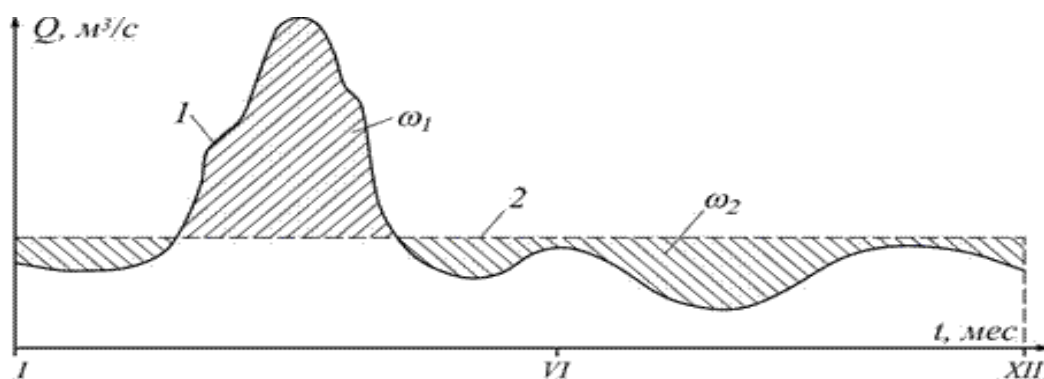


Рисунок 25 – Визначення обсягу водосховища для сезонного регулювання

Якщо водосховище досить 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, як правило, 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 повеней 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 протиріч між водоспоживачами та водокористувачами з різних галузей народного господарства.

Коли запити споживачів перевищують можливості природних водних ресурсів даного 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 питання

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 70-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. 26).

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. В даний час 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 26 – Річкові басейни України

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 прийняття 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 являють собою 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. 27) сумарна площа дзеркал водосховищ, створених людством, перевищує 600 тис. км². Підрахунки показують, що у 2287 найбільших водосховищах (місткістю кожне понад 100 млн м³) зібрано на чотирьох континентах додатковий обсяг води, який дорівнює 5832 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 27 – Комісія з великих гребель (ICOLD)

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. Дані процеси повинні контролюватись і ними можна керувати, вживаючи ті або інші заходи.

В якості першочергових заходів – 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 ділять 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 28 – Цвітіння води озера Ері, Канада, 2019 рік

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. 28). 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, у тому числі 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. Так, 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. 29).

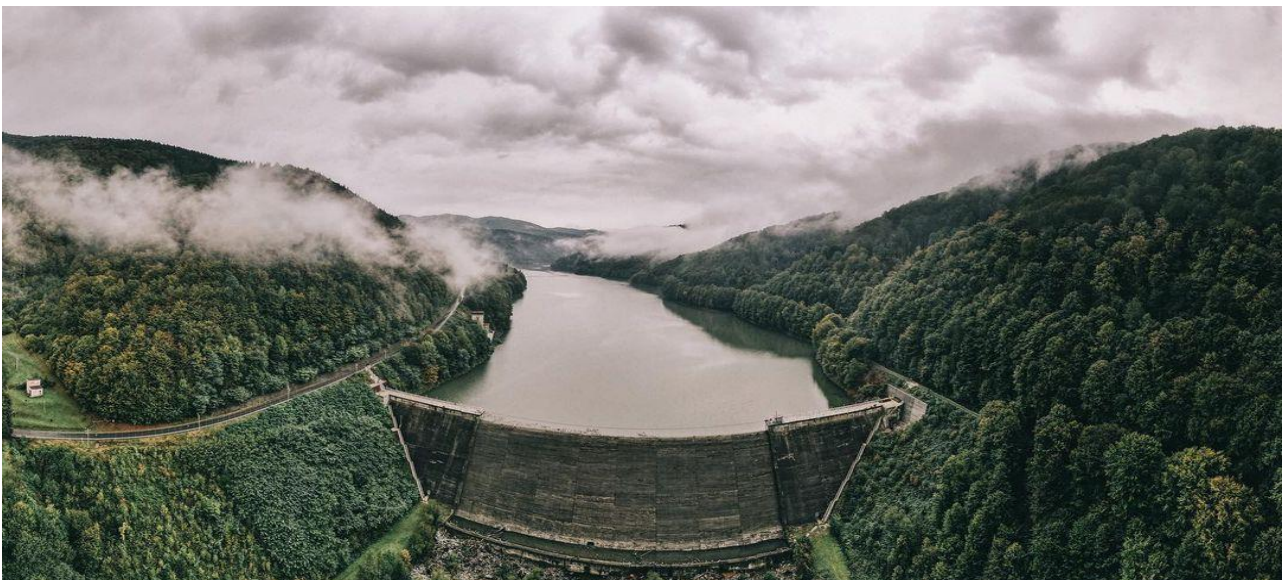


Рисунок 29 – Вільшанське (Теребле-Ріцьке) водосховище, Україна

Доля природного ландшафту вирішується не тільки в ході проектування, а і 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 прокласти залізницю 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, у тому числі 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 задач першорядна роль належить фахівцям-гідротехнікам, які здійснюють дослідження, проектування, 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 питання

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 даному випадку з графіком електричного навантаження – тобто гідроелектростанції.

Гідроелектростанції на багатоводних рівнинних річках розташовуються в їх руслі і носять назви або *руслевих низьконапірних* (рис. 30), або *пригребельних* (рис. 31), якщо напір достатньо великий.



Рисунок 30 – Руслевий низьконапірний гідровузол з гідроелектростанцією та судноплавним шлюзом (Київська ГЕС, Україна)

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 31 – Пригребельний гідровузол з гідроелектростанцією (ГЕС Три ущелини, Китай)

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 *водоступки* 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. 32).

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 за рахунок різниці ухилів річки та каналу.



Рисунок 32 – Гідроелектростанція з дериваційним каналом

Аналогічна роль у відвідній деривації – рівень води в ній мало відрізняється від рівня води в річці в кінці деривації, так що на початку відвідної деривації у гідроелектростанції рівень виявляється нижчим, ніж у річці, що паралельно тече поруч. Так, 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, так як 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. 33) 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.

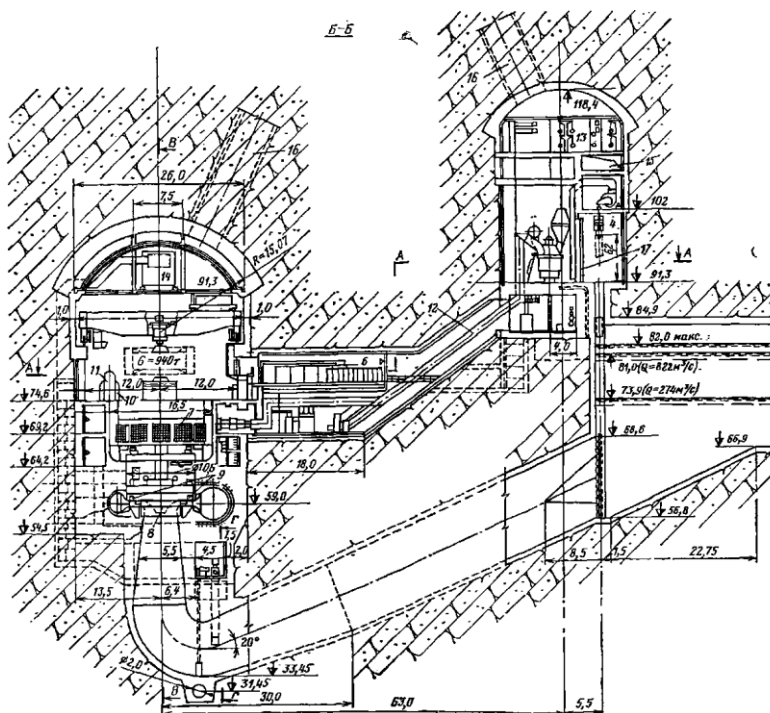


Рисунок 33 – Підземна гідроелектростанція з тунельною деривацією

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 даному 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 межени. 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 поруч із гідровузлом будують *порт* із захищеною від штормових хвиль акваторією, причалами, затоном для зимівлі суден.

Підхідні канали до суднопропускної споруди (рис. 34), 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.

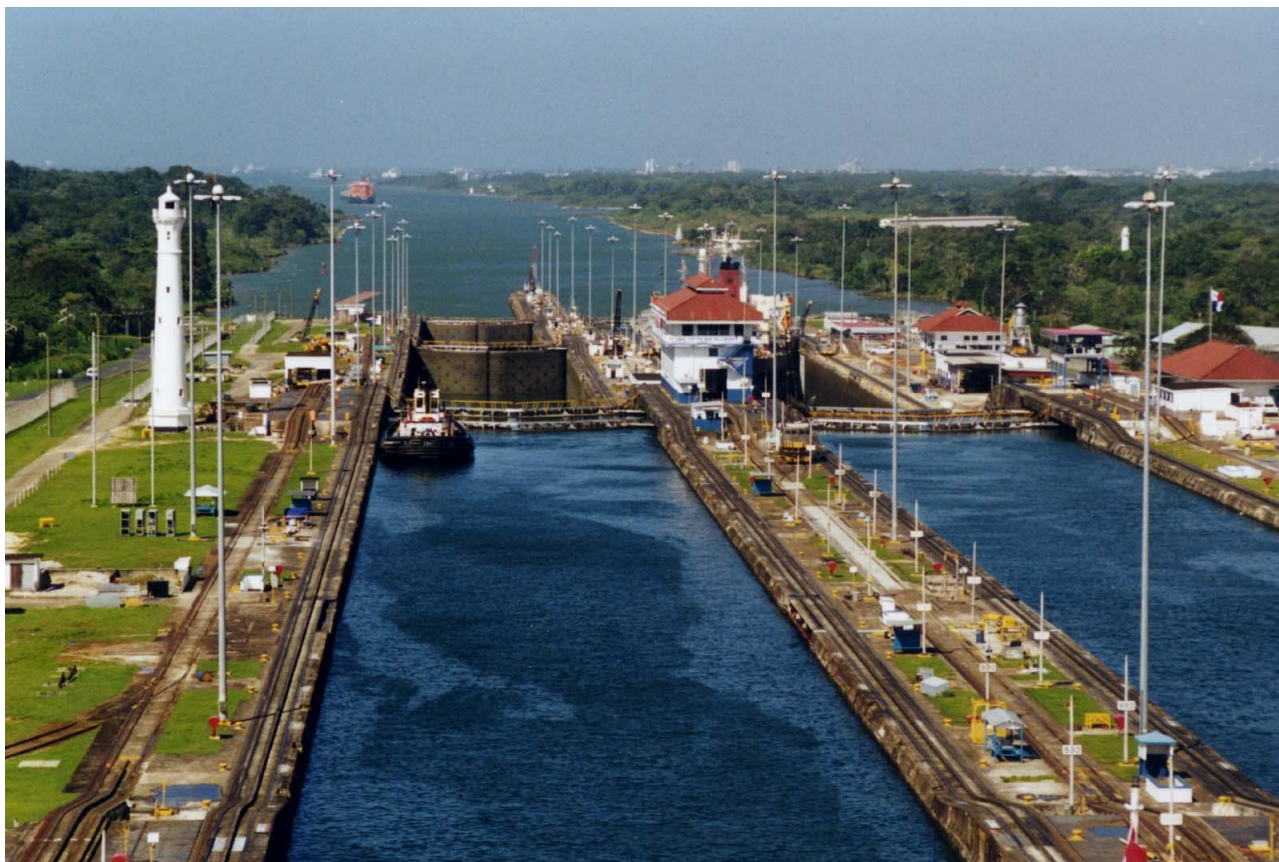


Рисунок 34 – Панамський канал

Одним із видів водного транспорту є *лісослав*. Ліс може перевозитися на спеціальних суднах або плотах – плитках (плоських) або пучках (овального перерізу), за допомогою буксирів. У цьому випадку для лісосплаву використовуються загальні воднотранспортні 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 сплавляється 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 плоти 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. 35).



Рисунок 35 – Насосна станція

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)*. Різноманітність 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. 36).



Рисунок 36 – Рибопрохід на греблі «Джон Дей» на річці Джон-Дей, США

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 досить 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 слід 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 впливає 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 питання

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. 37) завдовжки L , висотою H і шириною по основі B діють наступні сили.

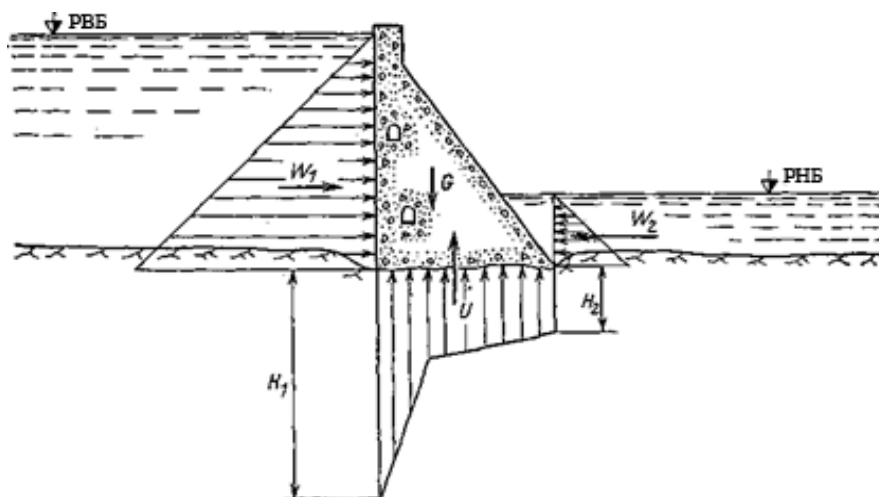


Рисунок 37 – Сили, що діють на греблю

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:

$$U = \left[H_2 + \frac{\alpha}{2}(H_1 - H_2) \right] \gamma BL \quad (1)$$

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 наступними формулами:

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

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* (дана 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:

$$R = fN + cBL, \quad (3)$$

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:

$$A < R, \quad (4)$$

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

Додатково слід підкреслити, що за нескільких 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*. Дана умова виражається наступними нерівностями:

$$\sigma_3 < R_{\text{пр}}; \quad \sigma_1 < R_p \quad (5)$$

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 арочних, 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 нескільні 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 суффозії чи випору.

Суффозією, 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 суффозії 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 з 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. 38).

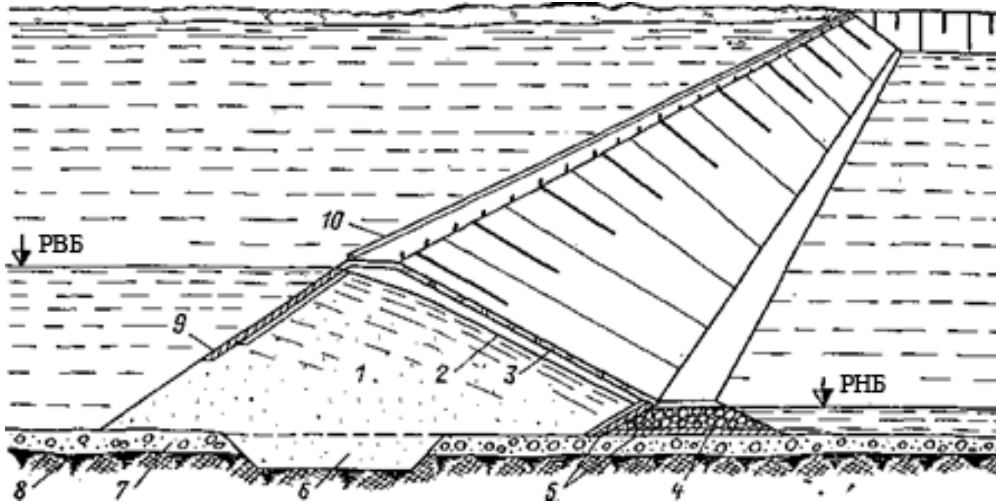


Рисунок 38 – Гребля з однорідного ґрунту:

- 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 у свою чергу діляться 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, наявність відповідного складу ґрунтів тощо) відрізняється високою продуктивністю, що сягає 200 тис. м³/добу.

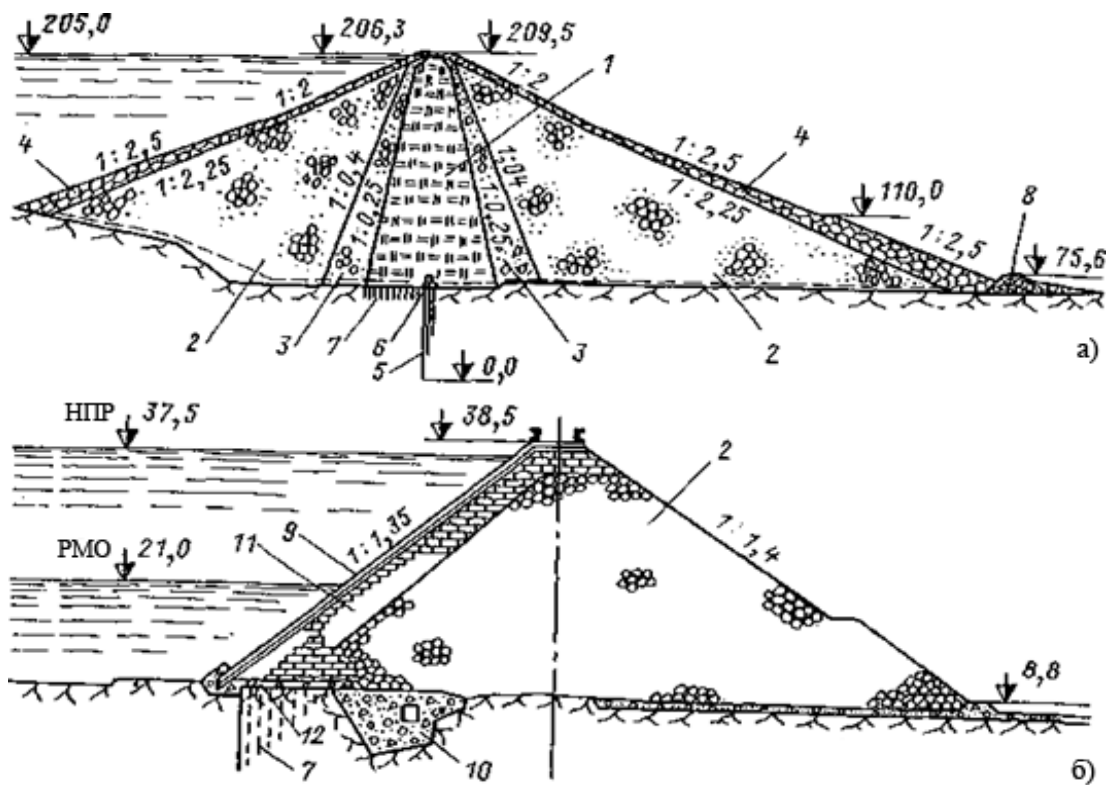


Рисунок 39 – Кам'яно-земляна та кам'яно-накидна греблі

- 1 – ядро із суглинку; 2 – кам'яна на кидка ; 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. 39, 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 убк каменю крупністю, щоб запобігти суффозії ґрунту протифільтраційних пристроїв.

Такі греблі знайшли широке застосування у високонапірних гідровузлах на гірських річках. Перевагою їх у порівнянні 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. У порівнянні 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 цементаційну 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. 39, б; 40) 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).

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.



Рисунок 40 – Кам'яно-накидна гребля

8.3 Греблі зі штучних матеріалів

Бетонні греблі (рис. 41) 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 сталеву арматурою.

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

Гравітаційні греблі (рис. 41, а; 42) за дії на них основних сил гідростатичного тиску забезпечують достатній опір зсуву, в основному завдяки великій власній вазі.

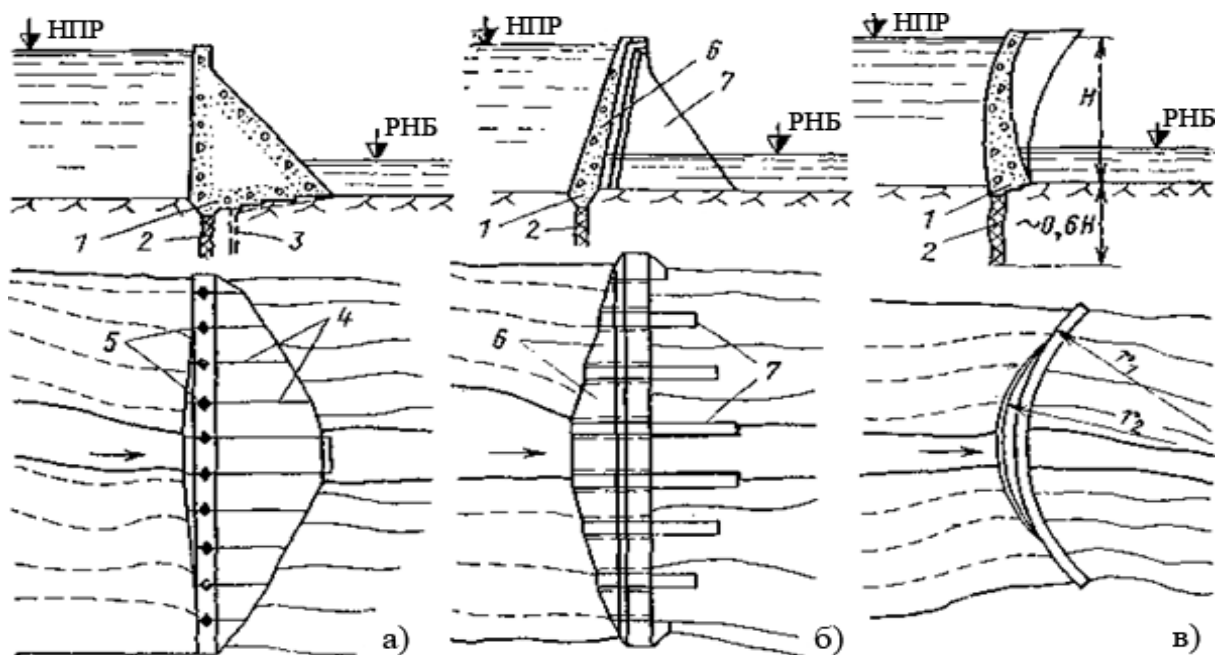


Рисунок 41 – Бетонні греблі:

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



Рисунок 42 – Бетонна гравітаційна гребля Уіллоу Крік, штат Орегон, США

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 V/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 $V/H = 0,7$ 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 цементаційні 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. 41, в; 43), криволінійні в плані з опуклістю у бік верхнього б'єфу, опираються дії гідростатичного тиску та інших горизонтальних зсувних навантажень в основному за рахунок упору їх у береги ущелини (або стояни). При зведенні аркових гребель обов'язковою вимогою є наявність досить міцних і малопохатливих 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 V/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 43 – Аркова гребля Кельнбрейн, Австрія

Контрфорсні греблі (рис. 41, б; 44) 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. У свою чергу 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 44 – Контрфорсна багатоаркова гребля Даніель Джонсон, Канада

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 досить близькими одна до одної.

Найвищу контрфорсну (багатоаркову) греблю Даніель Джонсон заввишки 215 м побудовано в Канаді (рис. 44).

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. 45) 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 45 – Гребля Гранд-Кулі на річці Колумбія, Штат Вашингтон, США

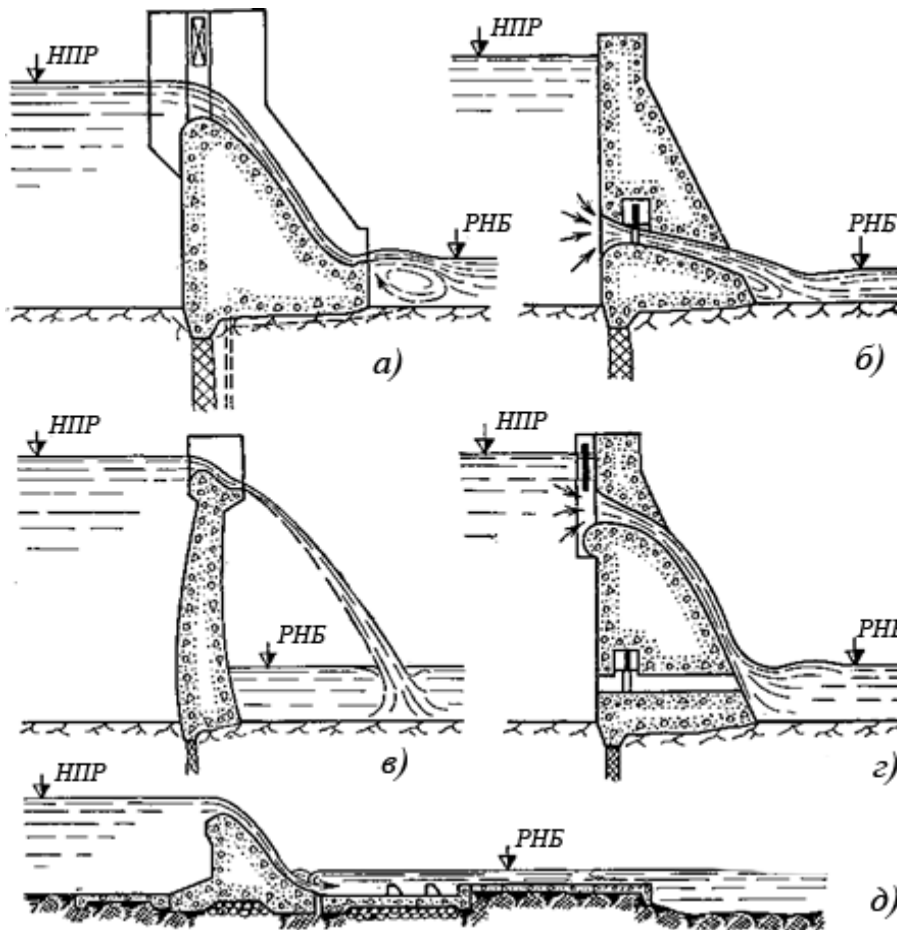


Рисунок 46 – Бетонні греблі з різними типами водоскидних отворів:
 а – поверхневий отвір із затвором; б – глибинний; в – поверхневий відкритий з трампліном; г – глибинний та донний;
 д – поверхневий з гасниками в нижньому б'єфі

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 підшови водозливу поглиблюють, утворюючи так званий *водобійний колодязь* (рис. 46, 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. 46, 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. 46, в).

За водозливними греблями, що мають в основі нескальні породи, за водобоями робиться *рисберма* – укріплена водопроникна ділянка русла річки (рис. 46, д).

8.5 Берегові водоскиди

Зазвичай на березі водоскиди розташовують (рис. 47) 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.

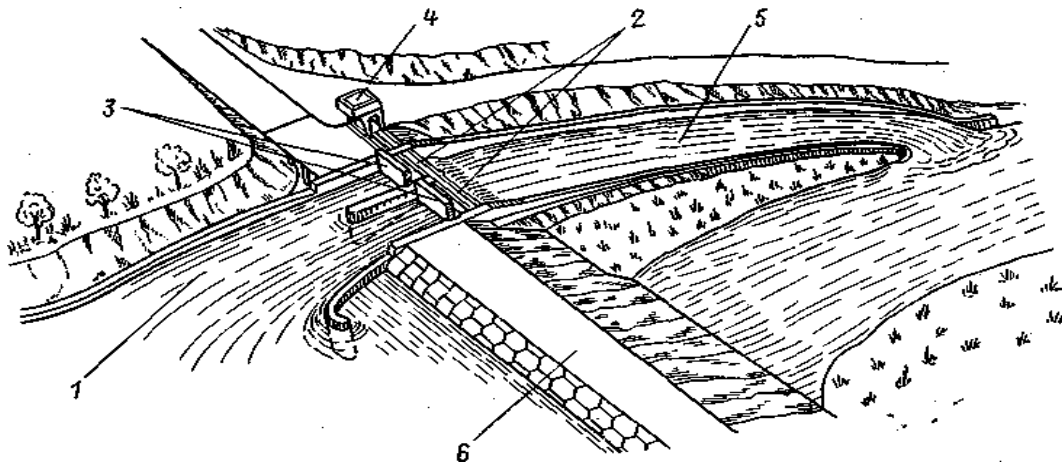


Рисунок 47 – Береговий поверхневий водоскид:

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

Найчастіше використовуються *поверхневі водоскиди* (рис. 48), 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 наступні складові частини: 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 частини: 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 рис. 49 показано

схему берегового водоскиду шахтного типу.



Рисунок 48 – Береговий поверхневий водоскид

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.

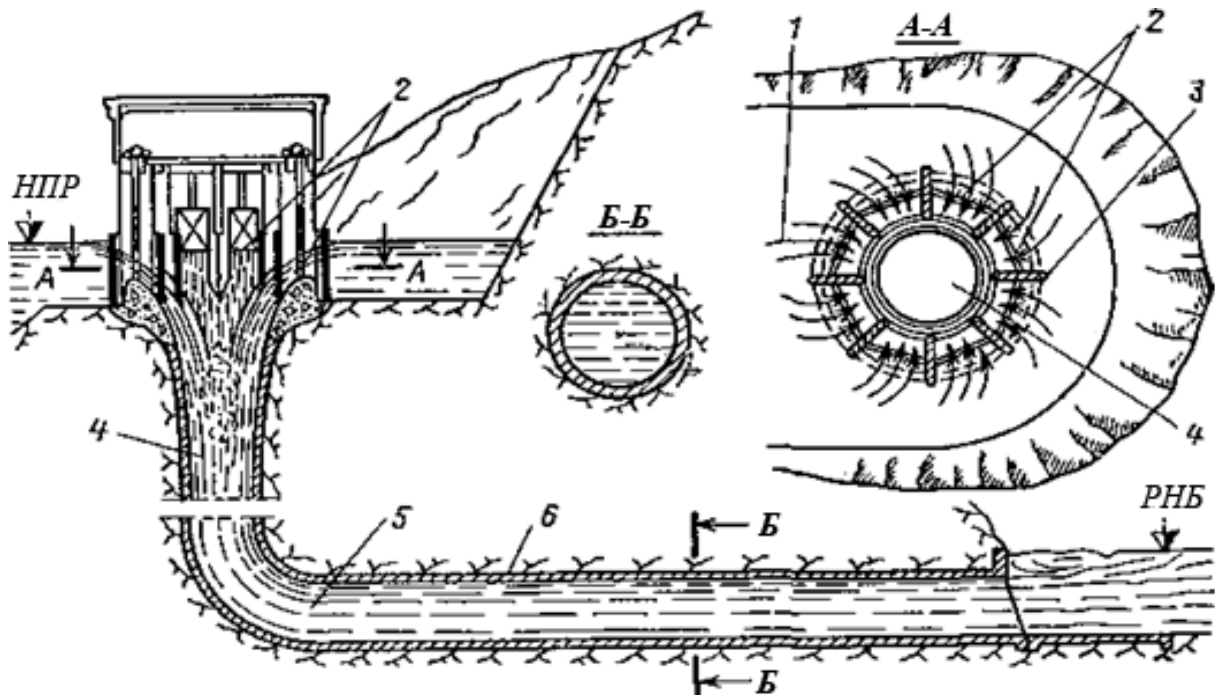


Рисунок 49 – Шахтний водоскид:

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 50 – Шахтний водоскид на озері Ледібауер, Великобританія

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. 53). 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. 51). Вони є баштою, від якої беруть початок сталеві або залізобетонні труби круглого або прямокутного

перерізу в залежності від напору. 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.

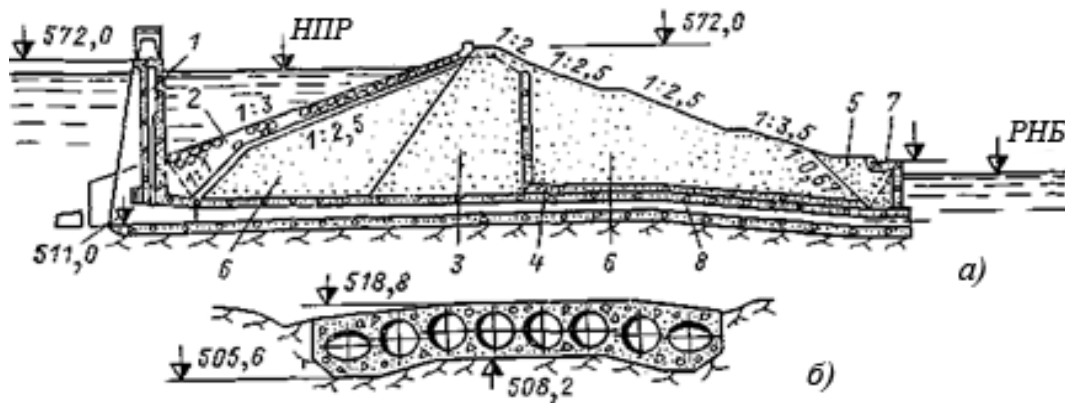


Рисунок 51 – Трубчастий водоскид:

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

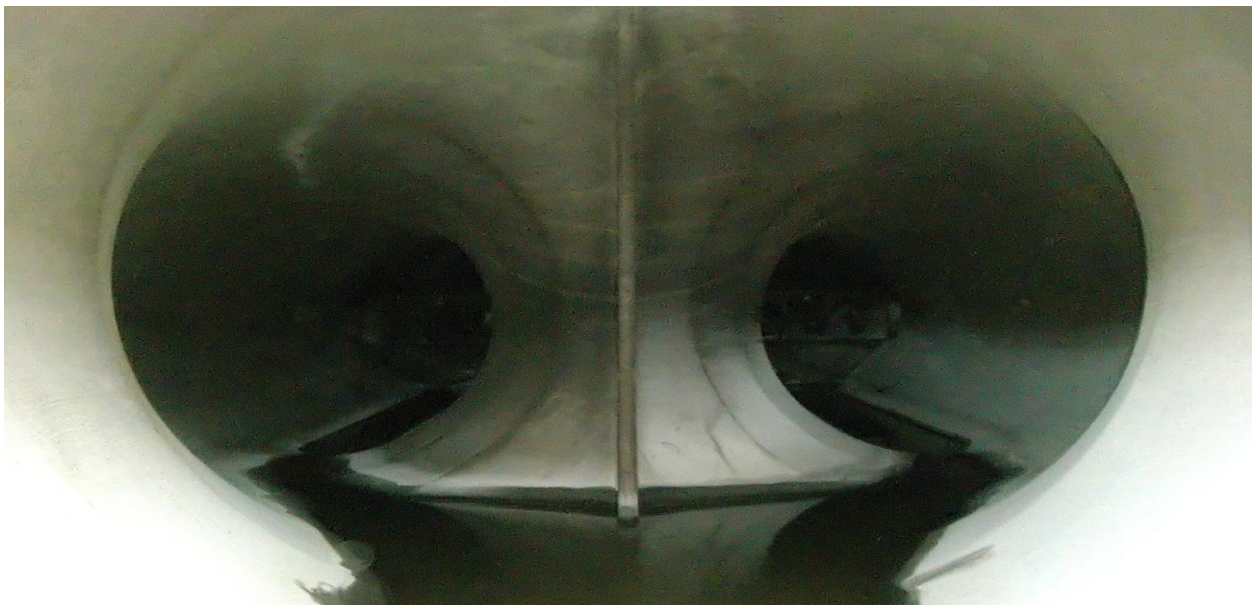


Рисунок 52 – Тунель трубчастого водоскиду

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. 53), 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).

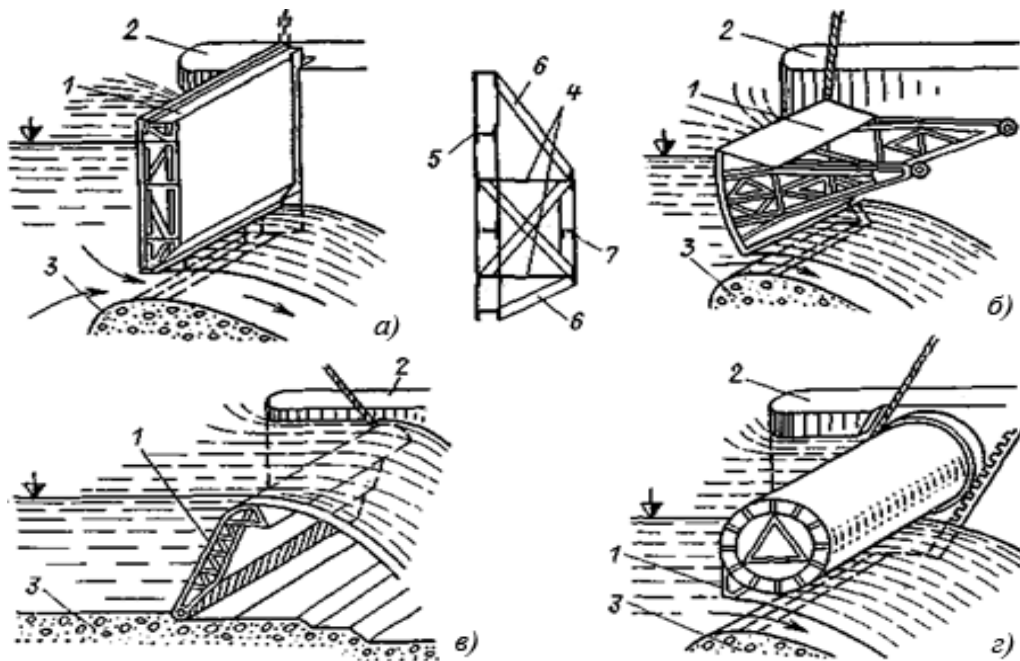


Рисунок 53 – Затвори поверхневих отворів:

a – 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. 53, а), які являють собою 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 досить 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. 53, б). Такі затвори мають також широке застосування, але їх вартість перевищує вартість плоских затворів.

Існує велика кількість інших типів затворів (рис. 53, 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*.

У якості підйомних механізмів для затворів застосовуються пересувні *крани* або стаціонарні *підйомники*. На них можуть бути змонтовані як звичайні

лебідки, так і більш досконалі *гідравлічні підйомники*.



Рисунок 54 – Вальцьовий затвор, Гончарівська гребля, Харків, Україна

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. 55).



Рисунок 55 – Водозабірна споруда, Краснопавлівське водосховище,

Харківська область, Україна

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 сплавлення. 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, захащувати водовід, вивести з ладу обладнання (турбіни, насоси, затвори, решітки) тощо.

Звичайно, неприпустиме попадання з водоприймачів риб, 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 v 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. 56).

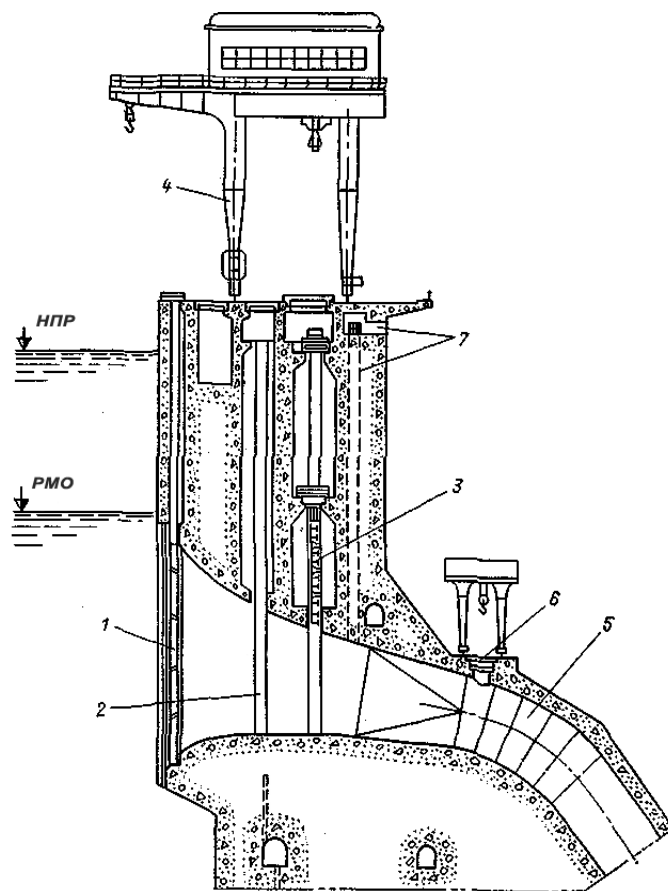


Рисунок 56 – Водоприймач у тілі бетонної греблі

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, так як 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 б.

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. 57). 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.

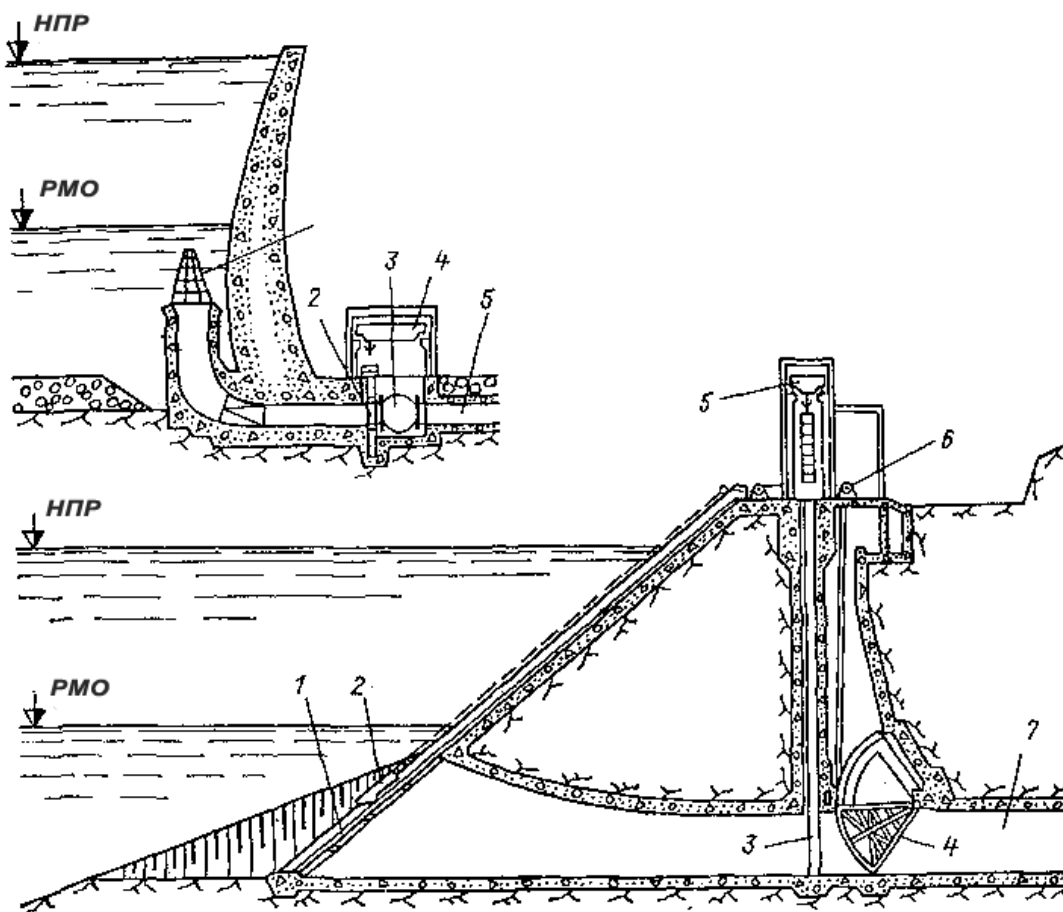


Рисунок 57 – Глибинний водоприймач у тілі аркової греблі та глибинний береговий водоприймач

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. Як правило, цей затвор 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 в циліндричному корпусі, приводить в рух поршень, який, у свою чергу, 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 сорозатримуючою решіткою 1, до якої по рейкових коліях може опускатися решіткоочисна машина 2 (рис. 57).

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*. Даний тип водоприймача доцільний за гребель із ґрунтових матеріалів та деривації у вигляді трубопроводу. За конструкцією він нагадує баштовий (трубчастий) водоскид (див. рис. 51).

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. Так, каламутність р. Кури досягає 35 кг/м^3 ; р. Хуанхе, басейн якої розташований на великому лесовому плато, характеризується виключно 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. 58) 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.

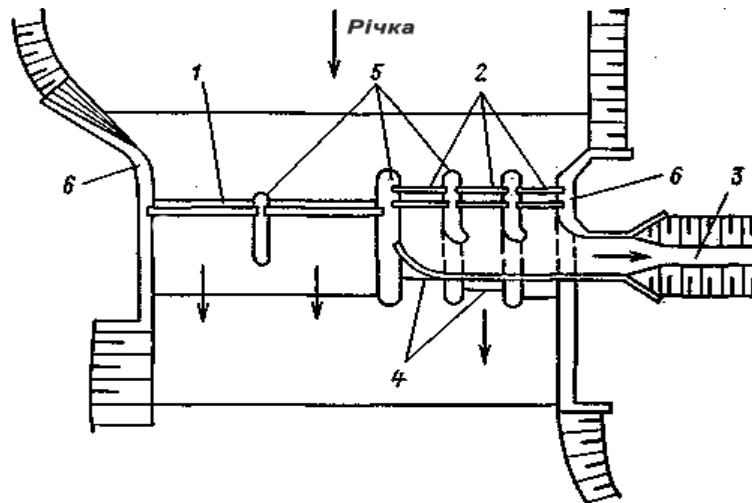


Рисунок 58 – Двоярусний водозабір (план):

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

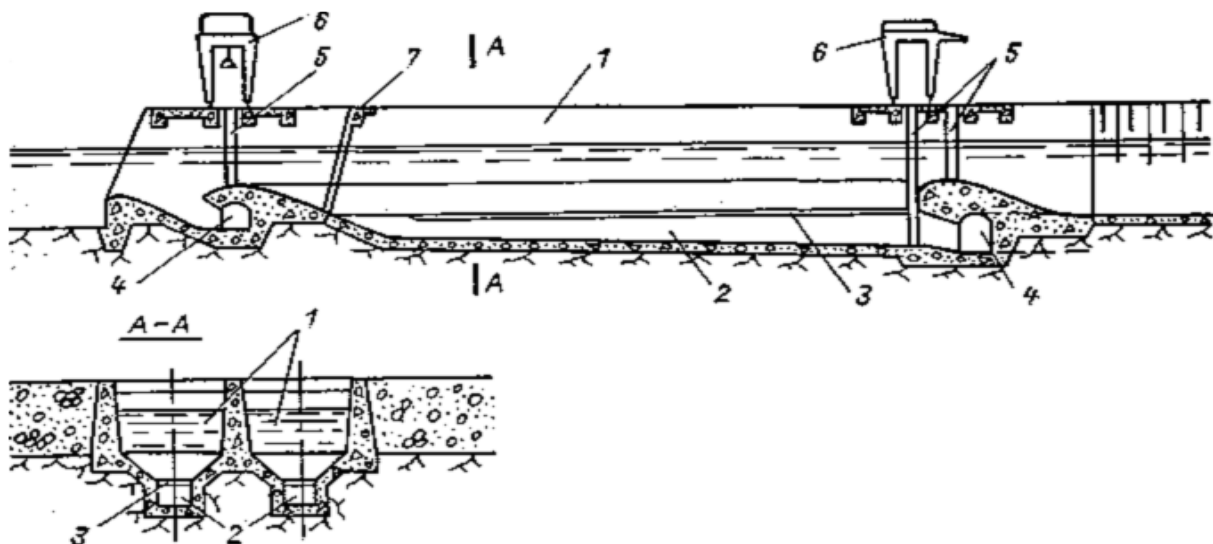


Рисунок 59 – Двокамерний відстійник безперервної дії

- 1 – камери відстійника; 2 – промивні галереї; 3 – решітка; 4 – вхід в пульповід;
 5 – пази затворів; 6 – підйомники; 7 – розподільча 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 поперечній 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 *запоней*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, $Q = f(t)$. Дана 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 (Запонь) – 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 60 – Магістральний водовід

Тип і конструкцію водоводу також визначають на основі техніко-економічних порівнянь. Залежно від призначення водоводу, його розмірів, природних умов та умов будівництва та експлуатації в якості водоводу 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 61 – Дериваційний водовід Тересля-Рікської ГЕС

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 62 – Північно-Кримський канал

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 досить 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. У більшості випадків щоб уникнути втрат води канал проектується *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 вилитася 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. 63).

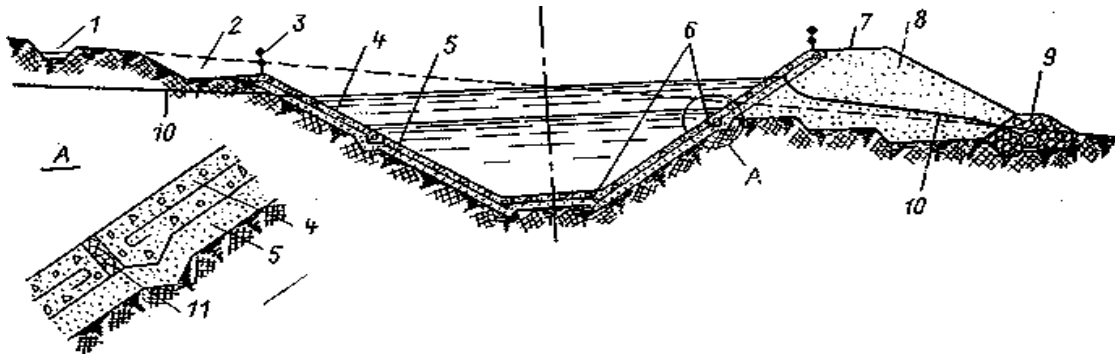


Рисунок 63 – Поперечний переріз дериваційного каналу:

- 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. 63). 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) в якості 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 в якості гідроізоляції русла невеликих каналів. Плівка покривається захисним шаром ґрунту від пошкоджень та сонячної радіації.

У деяких випадках канал проектують 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. Слід 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.

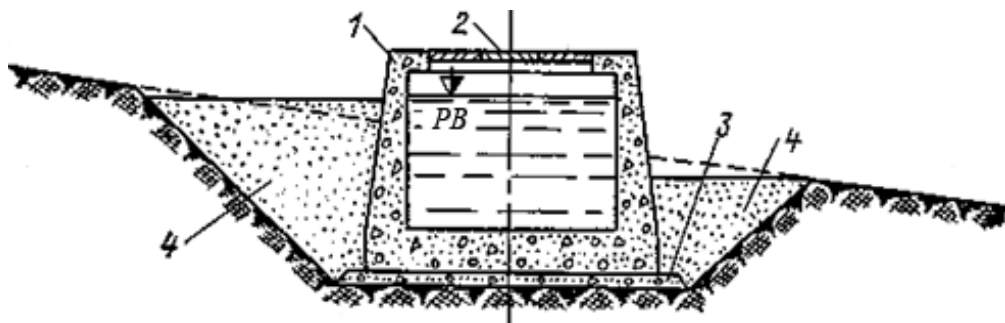


Рисунок 64 – Поперечний переріз залізобетонного лотка:

1 – лоток; 2 – знімне перекриття; 3 – підготовка основи; 4 – зворотне засипання
Зимова експлуатація відвідного каналу є менш небезпечною.

Лоток відноситься до безнапірного типу водоводу. Лотки будуються із залізобетону або дерева, зазвичай мають прямокутний (рис. 65) 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.

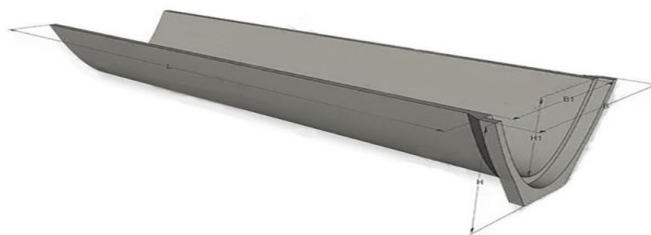


Рисунок 65 – Лоток

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 водосховище між НІР і РМО є значним, тобто глибина призми регулювання є великою, то застосування безнапірної підвідної деривації є недоцільним, так як потрібен її занадто великий переріз. Тоді потрібно переходити на напірний водовід – трубопровід

(рис. 66).



Рисунок 66 – Металевий трубопровід

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. 67), 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 в основному розтягуючі сили.



Рисунок 67 – Зрівняльний резервуар

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. 68).

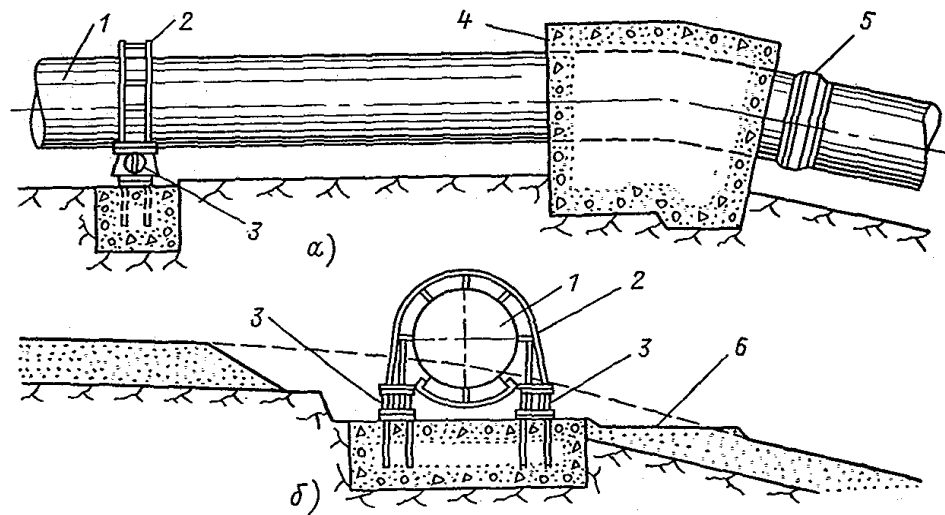


Рисунок 68 – Дериваційний трубопровід:

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. 69) зазвичай роблять попередньо обтиснутими сталеву 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 укласти на безперервні стрічкові фундаменти; вони можуть бути також укладені в траншею та засипані.

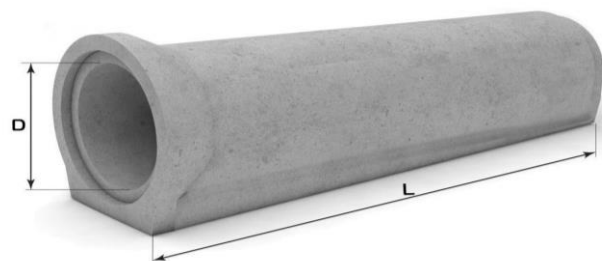


Рисунок 69 – Жалізобетонній трубопровід

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 малопритатним 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.70).



Рисунок 70 – Тунель

Тунельна деривація підземної гідроелектростанції поділяється на підвідну та відвідну частини. Підвідна деривація може бути безнапірною або малого напорю 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. 71, 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. 71, б).

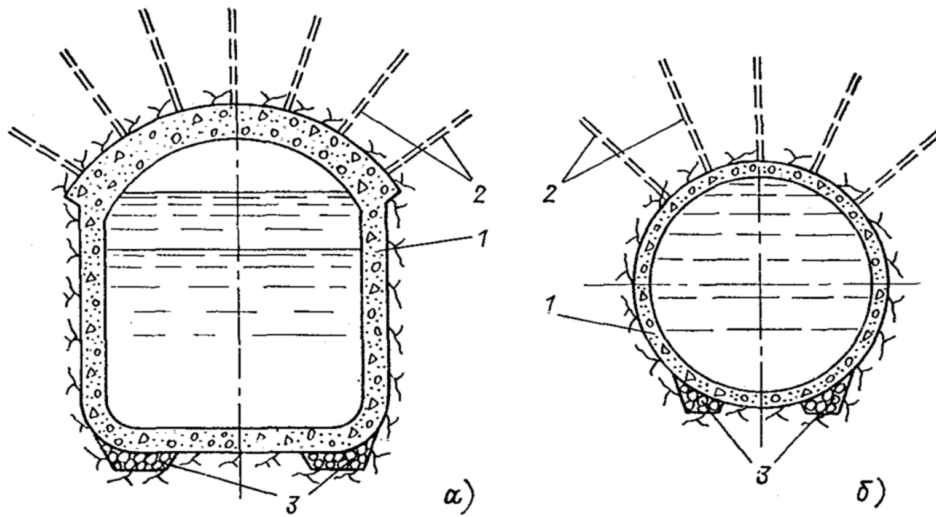


Рисунок 71 – Поперечні перерізи дериваційних тунелів:
a – безнапірний; *б* – напірний; 1 – бетонне облицювання;
 2 – цементация породи над склепінням; 3 – дренаж

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.

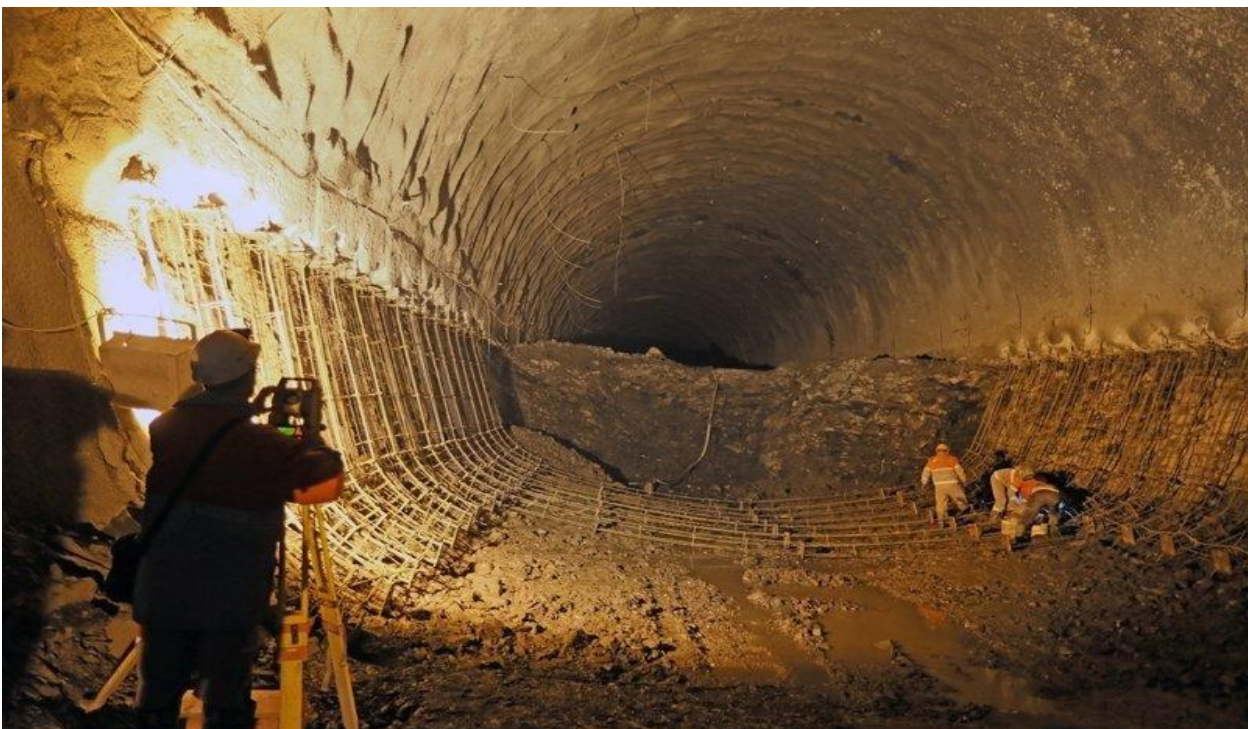


Рисунок 72 – Облицювання тунелю

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. 73). 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 наступні.



Рисунок 73 – Печенізьке водосховище (Харківська обл.)

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 прилеглий 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. 74). На берегах водосховищ виникають або активізуються зсувні процеси.



Рисунок 74 – Переформування берегів

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 огородження 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. 75).



Рисунок 75 – Дамба обвалування

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. 76).

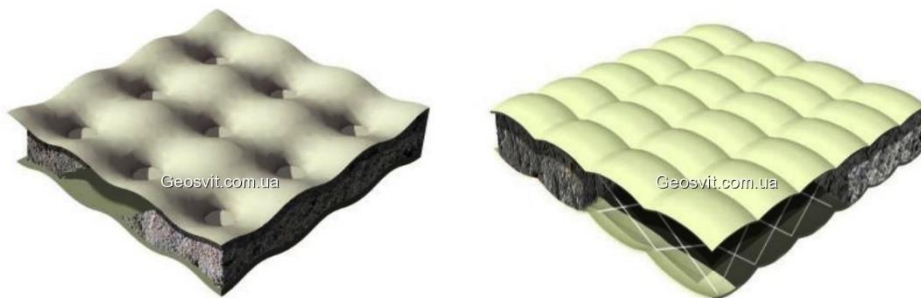


Рисунок 76 – Бетоновані матраци

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



Рисунок 77 – Рибохід під Каховкою

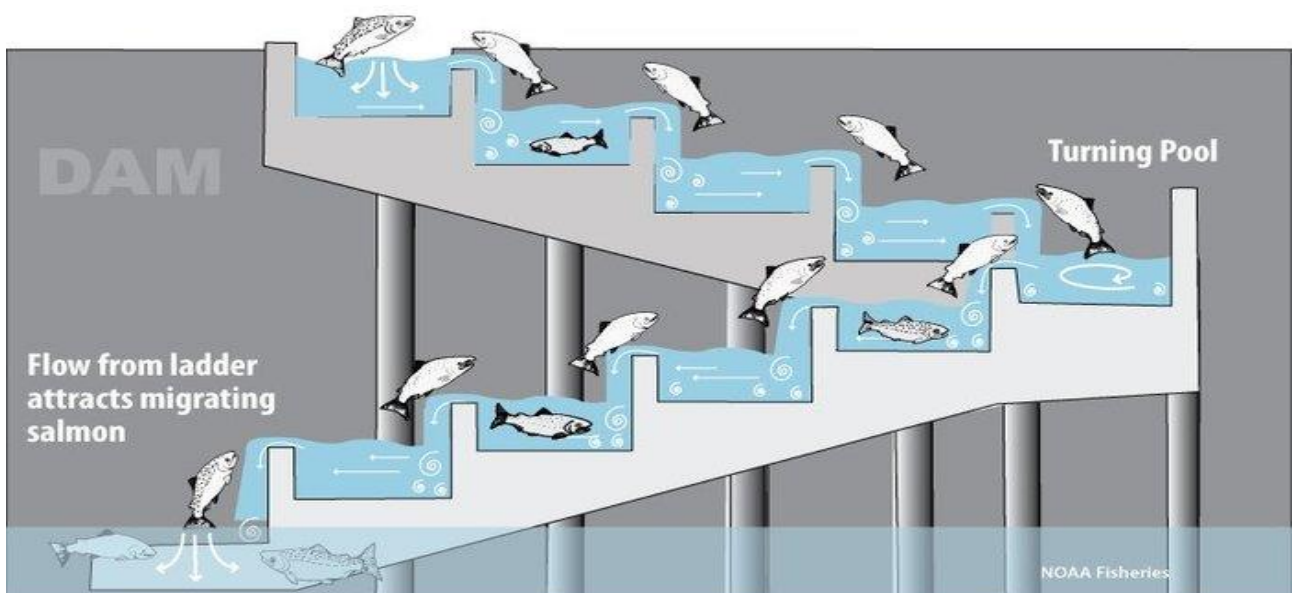


Рисунок 78 – Рибопідйомник



Рисунок 79 – Рибопідйомник The John Day Lock & Dam (Колумбія)

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, створований гідровузлом, швидкості течії у рибоході повинні бути не більше тих, які може подолати риба в природних умовах за так званих «киджів». Значення цих швидкостей для різних порід риб варіюють від 1,0–1,2 м/с (коропові, осетрові) до 2,5 м/с (лососеві).

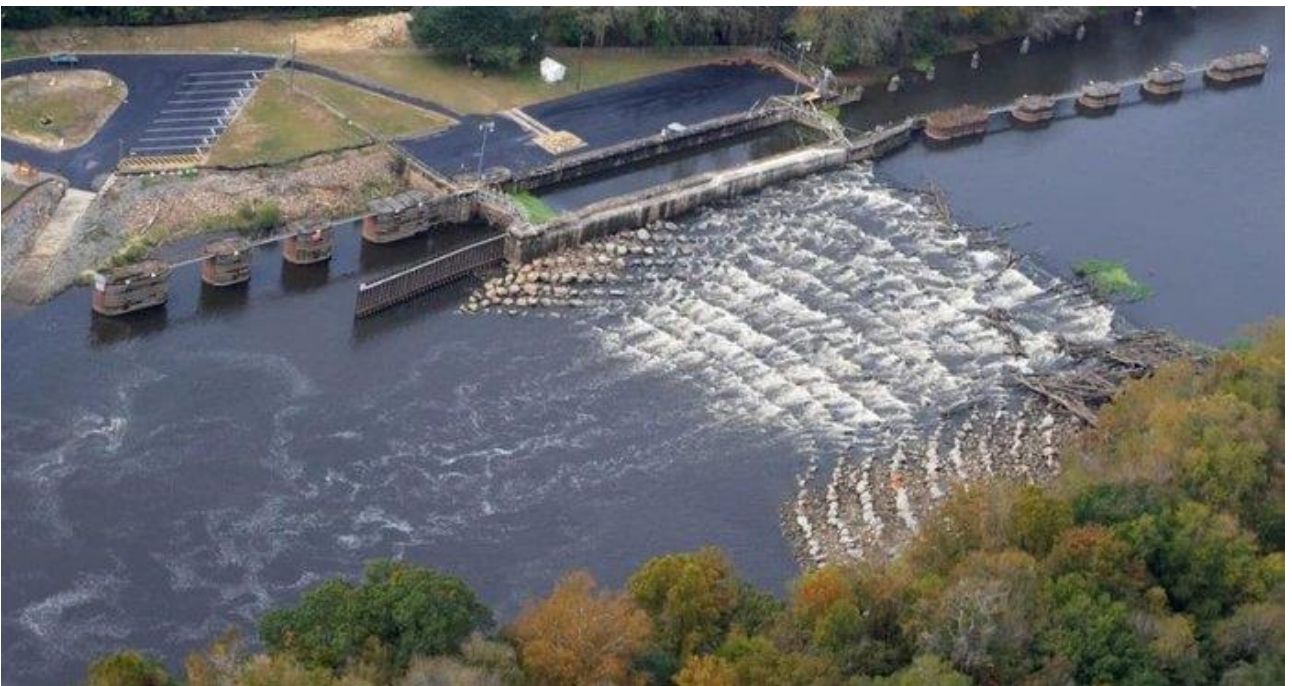


Рисунок 80 – The Cape Fear River Dam (США)

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. 81).

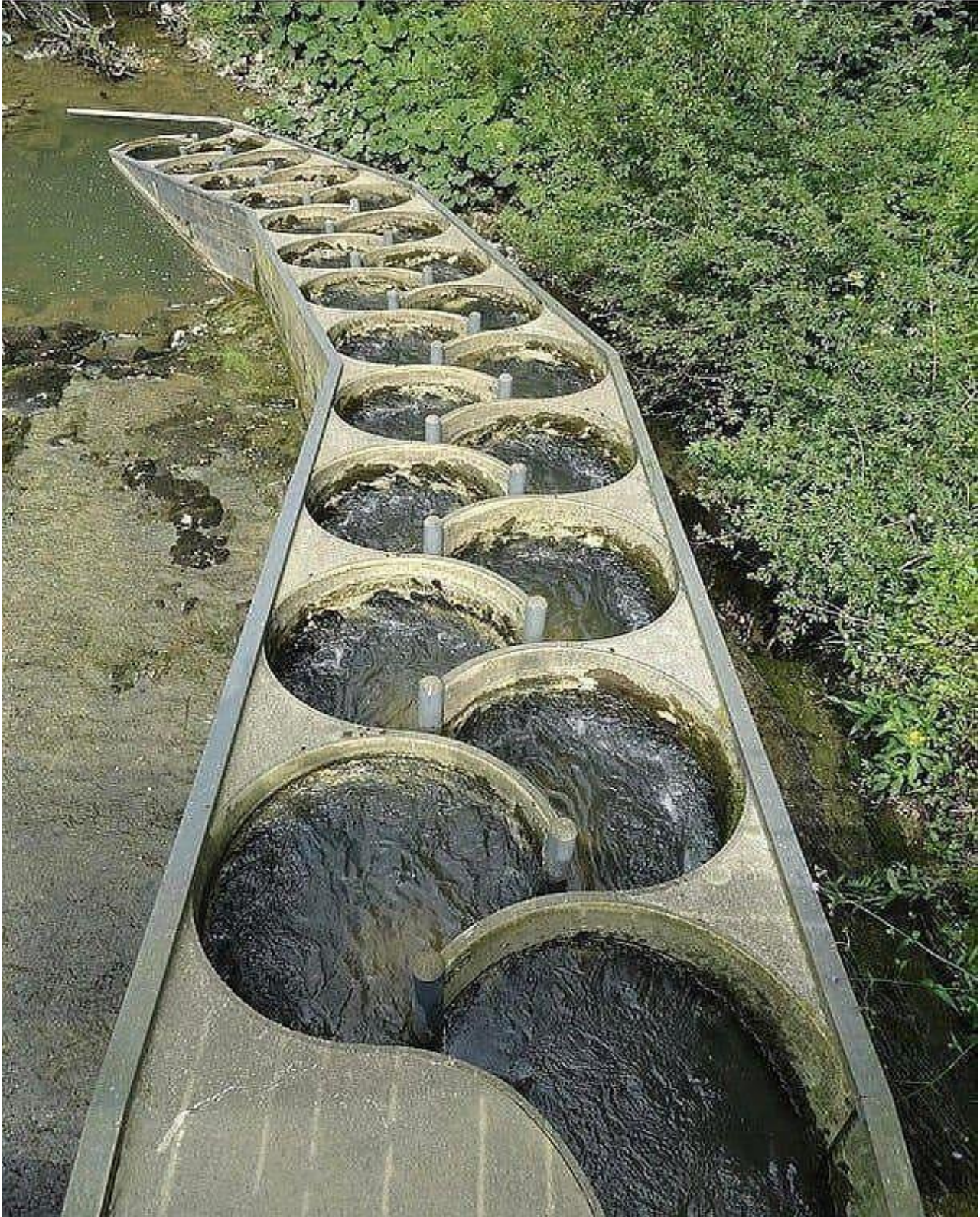


Рисунок 81 – Сходовий рибохід

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 слабкого 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 питання

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 ГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

9.1 Водна енергія і схеми її використання

Схема використання водної енергії. На гідроелектростанціях механічна енергія води перетворюється на електричну енергію. Вода під впливом сили тяжіння перетікає з верхнього б'єфу у нижній і обертає робоче колесо *турбіни*, на одному валу з яким знаходиться ротор *генератора* електричного струму. Турбіна та генератор разом складають *гідроагрегат*. У турбіні гідравлічна енергія перетворюється на механічну енергію обертання її робочого колеса разом із ротором генератора. У генераторі відбувається перетворення механічної енергії в електричну.

Для роботи гідроелектростанції необхідна витрата води та перепад рівнів, тобто *напір*. На рівнинних річках перепад рівнів, зазвичай, зосереджується греблею. *Статичний напір* H_0 , або *напір бруто*, дорівнює різниці відміток рівнів верхнього (РВБ) і нижнього (РНБ) б'єфів (рис. 82):

$$H_0 = \nabla_{ВБ} - \nabla_{НБ} \quad (6)$$

Напір нетто ГЕС дорівнює статичному напору за вирахуванням втрат напору під час руху води від водозабору до турбіни, а саме:

$$H = H_0 - h_n \quad (7)$$

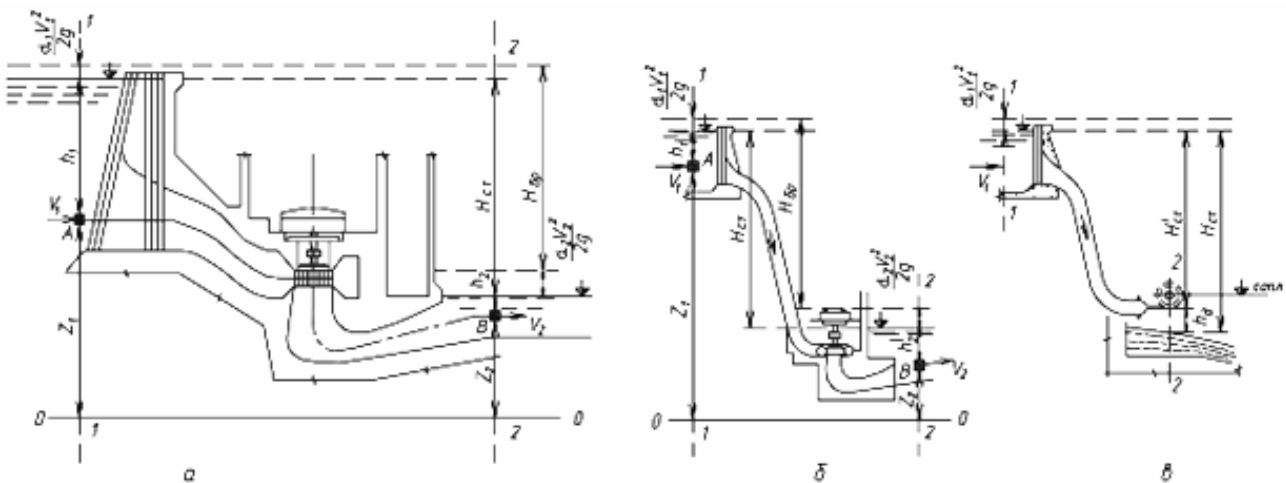


Рисунок 82 – Схема визначення напорів ГЕС:

a – руслова ГЕС; *б* – дериваційна ГЕС; *в* – ГЕС з ківшевими турбінами

Електрична потужність генератора, кВт, і, отже, агрегату в цілому буде дорівнювати:

$$N_a = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \cdot \eta_T \cdot \eta_G = 9,81 \cdot Q \cdot H \cdot \eta_T \cdot \eta_G, \quad (8)$$

де ρ – щільність води, яка дорівнює $1\,000 \text{ кг/м}^3$;

g – прискорення вільного падіння, зазвичай приймається $9,81 \text{ м/с}^2$ ($\rho g = \gamma$ – питома вага води, що дорівнює $9,81 \text{ кН/м}^3$);

Q – витрата води, що проходить через турбіну, $\text{м}^3/\text{с}$;

η_T, η_G – коефіцієнти корисної дії (ККД) відповідно турбіни та генератора.

За числа *встановлених* на ГЕС агрегатів її *встановлена потужність* складатиме:

$$N = mN_a . \quad (9)$$

Оскільки витрати води та напір з часом змінюються, то гідроелектростанція видає споживачам електричної енергії змінну потужність. Вироблення електричної енергії складатиме:

$$E = \sum N \Delta t , \quad (10)$$

де Δt – інтервали часу, протягом яких потужність N вважатиметься постійною. Якщо потужність вимірювати у ватах, а час у секундах, то вироблення енергії вийде в джоулях; якщо потужність вимірювати в кіловатах, а час – у годинах, то результат вийде в кіловат-годинах ($1 \text{ кВт-год} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Дж}$).

Підрахунок річного вироблення енергії, кВт-год можна отримати за формулою:

$$E = \rho \cdot g \cdot W \cdot \bar{H} \cdot \bar{\eta}_T \cdot \bar{\eta}_G = \frac{W \cdot \bar{H} \cdot \bar{\eta}_T \cdot \bar{\eta}_G}{367,2} , \quad (11)$$

де $W = \sum Q \Delta t$ – об'єм води, що використовується за рік, м^3 ;

\bar{H} – середній напір ГЕС;

$\bar{\eta}_T, \bar{\eta}_G$ – середні значення ККД.

Річне вироблення електричної енергії ГЕС залежить від водності року. У маловодний рік воно є меншим, у багатоводний рік – більшим за середньорічний. Відношення середньорічного вироблення енергії ГЕС до її встановленої потужності дає *кількість годин використання встановленої потужності*, а саме:

$$T = \frac{E}{N} . \quad (12)$$

Чисельне значення T показує, скільки годин на рік має працювати ГЕС повною встановленою потужністю, щоб дати річне вироблення енергії.

Існує три основні схеми використання водної енергії, що характеризуються способами зосередження перепаду рівнів, тобто напору: *гребельна* схема, коли напір зосереджується греблею; *дериваційна* схема, коли напір зосереджується переважно за допомогою деривації, що здійснюється у вигляді каналу, тунелю або трубопроводу; *гребельно-дериваційна* схема, коли напір зосереджується і греблею і деривацією.

Крім зосередження напору, необхідно створювати водосховища для *регулювання витрат води*. У природних умовах найменша витрата води в річках зазвичай буває взимку, коли потреба в електроенергії буває найбільшою.

Для того щоб у період межені, особливо взимку, ГЕС могла розвивати

велику потужність, повніше використовувати встановлені агрегати і давати велике вироблення електроенергії, на річках створюють водосховища та проводять регулювання стоку. У водосховищах *річного регулювання* запасється частина весняного стоку. Використовуючи стік, можна збільшити витрату води в межень, підвищити використання встановленої потужності і збільшити вироблення енергії ГЕС. Водосховища *багаторічного регулювання* за рахунок стоку багатоводних років дозволяють збільшити витрату і вироблення енергії ГЕС у маловодні роки.

Інше значення мають водосховища для *добового регулювання* стоку. Вони дозволяють забезпечити гідроелектростанції змінні протягом доби витрати води та потужність відповідно до змінного навантаження енергосистеми. *Тижнєве регулювання* витрати води дозволяє збільшити потужність та вироблення енергії в робочі дні тижня за рахунок зниження потужності та вироблення енергії у дні відпочинку та свята.

Регулювання стоку річки з енергетичною метою має бути пов'язане з інтересами інших водокористувачів.

Гребельна схема (рис. 83) використовується переважно на річках за порівняно малих ухилів водної поверхні та великих витрат води. За допомогою греблі, побудованої у пункті *B*, створюється підпір води, який поширюється вгору річкою до пункту *A*. Різниця рівнів у пунктах *A* і *B* дорівнює $H_0 + \Delta h$. Частина Δh загального падіння річки являє собою втрати напора на тертя під час руху води у верхньому б'єфі. Між НІР і рівнем спрацювання (РМО) розташований корисний обсяг водосховища. Залежно від корисного обсягу він може бути використаний для багаторічного, річного і добового регулювання витрат.

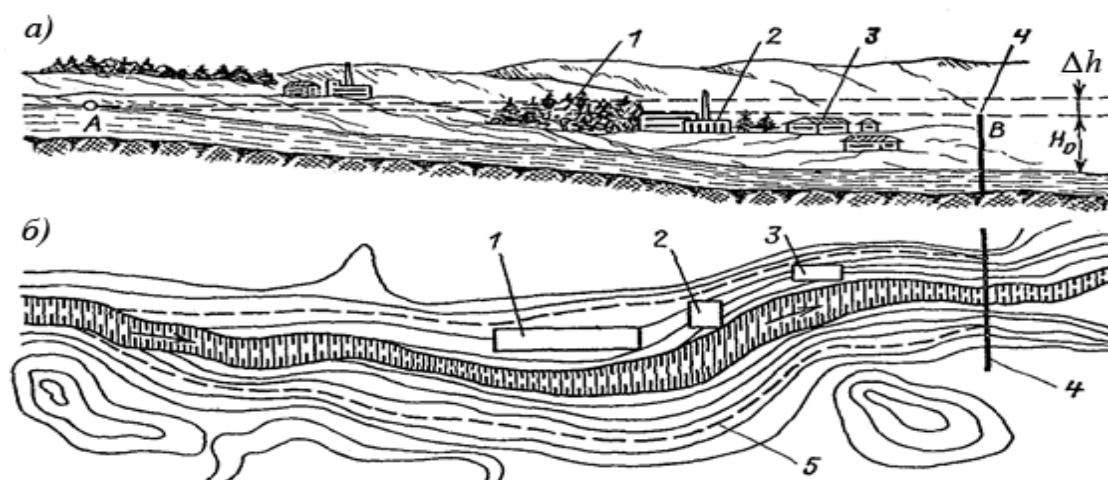


Рисунок 83 – Гребельна схема гідроелектростанції:

a – поздовжній профіль; *б* – план ділянки річки; 1, 2, 3 – об'єкти, які потрапили в зону затоплення: ліс, завод, житлові будинки; 4 – гребля; 5 – межа затоплення

У *дериваційній схемі* висота греблі може бути невеликою, що забезпечує забір води в деривацію. Зосереджений напір утворюється за рахунок різниці

ухилів води в річці та в деривації. У дериваційній схемі виділяють *головний вузол споруд, деривацію і станційний вузол споруд*. На рисунку 84 показано схему ГЕС з дериваційним каналом. У головному вузлі з підпертого б'єфу, створюваного невисокою *греблею*, вода надходить у дериваційний канал і потім у *напірний басейн*, звідки вона подається по *трубопроводах* до будівлі ГЕС. Від турбін вода відводиться в річку або в деривацію наступної ГЕС.

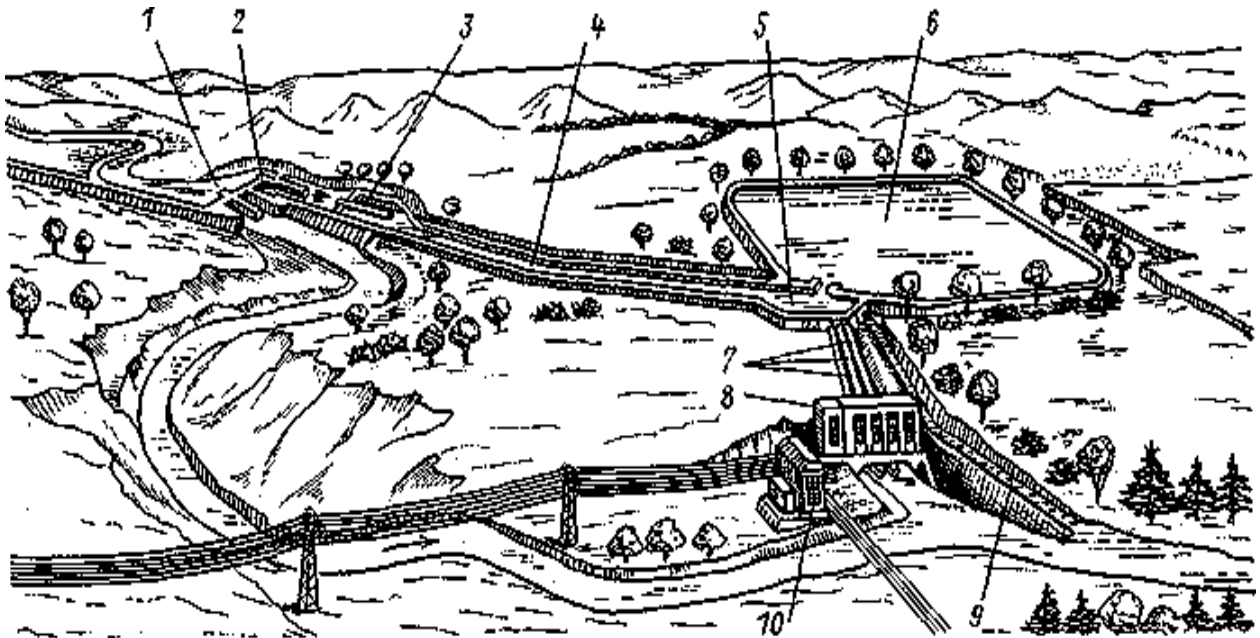


Рисунок 84 – Схема гідроелектростанції з дериваційним каналом:
 1 – гребля; 2 – водоприймач; 3 – відстійник; 4 – дериваційний канал;
 5 – напірний басейн; 6 – басейн добового регулювання; 7 – турбінний
 трубопровід; 8 – будівля ГЕС; 9 – холостий водоскид;
 10 – будівля розподільчого пристрою

За пересіченого гірського рел'єфу деривацію можна здійснити у вигляді тунелю, що прорізає гірський масив, або у вигляді трубопроводу, покладеного на опорах на поверхні землі. Добове регулювання витрат води та потужності ГЕС можна проводити підпертим б'єфом або водосховищем, створюваним греблею головного вузла. Якщо його обсяг є недостатнім для цієї мети, а також якщо безнапірна деривація є дуже довгою, то для добового регулювання потрібне влаштування спеціального басейну в кінці деривації або на її трасі.

Гребельна дериваційна схема може бути передбачувана за відповідних топографічних та інженерно-геологічних умов. Так, на гірській річці може бути побудовано порівняно високу греблю, яка дозволяє використовувати частину падіння річки та створити водосховище для регулювання витрат. Далі з верхнього б'єфу воду може бути відведено у деривацію, що дозволяє використовувати падіння річки нижче за греблю. В результаті гребля та деривація спільно беруть участь у зосередженні напору (рис. 85).

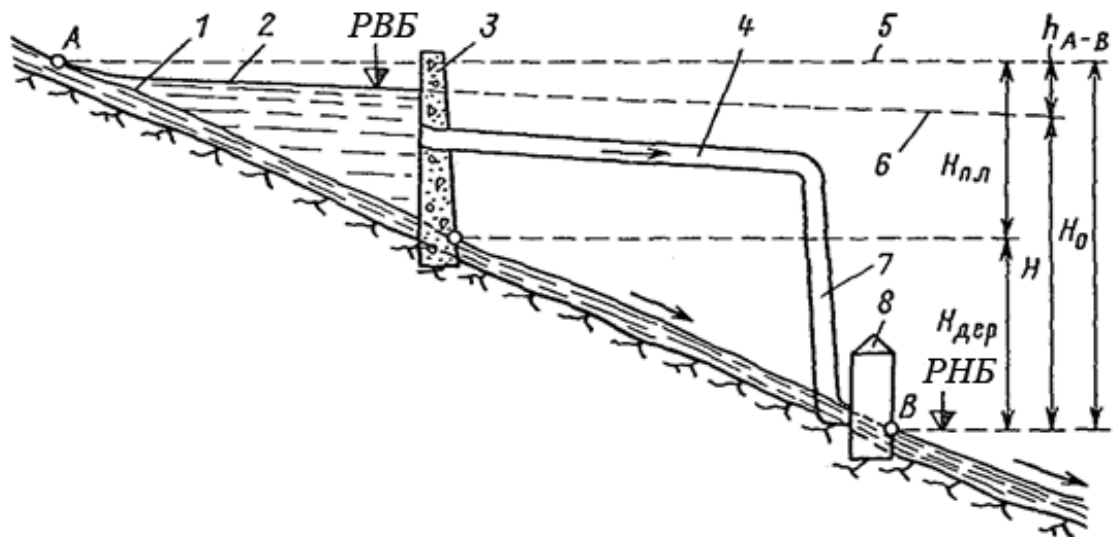


Рисунок 85 – Гребельно-дериваційна схема гідроелектростанції:
 1 – природна поверхня води; 2 – водосховище; 3 – гребель; 4 – дериваційний тунель; 5 – гідростатичний рівень; 6 – п’езометричний рівень при роботі ГЕС; 7 – турбінний водовід; 8 – будівля ГЕС

Каскади ГЕС та водосховищ. В одній гідроелектростанції не вдається використовувати енергію всієї річки, оскільки топографічні, інженерно-геологічні та економічні умови не дозволяють будувати греблі великої висоти. Однією з головних перешкод для будівництва високих гребель на рівнинних річках є надмірно великі затоплення земель. На великих та середніх річках зазвичай будують кілька ГЕС, які утворюють каскад. У нашій країні побудовано Дніпровський та Дністровський каскади ГЕС. Під час будівництва кількох ГЕС на річці доцільно забезпечувати підпір нижнього б’єфу вище розташованої ГЕС греблею нижньої ГЕС, що дозволяє повніше використовувати падіння річки під час регулювання стоку і коливання рівня б’єфів (рис. 86).

Для будівництва ГЕС зазвичай потрібні більші капіталовкладення, ніж для теплової електростанції (ТЕС). *Щорічні витрати* з експлуатації гідроелектростанцій є порівняно невеликими, оскільки ГЕС використовують поновлювані енергоресурси – воду, роботу агрегатів автоматизовано, чисельність експлуатаційного персоналу є малою. Тому *собівартість електричної енергії* ГЕС є порівняно невисокою. На ТЕС основні експлуатаційні витрати йдуть на паливо; чисельність експлуатаційного персоналу на ТЕС також є більшою, ніж на ГЕС. Атомні електростанції (АЕС) вимагають капіталовкладень приблизно в 1,5 рази більше, ніж ТЕС, а собівартість енергії АЕС – така сама, як ТЕС на органічному паливі (вугілля, газ). За виключно високою маневреністю ГЕС набагато перевершують ТЕС та АЕС: пуск агрегату ГЕС і набір повного навантаження відбувається протягом 1–2 хв, а на ТЕС пуск агрегату з холодного стану потребує 2–4 год.

Електричні станції, об’єднані лініями електропередачі, складають *енергетичну* (точніше, електроенергетичну) *систему*. Група районних

енергосистем утворює об'єднану енергосистему (ОЕС).



Рисунок 86 – Дніпровський каскад ГЕС

Завдяки високим маневреним властивостям гідроелектростанції в маловодні пори року, наприклад взимку, покривають переважно *піки добового графіку* електричного навантаження енергосистеми, залишаючи для ТЕС більш рівномірну, базову частину навантаження. У період повені, наприклад після наповнення водосховища навесні, ГЕС працюють повною встановленою потужністю цілодобово в *базисі добового графіку* навантаження. При цьому ГЕС віддають в енергосистему найбільшу можливу кількість дешевої електричної енергії.

У процесі експлуатації гідроелектростанції в її верхньому б'єфі відбуваються коливання рівня води, спричинені наповненням та спрацюванням водосховища. За наявності водосховища великого обсягу воно може бути одночасно використане для зменшення піків витрат паводків та повеней з метою ліквідації повеней у нижньому б'єфі або з метою зменшення водозливних отворів греблі. За малої ємності водосховища та неекономічності

його використання для регулювання стоку річки рівень води зазвичай підтримується на постійній відмітці НПР.

Гідроелектростанції, що мають водосховища, мають істотний вплив і на режим нижнього б'єфу. З водосховищ у нижній б'єф надходить позбавлена наносів освітлена вода, влітку холодніша, а взимку тепліша, ніж у природних умовах. Взимку в нижньому б'єфі утворюється незамерзаюча ополонка, яка є особливо великою у гідроелектростанцій з добовим регулюванням стоку. За межами ополонки або за її відсутності підвищені зимові витрати, особливо за добового регулювання, тягнуть за собою тимчасові підвищення рівня води в нижньому б'єфі проти природних і можуть викликати затоплення прибережної території, так звані зимові повені. З підвищеннями рівня чергуються зниження рівня, які викликані зменшенням витрати ГЕС вночі.

9.2 Гідроелектростанції

Компонування гідроелектростанцій. Будівля руслової низьконапірної ГЕС розміщується поруч із греблею, входить до складу напірного фронту і має розраховуватись на стійкість проти зсуву тиском води верхнього б'єфу, як і бетонна гребля. Компонування низьконапірного гідровузла з бетонною греблею показано на рис. 87.

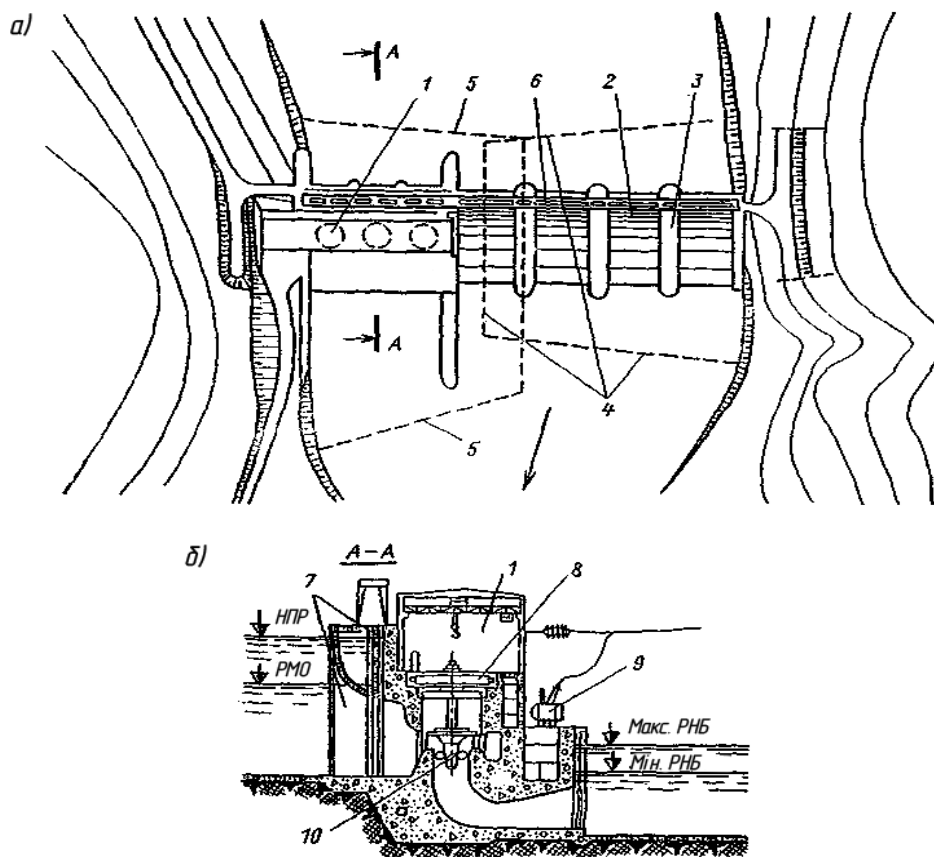


Рисунок 87 – Компонування низьконапірної руслової гідроелектростанції

a – план споруди; *б* – розріз А-А по будівлі ГЕС;

1 – будівля ГЕС; 2 – водозливна гребля; 3 – бик; 4 – контур перемички I-ї черги;

5 – контур перемички II-ї черги; 6 – затвори водопропускних отворів;

7 – водоприймач ГЕС; 8 – генератор; 9 – трансформатор; 10 – турбіна

За середніх та великих напорів будівлю ГЕС розміщують за греблею. Така ГЕС називається *пригребельною*. Будівля *пригребельної* ГЕС не входить до напірного фронту гідровузла, так як її розташовано за греблею. Схему пригребельної ГЕС з бетонною греблею наведено на рисунку 88.

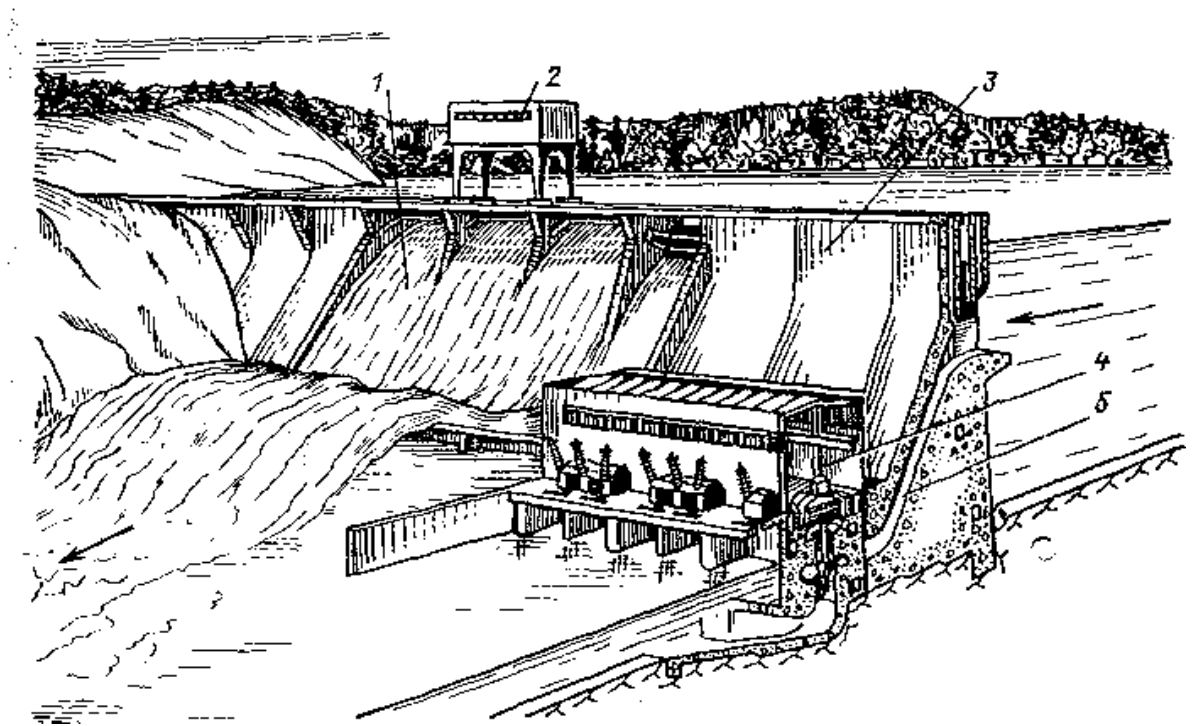


Рисунок 88 – Пригребельна гідроелектростанція з бетонною греблею:
1 – водозливна частина греблі; 2 – кран для підйому затворів;
3 – станційна частина греблі; 4 – будівля ГЕС; 5 – турбінний водовід

Вода до турбін ГЕС підводиться по трубах, покладених у тілі так званої станційної частини бетонної греблі або зовні, на її низовій грані.

Якщо гребля побудована з ґрунтових матеріалів, то вода до будівлі ГЕС підводиться по трубах, укладених під греблю, по береговому тунелю або каналу, з яких вона надходить у турбінні водоводи, що ведуть до турбін ГЕС.

Схеми застосовуваних компоновок гідровузлів з пригребельній ГЕС показано на рисунку 89.

Компонування станційного *дериваційного вузла ГЕС* залежить від типу деривації. Якщо деривація є *безнапірною* – у вигляді каналу або безнапірного тунелю, – то в її кінці влаштовується *напірний басейн* із водозабірною спорудою. Призначення даної споруди – забезпечити забір води до турбінних водоводів, які підводять її до турбін ГЕС. У даній споруді розташовуються *затвори* та *сорозатримуючі решітки*. У напірному басейні передбачаються у разі потреби *споруди для скидання* надлишків води, скидання шуги та промивання наносів. Якщо деривація є дуже довгою, то поблизу напірного басейну або на трасі деривації будують *басейни добового регулювання витрат* води та потужності ГЕС.

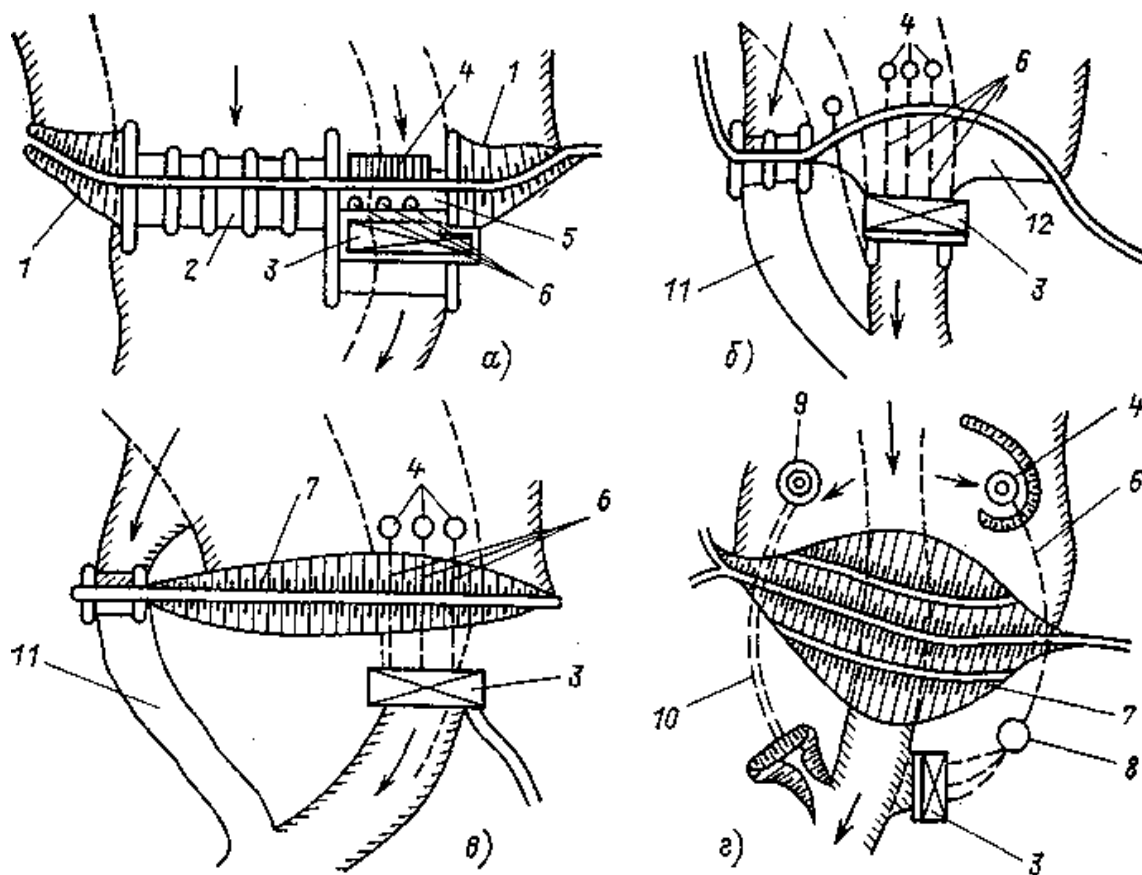


Рисунок 89 – Компонування пригребельних гідроелектростанцій:

а – з гравітаційною греблею; *б* – з арковою греблею;

в – з ґрунтовою греблею з підводом води трубами; *г* – те ж тунелем;

1 – берегові ґрунтові ділянки греблі; *2* – водозливна частина греблі; *3* – будівля

ГЕС, *4* – водоприймач; *5* – станційна частина греблі; *6* – турбінні водоводи;

7 – ґрунтова гребля; *8* – зрівняльний резервуар; *9* – шахтний водоскид;

10 – відвідний тунель водоскиду; *11* – поверхневий береговий водоскид;

12 – аркова гребля

Якщо деривація є довгою і напірною у вигляді тунелю або труб, то в кінці деривації влаштовують *зрівняльний резервуар*. Призначення резервуару – запобігти в тунелі або в трубі гідравлічного удару – підвищення тиску, який відбувається під час швидкої зупинки агрегатів ГЕС, коли швидкість течії води різко зменшується. За наявності зрівняльного резервуару вода з тунелю або труб вливається в зрівняльний резервуар, піднімається до максимального рівня, при цьому тиск у напірних водоводах підвищується набагато менше, ніж за гідравлічного удару. Зрівняльний резервуар може бути виконаний у вигляді висіченої в скелі *шахти* або *вежі*, що споруджується на поверхні землі (рис. 90, *а*). За великих коливань рівня води потрібен високий резервуар і для зменшення об'єму та вартості робіт його споруджують у вигляді верхньої камери з водозливом та нижньої камери, які з'єднуються шахтою малого діаметру (рис. 90, *б*). Висота зрівняльного резервуару може перевищувати 150 м.

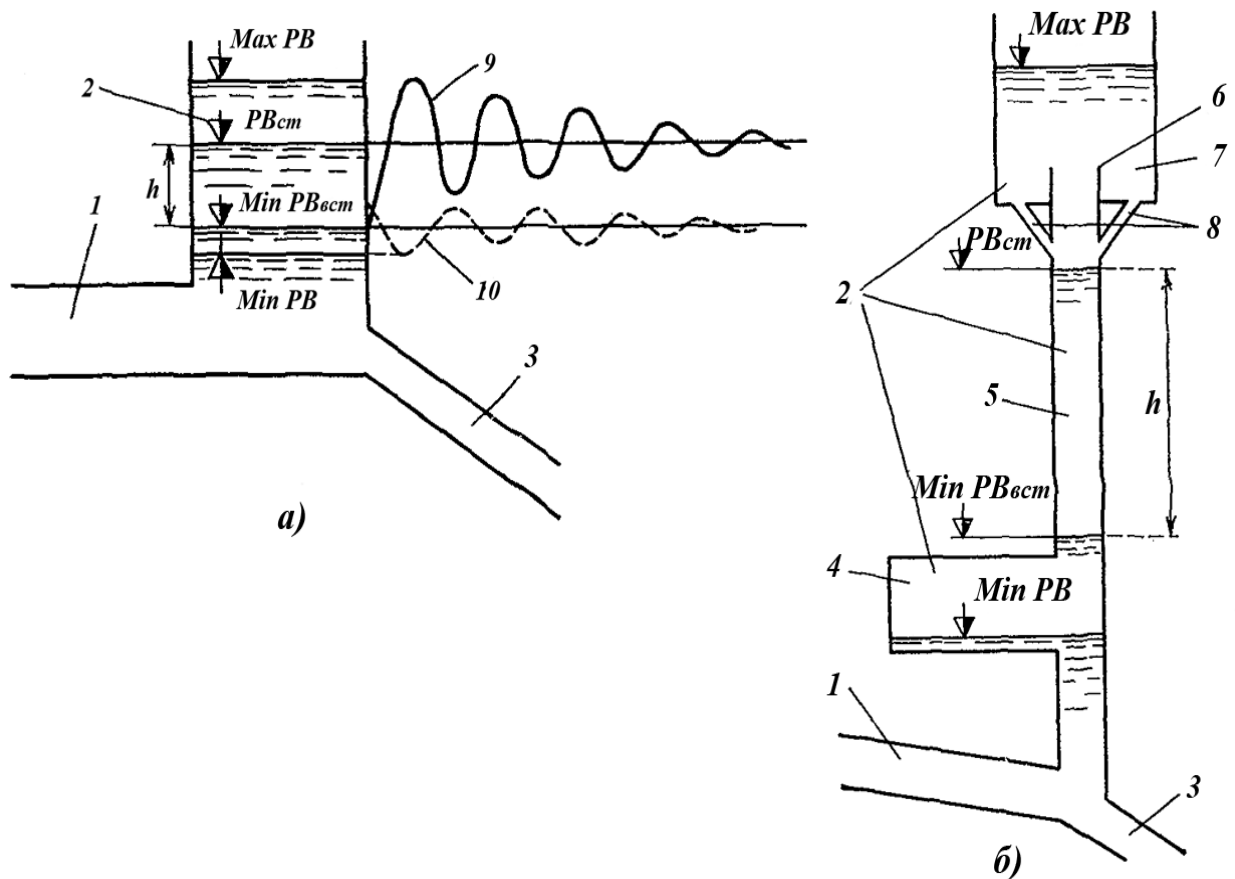


Рисунок 90 – Схеми резервуарів:

- а* – циліндричний резервуар; *б* – двох камерний резервуар з водозливом;
 1 – напірний дериваційний тунель; 2 – зрівняльний резервуар; 3 – турбінні водоводи; 4 – нижня камера; 5 – сполучна шахта; 6 – водозлив;
 7 – верхня камера; 8 – отвори для спорожнення камери; 9 – коливання рівня води в резервуарі під час скидання навантаження;
 10 – те ж саме під час включення навантаження

За зрівняльним резервуаром тунель поділяється на *турбінні водоводи*, на початку яких у спеціальному приміщенні встановлюються *затвори*. Схема деривації ГЕС з напірним тунелем показано на рис. 91. За високих напорів турбінні водоводи як за напірної, так і за безнапірної деривації проектуєть сталевими і укладають на опорах на поверхні берегового схилу. У ряді випадків доцільно здійснювати турбінні водоводи тунельного типу. За середніх напорів і високих витрат води на ГЕС з дериваційним каналом доцільно влаштовувати турбінні залізобетонні водоводи.

Розташування будівлі дериваційної ГЕС залежить від топографічних та інженерно-геологічних умов і в кінцевому підсумку визначається в результаті техніко-економічних розрахунків та зіставлення варіантів. У разі дериваційного каналу найчастіше, а за напірної деривації у багатьох випадках будівля ГЕС проектується наземною і розміщується в кінці підводної деривації. Вода зазвичай відводиться коротким каналом.

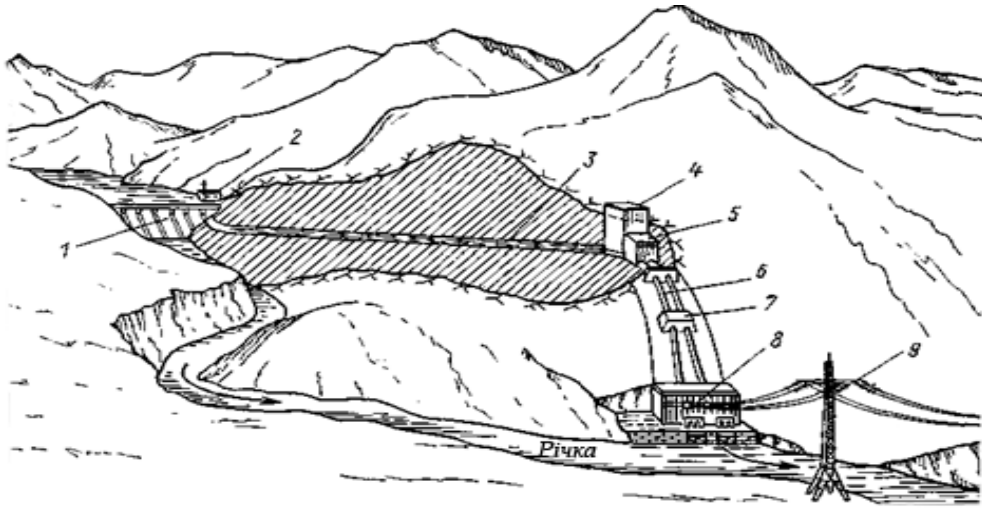


Рисунок 91 – Гідроелектростанція з дериваційним тунелем:
 1 – гребля; 2 – водоприймач; 3 – напірний тунель; 4 – зрівняльний резервуар;
 5 – приміщення затворів; 6 – турбінні водоводи; 7 – анкерна опора;
 8 – будівля ГЕС; 9 – лінія електропередачі

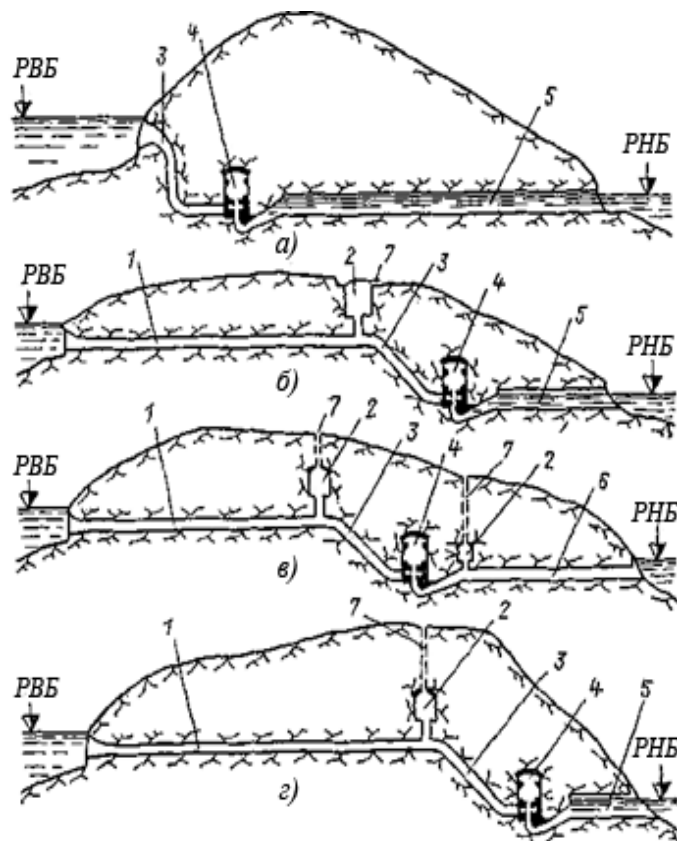


Рисунок 92 – Схеми підземних гідроелектростанцій із тунельною деривацією:
 а – ГЕС на початку деривації; б, в – ГЕС у середині деривації; г – ГЕС
 наприкінці деривації; 1 – напірний підводити тунель; 2 – зрівняльний резервуар;
 3 – турбінні водоводи; 4 – машинний зал; 5 – безнапірний відвідний тунель;
 6 – напірний відвідний тунель; 7 – повітропровід

Якщо дериваційна ГЕС будується в сильно пересіченій місцевості, то *машинну залу* може бути доцільно розмістити *під землею* на початку, у середній частині або наприкінці деривації (рис. 92).

Поряд з будівництвом великих ГЕС велике значення має використання невеликих річок для будівництва гідроелектростанцій малої та середньої потужності.

Гідроакумулюючі електростанції (ГАЕС)

ГАЕС виконують поперемінно функції насосної станції та гідроелектростанції. У години знижених навантажень енергосистеми, наприклад, вночі, ГАЕС працює як *насосна станція*, споживає електричну енергію і перекачує воду з нижнього акумулюючого басейну у верхній акумулюючий басейн, розташований на височині. Вранці і особливо ввечері, коли електроспоживання зростає, вода з верхнього басейну проходить через турбіни в нижній басейн. У цей час ГАЕС працює як *гідроелектростанція*, виробляє та віддає енергію в енергосистему. Є ГАЕС не тільки з добовим, але й з тижневим і навіть із сезонним акумулюванням енергії.

Внаслідок втрат енергії ГАЕС віддає в систему близько 70–75 % електроенергії, що споживається електродвигунами насосів на підкачування води з нижнього басейну у верхній. Однак ГАЕС витрачають енергію вночі, коли вона виходить шляхом довантаження працюючих агрегатів ТЕС, що витрачають на це порівняно невелику кількість палива на 1 кВт-год. Виробляють же енергію ГАЕС в період утрішніх і вечірніх піків графіку електричного навантаження системи, вивільнюючи агрегати ТЕС від короточасних включень в роботу, на що їм знадобилася б велика питома витрата палива. В результаті виходить економія палива в енергосистемі 0,10–0,15 кг на 1 кВт-год вироблення енергії ГАЕС. Особливо велика економія органічного палива, до 1,5–2,0 кг/(кВт-год), виходить, якщо для перекачування води у верхній резервуар використовується енергія атомних електростанцій.

Велике значення має заповнення нічних провалів електричного навантаження системи роботою насосів ГАЕС. Пояснюється це тим, що великі агрегати ТЕС допускають зниження навантаження до певних меж, так званого «технічного мінімуму навантаження». Тому під час зниження вночі споживання електроенергії необхідно не допускати зниження навантаження нижче за ці межі, штучно підвищуючи його шляхом включення насосів ГАЕС. Завдяки високим маневреним властивостям ГАЕС відіграють велику роль у забезпеченні надійності електропостачання та високої якості електроенергії. В Україні побудовано низку ГАЕС: Київську ГАЕС потужністю 225 МВт, Канівську ГАЕС. Потужністю 1000 МВт, будуються Ташлицька ГАЕС, проектною потужністю 906 МВт (фактична на сьогодні 453 МВт) та Дністровську ГАЕС (одну з найпотужніших у Європі), проектною потужністю 2268 МВт (фактична на сьогодні 1296 МВт).

Приливні електростанції (ПЕС)

ПЕС використовують *приливні коливання* рівня моря, які відбуваються двічі на добу. Амплітуда коливань змінюється від максимальної в *сизигії* до

мінімальної в *квадратури*. Повний цикл змін амплітуди припливу становить 29,53 діб – синодичний місяць. Протягом цього періоду бувають дві сизигії та дві квадратури.

Найбільша величина припливу, тобто різниця максимального рівня під час припливу і мінімального під час відливу, у відкритому океані становить 0,3 м і значно збільшується біля узбережжя, у протоках та вузьких затоках. Найбільша у світі величина припливу 19,2 м спостерігається у затоці Фанді на Атлантичному узбережжі Канади.

Розглянемо використання приливної енергії для районів із правильним напівдобовим припливом, найпоширенішим на морських узбережжях.

Найбільш ефективною є *однобасейнова схема* використання енергії припливів. За наявності зручного заливу він може бути відокремлений від моря греблею і будівлею ПЕС і використаний як басейн, що наповнюється в години припливу та спорожнюється в години відливу. На ПЕС встановлюються оборотні агрегати двосторонньої дії, які можуть працювати під час руху води з моря до басейну та з басейну в море. У години припливу рівень води в морі є вищим, ніж у басейні, і за достатнього напору ПЕС може виробляти електроенергію, пропускаючи воду через турбіни з моря в басейн. У години відливу створюється перепад рівнів між басейном і морем. За достатнього напору ПЕС виробляє електричну енергію, пропускаючи воду з басейну в море.

Для підвищення напору і забезпечення можливості зсуву роботи ПЕС відповідно до графіку навантаження агрегати ПЕС використовуються і в *насосному режимі*. Під час малої або повної води за збігу з часом слабкого навантаження теплової електростанції, що спільно працює, вода відкачується з басейну в море або піднімається вище повної води. При цьому рівень води в басейні знижується (підвищується) та напір підвищується. Коли робота насосів стає неекономічною, насосний режим припиняється. Після цього перепад рівнів, тобто напір, продовжує підвищуватися тільки внаслідок приливного підвищення (зниження) рівня води в морі. За досить великого тиску агрегати ПЕС починають працювати в *турбінному режимі*, пропускаючи воду з басейну в море або з моря в басейн. При цьому ПЕС виробляє електроенергію доти, доки напір не знизиться до мінімуму, за якого агрегати вже не можуть виробляти електричну енергію. Після цього продовжується наповнення (опорожнення) басейну через водопропускні отвори греблі і потім цикл повторюється.

Так як протягом доби відбуваються два припливи і два відливи, то ПЕС 4 рази на добу припиняє вироблення електроенергії. Години роботи ПЕС визначаються часом настання припливів і відливів і кожної доби зміщуються на 50 хв, але за допомогою насосного режиму цей зсув може бути змінений. Для щоденної участі у покритті максимальних навантажень найбільш доцільною є спільна робота ПЕС з ГАЕС або ГЕС, яка має водосховище.

У Франції за однобасейновою схемою побудовано найбільшу у світі ПЕС Ранс потужністю 240 МВт (24 агрегати по 10 МВт) (рис. 93).



Рисунок 93 – ПЕМ «Ля Ранс» в гирлі річки Ранс, поряд з містечком Сен-Мало, Бретань, Франція.

Основне обладнання гідроелектростанцій

На гідроелектростанціях для перетворення потенційної енергії водотоку в електричну енергію та передачі останньої споживачам встановлюється різне технологічне обладнання. До *основного технологічного обладнання* прийнято відносити гідравлічні машини – *гідротурбіни* та електричні машини – *гідрогенератори*, а також *механічне обладнання* ГЕС (затвори) і *трансформатори*. Згадане технологічне обладнання необхідне для включення, безперебійної роботи та зупинки основного обладнання.

Розміщення обладнання. Розміщення основного та допоміжного обладнання в межах будівлі ГЕС у додаткових приміщеннях і на березі буває різним. Однак є деякі традиційні рішення, які добре зарекомендували себе на практиці. Під час розміщення устаткування зазвичай доводиться враховувати характер компонування споруд гідроелектростанції; умови, що визначають тип будівлі ГЕС; габарити, масу та інші параметри обладнання, а також способи його доставки до місця встановлення. Тип того чи іншого пристрою, машини, апарату, приладу вибирається з урахуванням вимог зручності експлуатації, надійності, довговічності та безаварійної роботи. При експлуатації гідроелектростанцій вирішується задача підвищення ефективності та якості роботи підприємства. Дана мета досягається шляхом підвищення коефіцієнта корисної дії обладнання та зниження витрат на його експлуатаційно-ремонтне обслуговування.

Гідротурбіни. Двигун, що перетворює механічну енергію потоку води в енергію твердого тіла, що обертається, називається *гідротурбіною*. Для стислості далі називатимемо її просто турбіною. Основним органом, у якому перетворюється енергія, є *робоче колесо* турбіни. Потужність на валу турбіни можна визначити, якщо відомі напір H і витрата води Q , за формулою:

$$N_T = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \cdot \eta_T, \quad (13)$$

яка відрізняється від формули для потужності агрегату, наведеної вище, лише відсутністю ККД генератора.

Величини Q і H змінюються в дуже широких межах, тому потужність турбін буває від десятків до декількох сотень тисяч кіловат, а діаметр робочих колес D_l змінюється від десятих метру до 10,5 м. Відповідно до поєднань величин Q , H , N_T у будівлі ГЕС встановлюють турбіни різного типу як за принципом роботи, так і за конструктивним виконанням.

Залежно від принципу дії сучасні турбіни поділяються на два класи – *реактивні* та *активні*. Тиск води перед робочим колесом реактивної турбіни більше за атмосферний, що й змушує колесо обертатися. До робочого колеса активної турбіни вода надходить із сопла у вигляді вільного струменя, що летить у повітрі і надає на колесо динамічний вплив. В Україні в більшості ГЕС встановлено реактивні турбіни. Конструктивне виконання турбіни залежить від багатьох факторів, але визначальним є положення *валу*, яке може бути вертикальним, горизонтальним або похилим.

Проточна частина реактивних турбін з вертикальним валом має складну форму. Схеми її різних типів турбін наведено на рисунку 94.

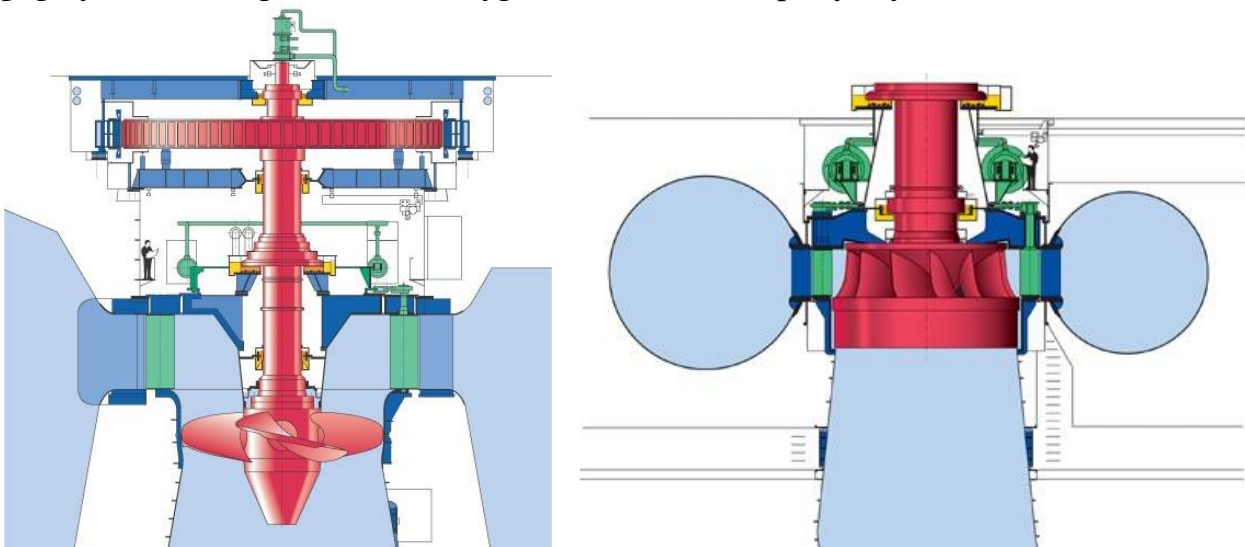


Рисунок 94 – Схеми різних турбін:
a – поворотно-лопатева (ПЛ); *б* – радіально-осьова (РО)

Для кожного типу турбін виявлено межі використання їх за напором – тобто діапазон напорів. У таблиці 1 надано основні відомості про застосовувані типи реактивних турбін.

Таблиця 1 – Основні параметри турбін

Тип турбіни	Напір, м		Максимальна - потужність, МВт	Діаметр робочого колеса, м	
	мін.	макс.		мін.	макс.
Поворотньо-лопатева	2	70	300	1,0	10,5
Радіально-осьова	2	500	800	0,35	8,5

Прогресивними тенденціями в турбобудуванні є збільшення потужності машини та підвищення ККД у широкому діапазоні умов її роботи. Крім того, дослідники та конструктори прагнуть підвищити надійність і довговічність турбіни, покращити технологію її виготовлення, просунути кожен з існуючих типів турбін в область більш високих напорів.

Накопичений великий досвід проектування, виготовлення та експлуатації турбін використаний для розробки їх номенклатури, на основі якої здійснюється їх вибір для нових ГЕС.

Гідрогенератори

Машина, що перетворює механічну енергію обертання гідротурбіни в електричну, називається гідрогенератором. Далі називатимемо його просто генератором. На ГЕС встановлюються переважно *синхронні генератори трифазного* струму у вертикальному виконанні і, значно рідше, з горизонтальним валом. Генератор складається з нерухомої частини – *статору* – і *ротору*, що обертається, до якого прикріплені його полюси. Вал генератору жорстко прикріплений до валу турбіни, тому обидві машини можна розглядати як єдиний *агрегат* (рис. 95, 96). Електрична енергія знімається зі статору. Активна сталь статору разом з полюсами ротору утворюють магнітну систему. Для збудження магнітного поля застосовують постійний струм, що подається в обмотки ротору (полюси).

Частота обертів генератору залежить від частоти змінного струму в електричній мережі f та числа пар полюсів p . В Україні та багатьох інших країнах $f = 50$ Гц. Тому нормальна частота обертання ротора визначається так: $n = 60 f / p$. Кількість пар полюсів призначається такою, щоб частота обертання ротору була оптимальною для робочого колеса турбіни.

Генератори є дуже досконалими машинами, які мають високий ККД – 96...98,4 %.

Сумарна вага *агрегату* через статор турбіни передається на масив бетону підводної частини будівлі ГЕС. До цього навантаження додається також *осьовий тиск води* на робоче колесо турбіни, яке не завжди вдається точно визначити розрахунком. Тому значення осьового тиску води на робоче колесо, як і багато інших питань, доводиться виявляти експериментальним шляхом на моделях у лабораторіях. Окрім лабораторних досліджень, важливо проводити натурні експерименти. Їх здійснення на головних зразках агрегатів дозволяє усунути недоліки, що виявилися, і створити серію машин, які володіють хорошими якостями.

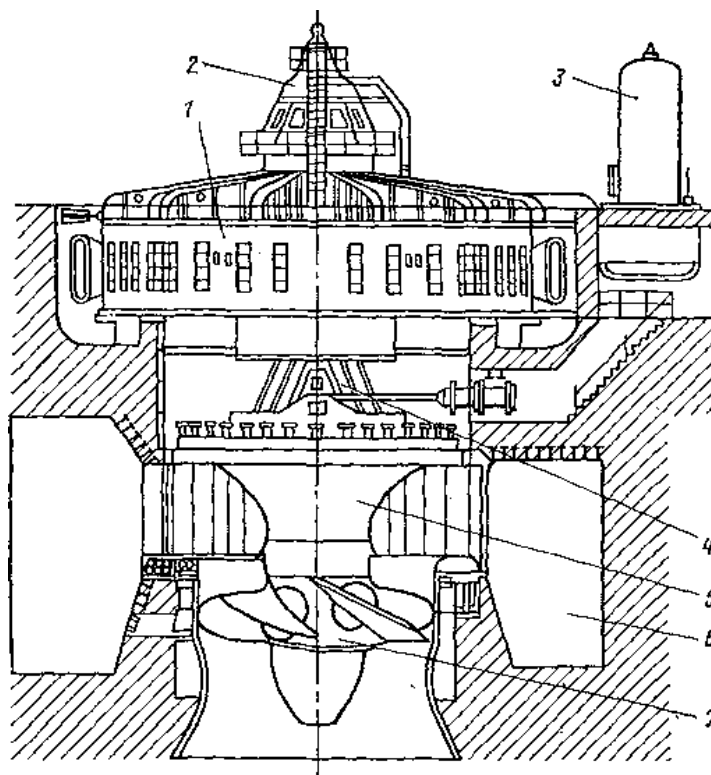


Рисунок 95 – Компонівка агрегата с вертикальним валом:
 1 – генератор; 2 – збуджувач генератору; 3 – маслонапірна установка турбіни;
 4 – опора ротору генератору на кришку турбіни; 5 – кришка турбіни;
 6 – спіральна камера; 7 – робоче колесо турбіни

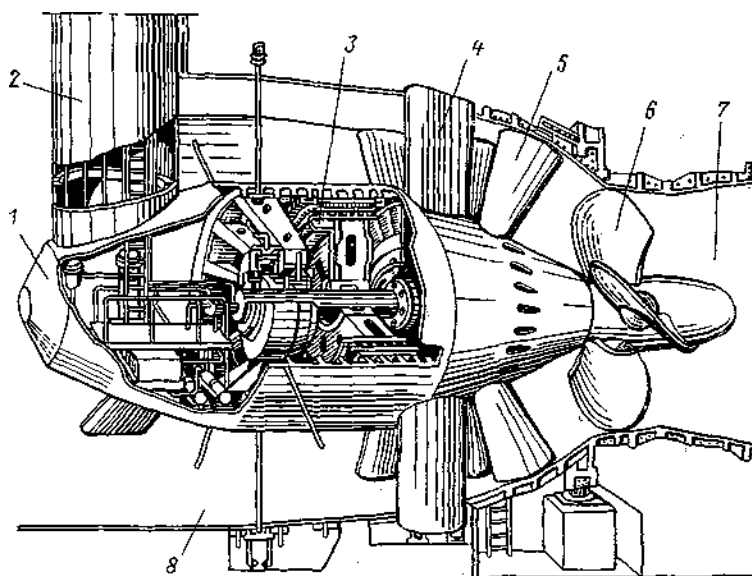


Рисунок 96 – Капсульний горизонтальний агрегат з поворотно-лопатевою турбіною:
 1 – капсула; 2 – вхід у капсулу; 3 – генератор; 4 – статор турбіни;
 5 – напрямний апарат; 6 – робоче колесо турбіни; 7 – відсмоктуюча труба;
 8 – турбінна камера

Якість агрегату багато в чому визначається матеріалом, з якого виготовляються ті чи інші конструктивні елементи. У турбобудуванні більшість деталей робиться з низьколегованої сталі, що добре піддається зварюванню. Виняток становлять елементи, схильні до ерозійного впливу високошвидкісного потоку води. Лопаті робочого колеса, ківші та насадки сопел, іноді й лопатки направляючого апарату доводиться робити з нержавіючої сталі або покривати листами цієї сталі. Зазначений матеріал добре протистоїть ерозійному впливу потоку води, що навіть несе тверді частинки – наноси. Особливі вимоги висувають і до металу, що використовується в генераторах. Конструктори заводів шукають шляхи зниження питомої металомісткості генераторів, тобто витрати металу на 1 МВт потужності.

Агрегати з горизонтальним валом знаходять застосування у двох випадках: на високонапірних ГЕС з ковшовими турбінами за частоти обертання більш ніж 300 об/хв і на низьконапірних руслових ГЕС, де доцільно застосовувати *капсульні агрегати*.

Всі розглянуті типи турбін і генераторів знаходять застосування і на гідроакумулюючих електричних станціях. З метою здешевлення обладнання ГАЕС все більше застосування знаходять так звані *оборотні агрегати*. Оборотна гідромашина може працювати і як турбіна, і як насос. Оборотна електрична машина виконує функції генератору та двигуна. Таким чином, оборотний агрегат є машиною, де *двигун-генератор* має загальний вал з *насосом-турбіною*. Застосування оборотних агрегатів знижує вартість будівництва ГАЕС за рахунок скорочення витрати металу, компактнішої будівлі та скорочення кількості водопровідних пристроїв.

Трансформатори

Електричні апарати, що перетворюють змінний струм однієї напруги в іншу, називаються трансформаторами. На ГЕС зазвичай встановлюються як підвищуючі, так і знижувальні (для місцевих потреб) трансформатори. Для передачі енергії в електроенергетичну систему напруги струму, що надходить від генератору, має бути збільшено. З цією метою застосовують підвищуючі трансформатори – трифазні або групи однофазних. Висока напруга дозволяє зменшити переріз проводів ліній передачі та втрату енергії в них.

Великі трансформатори випускаються відповідно до стандарту номінальною потужністю, що утворює ряд від 16 до 1000 МВ·А. Потужність фази однофазного трансформатору становить 1/3 потужності відповідного трифазного трансформатору. Залежно від потужності, напруги та типу трансформатору його габарити та маса змінюються в широких межах. Наприклад, найбільший трифазний трансформатор з напругою 500 кВ та номінальною потужністю 400 МВ·А має масу 410 т, габарити у плані 16,2 · 7,8 м та висоту близько 10 м.

Трансформатори доцільно розміщувати ближче до агрегатів ГЕС, і тому їх встановлюють часто поблизу машинного залу. На низьконапірних ГЕС підвищуючі трансформатори розміщують над відсмоктуючими трубами, а на пригребельних ГЕС – у пазусі між станційною частиною греблі і машинною

залою. Зазвичай їх встановлюють на відкритому повітрі, рідше – у спеціальному приміщенні. При підземному розміщенні агрегатів іноді трансформатори розташовують під землею.

Від трансформаторів електроенергія надходить на підвищуючу підстанцію, до *розподільних* пристроїв. Звідси беруть початок *лінії електропередачі* високої напруги, за якими електроенергія передається до центрів споживання.

Розподільні пристрої поділяються на *відкриті* (ВРП), що знаходяться на відкритому повітрі, і *закриті* (ЗРП), коли обладнання стоїть у приміщеннях.

Механічне та допоміжне обладнання гідроелектростанцій

Для роботи основного гідросилового та електромеханічного обладнання ГЕС та ГАЕС необхідне різне *допоміжне обладнання*, яке комплектується у певні системи, так звані *господарства*. Для покриття потреб у трансформаторній та турбінній олії на ГЕС є спеціальне *масляне господарство*, яке включає складські ємності, апаратну, систему маслопроводів із запірною арматурою, а також стаціонарні та пересувні насоси. Трансформаторна олія є ізоляційною, турбінна – мастильною. Крім того, для механічного обладнання гідротехнічних споруд застосовують консистентні мастила.

Відповідальні функції виконує *система технічного водопостачання*. Вода в цю систему може надходити з верхнього б'єфу самопливом або ж за допомогою насосів. На низьконапірних ГЕС перевагу віддають насосній системі, а за напору більш ніж 60 м частіше влаштовують самопливний водогін. За дуже високого тиску насоси забирають воду з нижнього б'єфу. Головними споживачами води є генератори. Вода використовується в них для охолодження – відвід теплоти, що виділяється під час роботи машини. Генератори виготовляються з повітряним або водяним охолодженням. Однак і в тому, і в іншому випадку теплота відводиться через систему технічного водопостачання. Крім того, із зазначеної системи вода може забиратися для мастила підшипників турбін і охолодження підвищуючих трансформаторів. Самостійними водопровідними системами на ГЕС мають бути водопроводи питної води та протипожежного водопостачання. Водозабір у кожен з трьох водопровідних систем необхідно захищати від забруднення та попадання зважених у річковій воді наносів.

Під час експлуатації ГЕС виникає потреба в періодичному огляді гідромашини та її проточного тракту, для чого створюється *система відкачування води* з турбінної камери та відсмоктуючої труби. На дану систему можуть бути покладені задачі відкачування фільтраційних вод, що проникають до підводної частини будівлі ГЕС. Для перехоплення фільтрованої води в будівлі ГЕС прокладаються дренажні галереї і закладаються вертикальні дренажні труби. Мережа цих пристроїв дозволяє зібрати воду, що профільтрувалася, в одне місце, звідки вона за допомогою насосів видаляється в нижній б'єф.

Для обслуговування обладнання на ГЕС необхідне стиснене повітря. Його споживачами є повітряні вимикачі високої напруги, гальма роторів генераторів,

маслоповітряні котли маслонапірних установок для регулювання роботи турбін, пневматичний інструмент та інші системи. Стиснене повітря отримують від *компресорів* і розводять його повітроводами до місць споживання.

Важливу групу механізмів та пристроїв складає *механічне обладнання* ГЕС. До цієї групи обладнання відносять *затвори*, що встановлюються на водоводах, по яких вода надходить до турбін; *сорозатримуючі решітки*, призначені для очищення потоку води від плаваючих тіл; *підйомні механізми* для операцій із затворами та решітками. Відзначимо, що з боку нижнього б'єфу будівля ГЕС також обладнується загородженнями. Відсмоктуючі труби гідротурбін перекриваються зазвичай плоскими затворами, які є *ремонтними загородженнями*. Їх встановлюють, якщо потрібно осушити проточну частину турбіни для ремонтних робіт або ревізії. Для встановлення та підйому ремонтних загороджень з боку нижнього б'єфу застосовують *козлові* або *мостові* крани.

На дериваційних ГЕС високого та середнього напорів для припинення руху води турбінними трубопроводами застосовуються затвори різних конструктивних типів, які розташовуються на початку трубопроводів (у будівлі напірного басейну або за зрівняльним резервуаром) або в кінці трубопроводів (перед турбінами). Це можуть бути плоскі затвори, засувки, дискові та кульові затвори. Кожен із названих типів має оптимальну область застосування. Так, *плоскі затвори* встановлюються в напірних басейнах і працюють за малих напорів. Засувки встановлюються за діаметрів трубопроводу не більш ніж 1,4 м і при $H < 400$ м. *Дискові затвори* виготовляються діаметром від 0,5 до 8,5 м і застосовуються при $H = 200 \dots 300$ м, дуже рідко до 450 м. *Кульові затвори* раціонально використовувати за напорів від 200 до 1800 м, максимальний діаметр такого затвору дорівнює 4,2 м.

Верхні затвори, встановлені на початку турбінних трубопроводів, є *аварійно-ремонтними*. Вони закриваються автоматично при відмові направляючого апарату турбіни або під час розриву трубопроводу. Нижні затвори не завжди встановлюються перед турбінами. Їх застосування виправдане за дуже високих напорів або коли від одного трубопроводу вода підводиться через патрубки до кількох турбін, нижній затвор дозволяє відключити одну з турбін під час роботи інших агрегатів. Затвори на турбінних трубопроводах, що виконують функції захисту у разі аварій, зазвичай закриваються за 50–80 с. В якості приводу ці затвори мають *електродвигун* або *гідралічний сервомотор*. Затвори турбінних трубопроводів не регулюють витрати води. Органом, що регулює витрату, є *напрямний апарат* або *сопло* турбіни.

Під час роботи ГЕС сорозатримуючі решітки будівель напірних басейнів засмічуються. Щоб уникнути втрат напору, виникає потреба в їх очищенні за діючих агрегатів. Для цієї мети застосовують спеціальні знаряддя механічного очищення. Найпростішими є пристосування типу *граблів*, «поліп» тощо. Знаряддя очищення сорозатримувальних решіток ГЕС наводяться в рух спеціальною машиною або монтажним краном.

Все важке технологічне обладнання ГЕС монтується за допомогою електричних *мостових* або *козлових* кранів великої вантажопідйомності. Ці крани переміщуються вздовж будівлі ГЕС. Вантажопідйомність кранів визначається масою найважчої частини обладнання. Зазвичай, це ротор генератору з валом. Попереднє складання обладнання, що надійшло на гідроелектростанцію, ведеться на монтажному майданчику будівлі ГЕС. Монтажний майданчик знаходиться в зоні дії основних вантажопідйомних кранів.

Контрольні питання

1. Описати гребельну схему використання водної енергії.
2. Описати дериваційну схему використання водної енергії.
3. Описати гребельно-дериваційну схему використання водної енергії.
4. Описати каскади ГЕС та каскади водосховищ.
5. Описати компонування гідроелектростанцій.
6. Описати гідроакumuлюючі електростанції (ГАЕС).
7. Описати приливні електростанції (ПЕС).
8. Описати основне обладнання гідроелектростанцій.
9. Описати принцип роботи гідрогенератору.
10. Описати принцип роботи трансформатору.
11. Описати механічне обладнання гідроелектростанцій.
12. Описати допоміжне обладнання гідроелектростанцій.

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 *обширними*, 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. Зрошені площі й надалі безперервно й інтенсивно розширюватимуться.

Осушення сільськогосподарських земель – сукупність гідротехнічних та агро меліоративних 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, слід 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 сільсько-господарської 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. Даний коефіцієнт коливається від 200 до 900. Наприклад, просо характеризується коефіцієнтами 177–367, овес 423–876, капуста 250–600, плоді дерева 250–500.

Задоволення потреб рослин у воді відбувається за рахунок природних ресурсів 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 врожайності 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. 97).

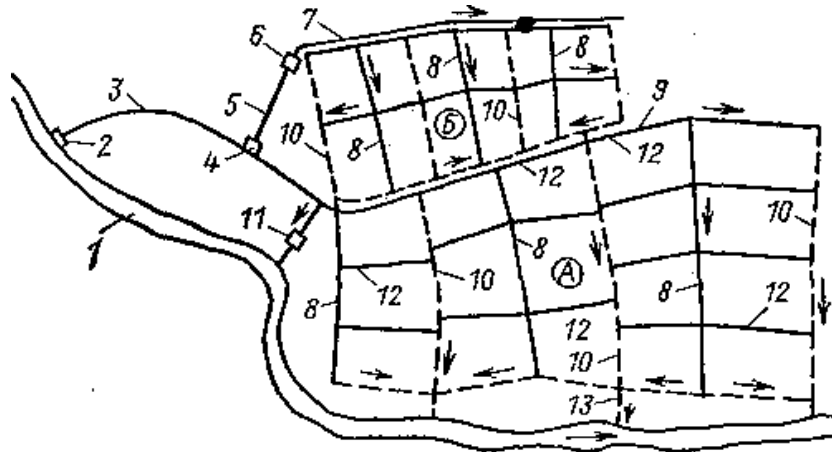


Рисунок 97 – Схема зрошувальної мережі:

- A* – зона самопливного зрошення; *B* – зона машинного зрошення;
 1 – річка; 2 – головна споруда; 3 – неодружена 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, головним чином, 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 головним чином 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 мікродовивипуски (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 % в порівнянні 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'єкту) 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, як правило, 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 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. 98). 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.

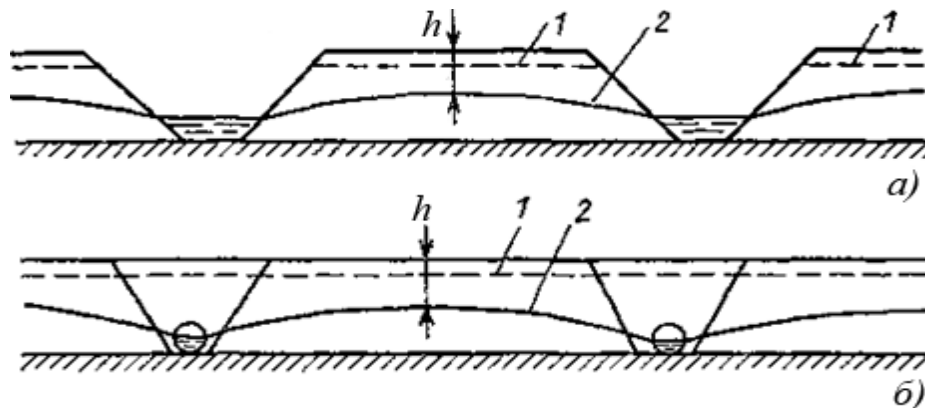


Рисунок 98 – Відкрита (а) та закрита (б) регулююча осушувальна мережа:
1 – початковий рівень ґрунтових вод; 2 – рівень ґрунтових вод після будівництва дренажу

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 99.

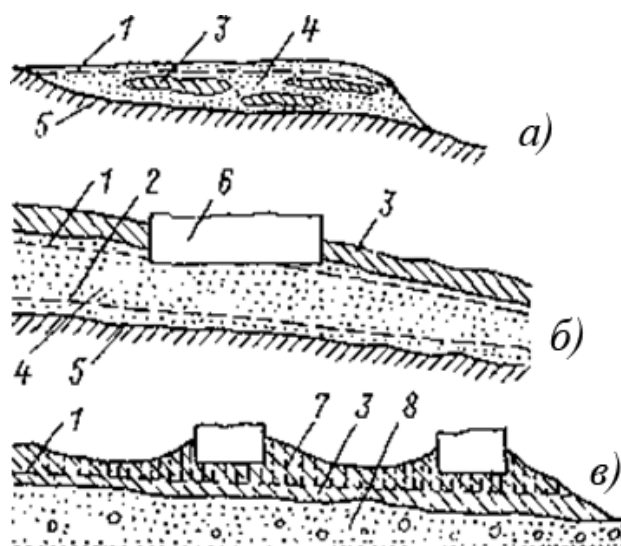


Рисунок 99 – Підтоплення територій верховодкою (а), ґрунтовими водами (б), ґрунтово-напірними водами (в):

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* за рахунок так званої *верховодки* – води поверхневих відкладень, у яких на невеликій глибині від поверхні землі містяться водотривкі або малопроникні прошарки – лінзи (наприклад, глини, суглинки) (рис. 99, 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. 99, б) води першого від поверхні землі постійного водоносного шару (залягають вони на водостійкому шарі) і *ґрунтово напірні*, або *міжпластові* води (рис. 99, б), 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 витіки, влаштуванні насипів і виїмок, що порушують стік зливових і талих вод тощо.

Підтоплення можуть виникнути і на територіях діючих підприємств і міст. Так, 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 ряд рішень, які, в свою чергу, залежать від місцевих умов. Перевагу потрібно віддавати найбільш ефективним економічним, досить 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. 98). 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. 100).

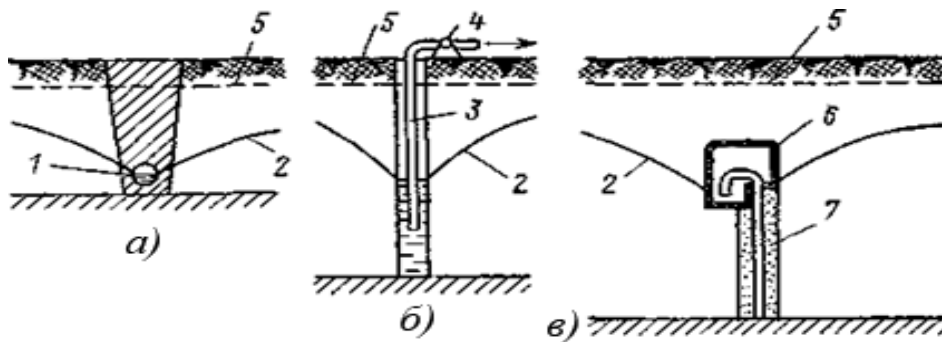


Рисунок 100 – Типи дренажів:

- a* – 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 економічнішою, 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. Дана 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 переозложених 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.

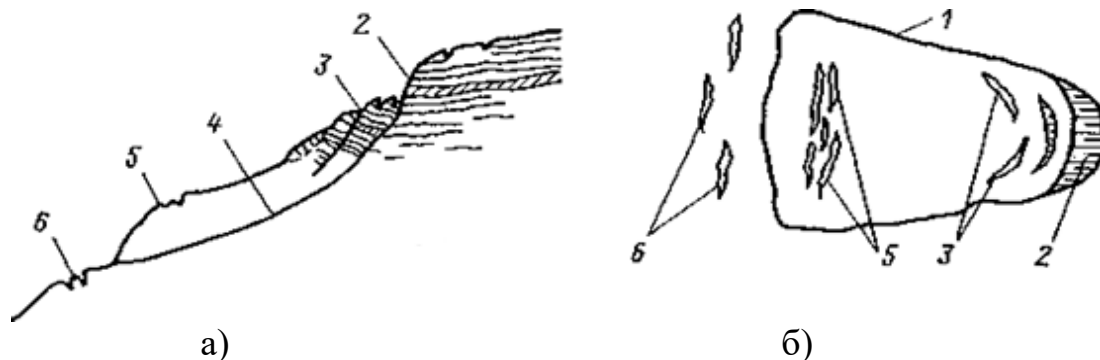


Рисунок 101 – Схема зсуву ґрунту:

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

На рис. 101 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 гідргеологічні. 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 підстиланням. 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 завзятому масиві, щоб не затримувати підземні води, що просочилися в тіло зсуву. Для утримання ґрунтових мас у рівновазі застосовують також *підпирні 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.102) – поперечними спорудами, розташованими нормально або під великим кутом до лінії берега). Береги великих водосховищ, які складено з нескількох порід, захищають спеціальними спорудами, що відрізняються в більшості випадків великими розмірами.



Рисунок 102 – Регуляційна споруда (струмененапрямна дамба)

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. 103), 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. 104), притулені до берега, з вертикальною або криволінійною передньою гранню; хвилегасні споруди, що являють собою накидання з каменю або блокових елементів (рис. 105), 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.

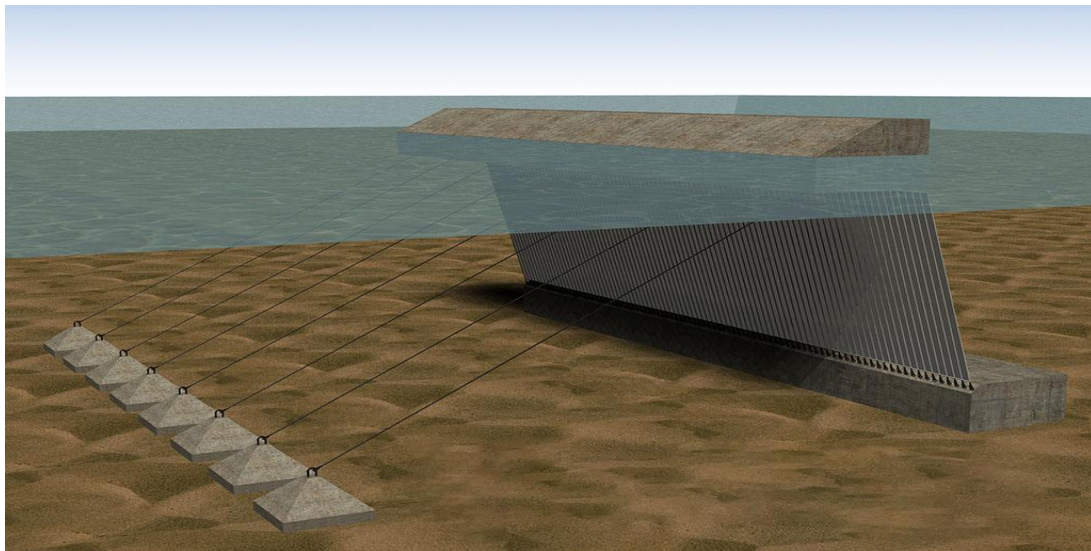


Рисунок 103 – Підводний хвилелом



Рисунок 104 – Хвилевідбійна стінка



Рисунок 105 – Хвилегасна споруда

Контрольні питання

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-х годин.

У населених пунктах, як правило, влаштовується єдина система водопостачання, яка забезпечує всі потреби населення та виробництва, а також подачу води на пожежогасіння. На рисунку 106 представлено типову схему водопостачання населеного пункту.

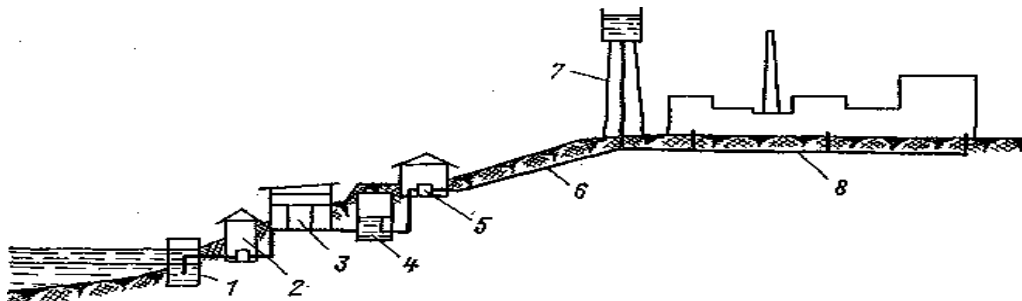


Рисунок 106 – Схема водопостачання населеного пункту:

- 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 фільтруючі 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, як правило, 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.

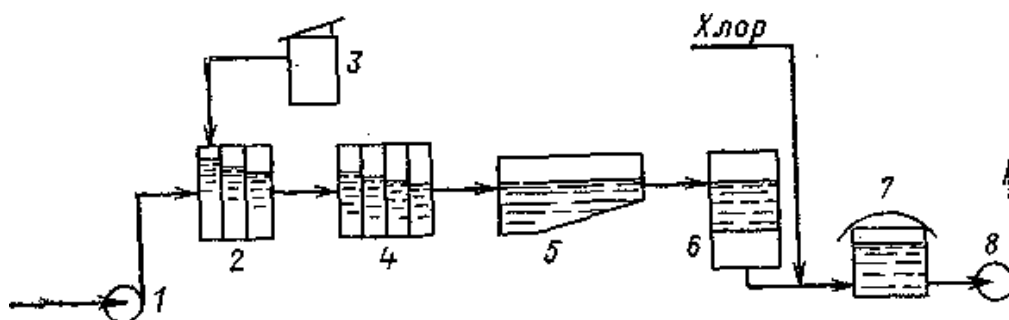


Рисунок 107 – Технологічна схема станції водоочищення

Технологічну схему водоочисної станції показано на рисунку 107. 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, як правило, 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. Так, 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 самопливними. 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 *загальносплавною*. 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* являють собою напірні трубопроводи, розташовані під перешкодою, що знаходяться приблизно в одному рівні з каналізаційною мережею, *естакади* переводять трубопроводи через низько розташовані перешкоди, а *переходи* – самопливні трубопроводи, прокладені у футлярі (сталевому кожусі) або в тунелі під перешкодою, розташованим вище за каналізаційну мережу. За значного заглиблення водовідвідних труб і за неможливості самопливного 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 наступні *способи очищення* стічних вод:

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

Біологічна очистка 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 являють собою 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. Так, 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 використовується 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* водою на місцеві кліматичні умови, тваринний і рослинний світ. Нормативні документи встановлюють суворі правила щодо попередження забруднення природних водою.

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

Категорії водоспоживання на промислових підприємствах можуть бути наступними: 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* в даний час 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. Так, для АЕС встановленою потужністю 4000 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 °С). Підвищення температури води в річці або водосховищі більш ніж на 5 °С може призвести до змін кліматичних умов мікрорайону, а також до порушення екологічної рівноваги у водоюмі.

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, як правило, 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 прямоочною*. 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 прямоочними 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 108 показано основні споруди системи обігового водопостачання АЕС.

В оборотних системах водопостачання в якості охолоджувачів 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), 800–1600 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, як правило, не повинна бути меншою за 4–5 м.

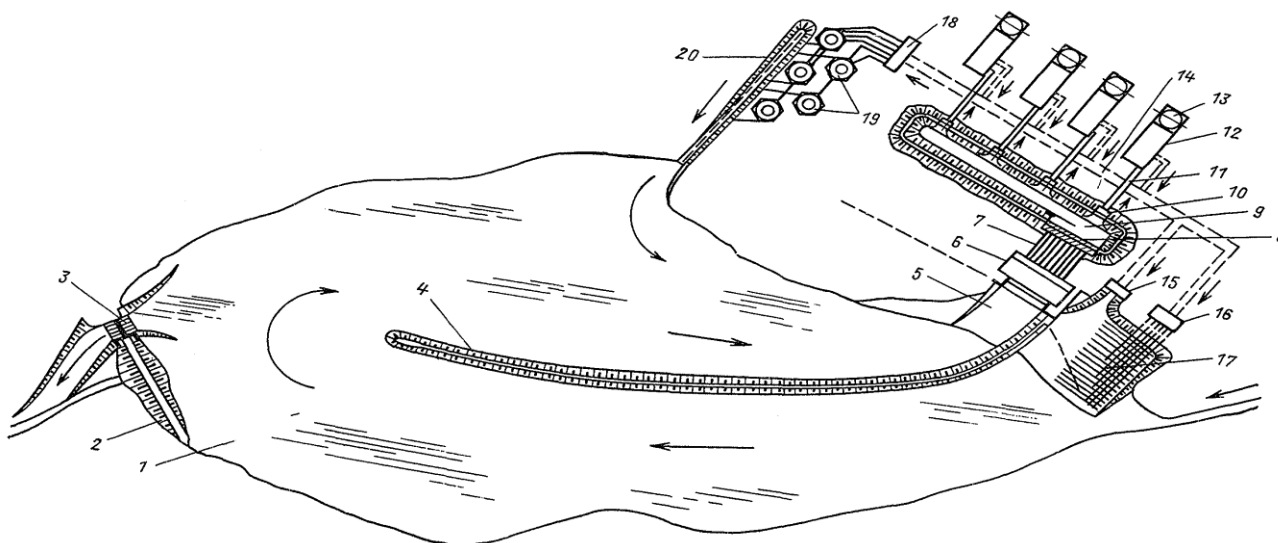


Рисунок 108 – Оборотна система технічного водопостачання АЕС:

- 1 – ставок-охолоджувач; 2 – гребля; 3 – водоскид; 4 – струміннапрямна 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 за рахунок збільшення 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 являють собою 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. Так, 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. Як правило, конденсатори великих парових турбін, з'єднані трубопроводами із двома або більше циркуляційними насосами, і утворюють єдиний блок (рис. 109).

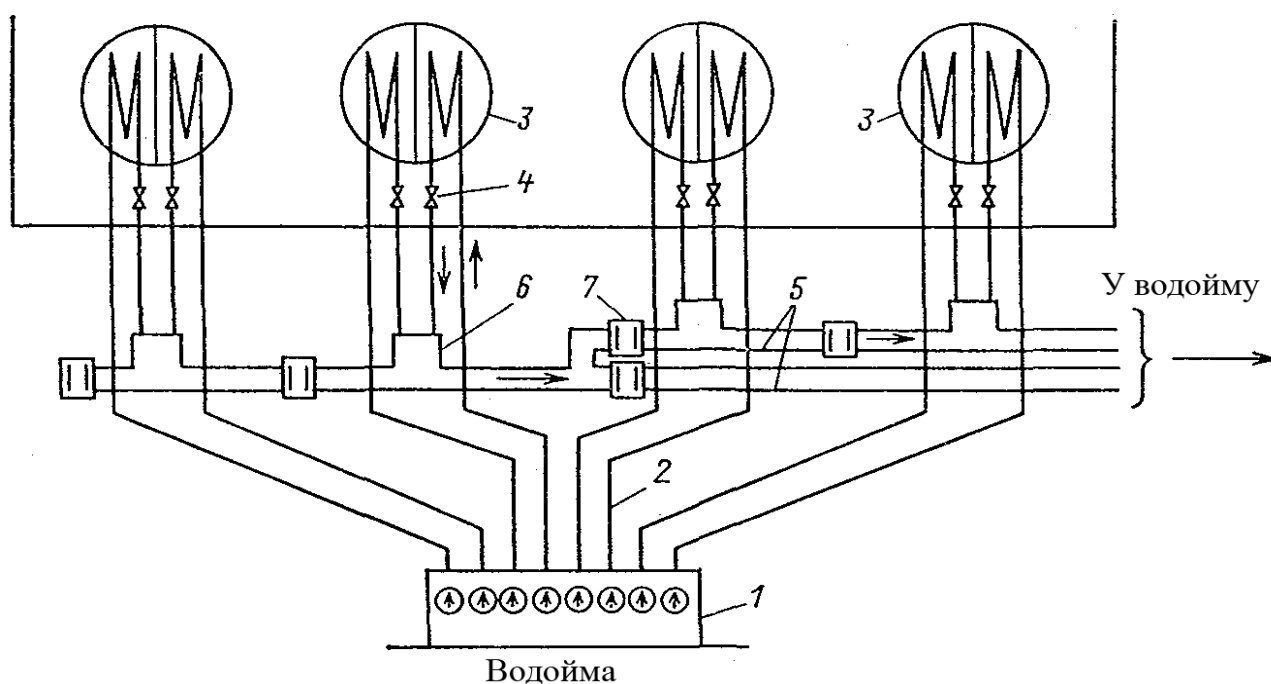


Рисунок 109 – Блокова схема примусового водопостачання теплової електростанції :

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

Насосні станції систем технічного водопостачання ТЕС і АЕС обладнуються потужними насосами з подачею до 15–30 м³/сек і напором до 8–20 м і являють собою великі гідротехнічні споруди. Так, 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, як правило, 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 до 100 м) до пристроїв охолоджувальних розбризкувальних систем.

Контрольні питання

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.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Пальченко О. Л. Основи гідротехніки та гідроенергетики. Тексти лекцій. – 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. – 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. Яковлева. – Харків : НТУ «ХПІ», 2008. – 216 с.

Електронне навчальне видання

ПАЛЬЧЕНКО Олег Леонідович

ОСНОВИ ГІДРОТЕХНІЧНОГО БУДІВНИЦТВА

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

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

Відповідальний за випуск *В. А. Александрович*

Редактор *М. О. Гаман*

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2024, поз. 7Л

Підп. до друку 02.03.2024. Формат 60 × 84/16.
Ум. друк. арк. 8,5.

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.

Електронна адреса: office@kname.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017.