

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1 ГІДРОЕНЕРГЕТИЧНЕ ТА ВОДНЕ ГОСПОДАРСТВА.....	7
Тема 1.1 Комплексне використання водних ресурсів	7
Тема 1.2 Типи гідроенергетичних пристроїв.....	10
Тема 1.3 Схеми використання водної енергії.....	17
Тема 1.4 Добовий та тижневий режими роботи ГЕС і ГАЕС.....	23
РОЗДІЛ 2 ОСНОВНІ СПРУДИ МАЛИХ ГЕС І ГАЕС.....	24
Тема 2.1 Склад і компонування споруд малих ГЕС.....	24
Тема 2.2 Основні типи і компонування будівель малих ГЕС.....	34
Тема 2.3 Компонування споруд і будівель ГАЕС.....	43
РОЗДІЛ 3 ОБЛАДНАННЯ ГІДРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК.....	48
Тема 3.1 Гідравлічні турбіни.....	48
Тема 3.2 Насоси.....	57
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	65

ВСТУП

Види енергетичних ресурсів

Енергетичні ресурси — природні джерела енергії (гідроенергія, геотермальна, ядерна, сонячна енергія, вітроенергія, енергія морських припливів і відливів, енергія біомаси, органічне паливо). Енергоресурси поділяють на поновлювані і неповнолювані.

Неповнолювані джерела енергії — це природньо утворені й накопичені в надрах планети запаси: вугілля, нафта, природний газ, торф, горючі сланці, ядерне паливо.

Повнолювані джерела енергії — ті, відновлення яких постійно здійснюється в природі (сонячне випромінення, біомаса, вітер, вода річок та океанів, гейзери тощо).

Енергетика — галузь і наука, що вивчають енергетичні ресурси і використовують з метою вироблення, перетворення, передачі і розподілу енергії. Енергетика є основою розвитку господарства. Вона забезпечує технологічні процеси у виробництві, дає тепло і світло людям. Усі технологічні процеси в промисловості пов'язані з витратою виділеної енергії або із взаємним перетворенням одного виду енергії в інший

Електроенергетика — галузь енергетики по виробництву, передачі і збуту електроенергії. Електроенергія є найбільш розповсюдженим видом енергії, що споживається і сучасному світі. Має унікальні якості: легко перетворюється у будь-якої кількості в інші види енергії (теплову, механічну), без великих втрат, практично миттєво може бути передана на велику відстань.

Сучасний стан енергетики в Україні

В Україні створений та працює паливно-енергетичний комплекс, який є основою функціонування усього суспільного виробництва та використання енергоресурсів. Україна має структуру енергетики, що формувалась упродовж 1920—2005 р. До 80-х років основою виробництва електроенергії в Україні була теплова та гідроенергетика. Надалі будують атомні електростанції. І в 1990 році в загальному виробництві енергії частка вугілля становила 24,5 %, мазуту 12,4 %, газу 36,4 %, гідроенергії 3,5 % і ядерної енергії 23,4 %. У 1997 році вони становили відповідно: 26,8 %, 2,7 %, 21,8 %, 5,4 %, 43,3 %. Пріоритетними у виробництві енергії є теплові та атомні електростанції. Для теплових електростанцій частка вугілля в 1998 році зросла до 53 % мазуту зменшилась до 6 % і газу до 41 %. Для теплових електростанцій України сировинною базою є вугілля, запаси якого наближаються до 120 млрд. тонн, розвідані запаси 46,0 млрд. тонн, в тому числі енергетичного вугілля 32,1 млрд. тонн. Таким чином Україна на сотні років забезпечена своїм твердим паливом.

На сучасному етапі загальний технічний стан електроенергетики в Україні незадовільний. Це пов'язано із тим, що впродовж десятиріч практично не

проводилась модернізація енергетичного господарства. Внаслідок цього понад 20% енергетичного устаткування повністю зношене, 70% його відпрацювало свій ресурс. Найстарішими в Україні є теплові електростанції Донбасу. Тому вони й опинилися в незадовільному стані. Застаріла технологія спалювання вугілля й газу, а також високий рівень спрацьованості обладнання призводять до перевищення затрат палива і величезних викидів шкідливих речовин у атмосферу.

За рівнем енергоспоживання на одну людину (понад 5 тис. кВт/год. за рік) Україна належить до країн із середніми показниками. Проте структура цього споживання дуже відрізняється від відповідного показника в розвинутих країнах світу. Основна частка електроенергії використовується для промислових потреб, де є великими витрати електроенергії внаслідок безгосподарності і застосування неефективних технологій виробництва. Водночас для комунальних потреб використовується тільки 1000 кВт год. на одного міського жителя. Для сільських жителів цей показник ще нижчий – 500 кВт год., це один із найнижчих показників у світі.

Однією з причин, що обмежують розвиток енергетики в Україні є екологічна. Викиди ТЕС становлять близько 30% усіх твердих часток, що надходять у атмосферу внаслідок господарської діяльності людини. Крім того енергетика утворює до 63 % оксидів сірки і понад 53% оксидів нітрогену, що надходять у повітря від стаціонарних джерел забруднення і є основним джерелом кислотних дощів в Україні. Вони потрапляють у воду річок, озер і ставків та ґрунт у вигляді сірчаної та азотної кислот. Оксиди нітрогену й карбону – основна складова смогу. Оскільки виникла потреба в збільшенні частки використання в енергетиці вугілля, екологічна ситуація може погіршитись. Оксиди карбону, що їх викидають електростанції в атмосферу, спричиняють парниковий ефект на нашій планеті. Якщо не зменшити їх уміст у атмосфері, на Землі настане глобальне потепління клімату. Це призведе до підвищення рівня Світового океану і затоплення значних площ земної поверхні.

Так, ТЕС потужністю понад 2 млн. кВт спалює за добу 20 тис. тонн вугілля. Україна за кількістю «технічного бруду» на душу населення, навіть не враховуючи наслідків чорнобильської катастрофи, посідає 1-ше місце у Європі. Зони екологічних катастроф охоплюють понад 15% території нашої держави. Природне середовище існування людини настільки зруйноване і видозмінене, що виникла реальна загроза й фізичному існуванню нації.

Негативний екологічний вплив в Україні має і гідроенергетика. Будівництво гідровузлів на Дніпрі призвело до затоплення великих територій країни. Водосховища спричинили підвищення рівня ґрунтових вод навколишньої місцевості та інтенсивне руйнування крутих берегів. Під водою опинилося близько 700 тис. га родючих земель. Затоплено багаті пасовища. Зміна річкового режиму на озерний

призвела до «цвітіння води», нагромадження в них шкідливих відходів і радіонуклідів. Змінилися умови життя риб. Відбулися зміни в тектоніці й кліматі.

Важливою для країни є безпека роботи атомних станцій. Катастрофа на Чорнобильській АЕС перетворила державу на зону екологічної біди. У довкілля було викинуто близько 1 млн. кюрі (кюрі – одиниця радіоактивності) різних радіонуклідів. У вигляді найдрібніших часток у повітря потрапили діоксид урану, радіонукліди Йоду-131, Плутонію-139, Цезію-137, Стронцію-90 та інших елементів. Забрудненими виявилися цілі області України: Київська, Житомирська, Рівненська, Чернігівська, Вінницька, Черкаська та ін. Потрапили радіонукліди і у Дніпро – основне джерело питної води для 35 млн. жителів України. Забрудненість Київського водосховища становить нині 7200 кюрі, Канівського – 2200, Кременчуцького – 300 кюрі. Зростання кількості радіоактивного Цезію досягає 40% за рік. Екологічні чинники в розвитку атомної енергетики в країні завжди мають бути переважаючими, інакше не буде для кого виробляти електроенергію.

Перспективи розвитку енергетики в Україні

Одним із напрямків розвитку електроенергетики є створення енергетичних вузлів на базі територіального об'єднання електростанцій різних типів, які органічно доповнюють одна одну. Так, на Дністрі створено Дністровський комплексний гідровузол, до складу якого входять ГЕС і ГАЕС. Одним із прикладів взаємодоповнення електростанцій різних типів є комплекс енергооб'єктів поблизу Києва (Київські ТЕС, ТЕЦ, ГЕС, ГАЕС). Унікальний енергокомплекс споруджується на Південному Бузі. До його складу увійдуть Південноукраїнська АЕС, Ташлицька ГАЕС і Костянтинівська ГЕС – ГАЕС. На півдні України доцільно створювати енергокомплекси на основі територіального об'єднання сонячних, вітрових і геотермальних електростанцій.

РОЗДІЛ 1 ГІДРОЕНЕРГЕТИЧНЕ ТА ВОДНЕ ГОСПОДАРСТВА

Тема 1.1 Комплексне використання водних ресурсів

План

- 1 Водні ресурси України і світу
- 2 Сучасні водогосподарчі системи

1 Водні ресурси України і світу

Водні ресурси — всі води гідросфери, тобто води рік, озер, каналів, водосховищ, морів й океанів, підземні води, ґрунтова волога, вода (льоди) гірських і полярних льодовиків, водяна пара атмосфери. Відомо, що 2/3 поверхні Землі вкрито водами Світового океану. Загальна площа водних об'єктів суші (льодовиків, озер, водосховищ, річок) становить 15% суші.

Важливе значення мають прісні води — найбільш цінний для людини природний ресурс. Усього на планеті 36,7 млн км³ прісних вод (3,7% від загального об'єму). На тверду фазу (льодовики) припадає 71% від загальної кількості прісних вод на Землі. На рідку фазу — найбільш доступну для використання людиною (вода річок, водосховищ, озер) — 29% від загальної кількості прісних вод на Землі, або близько 1% від загального об'єму вод на Землі.

Розподілено водні ресурси між континентами нерівномірно. Статичних (вікових) ресурсів прісних вод (підземні води, великі озера і льодовики) найбільше мають Північна Америка та Азія, дещо менші — Південна Америка та Африка, найменші — Європа та Австралія.

Найбільшу величину річкового стоку має Азія (30% стоку всіх річок планети) і Південна Америка (26%), найменшу — Європа (7%) та Австралія з Океанією (5%). Найбільш забезпечено рірковою водою (з розрахунку на одного жителя) населення Південної Америки та островів Океанії, найменше — населення Європи та Азії (тут зосереджено 77% населення планети і лише 37% світових запасів щорічно відновлюваних прісних вод).

Серед країн світу найбільші річкові водні ресурси мають Бразилія — 9230, Росія — 4270, США — 2850, Китай — 2600 км³ води на рік.

Водні ресурси використовують у різних галузях промисловості та сільського господарства, в енергетиці, для потреб судноплавства, в побуті. Широко використовують водні ресурси при переробці корисних копалин, зокрема їх збагаченні так званими мокрими способами. Водні ресурси належать до відновлюваних у процесі кругообігу.

Людина ще в глибоку давнину звернув увагу на річки як на доступне джерело енергії. Для використання цієї енергії люди навчилися будувати водяні колеса, які

обертала вода; цими колесами приводилися в рух млинові постава та інші установки. Водяний млин є яскравим прикладом найдавнішої гідроенергетичної установки, що збереглася в багатьох країнах до нашого часу майже в первозданному вигляді.

До винаходу парової машини водна енергія була основною руховою силою на виробництві. У міру вдосконалення водяних коліс збільшувалася потужність гідравлічних установок, що приводять у рух верстати і т.д. У 1-й половині ХІХ століття була винайдена гідротурбіна, що відкрила нові можливості з використання гідроенергоресурсів. З винаходом електричної машини і способу передачі електроенергії на значні відстані почалося освоєння водної енергії шляхом перетворення її в електричну енергію на гідроелектростанціях (ГЕС).

Запаси водних ресурсів в Україні (річкового стоку) на одну людину становлять близько 1,8 тис. м³ на рік, що є одним з найменших показників у Європі (для прикладу: Норвегія — 96,9; Швеція — 24,1; Фінляндія — 22,5; Франція — 4,6; Італія — 3,9; Англія — 2,7; Польща — 1,7; ФРН — 1,3; Угорщина — 0,8 тис. м³ на рік). Прогнозні запаси підземних вод в Україні становлять 22,5 км³, а експлуатаційні — 5,7 км³ на рік.

Стік річок України без Дунаю в середній за водністю рік становить 87,1 км³, з них на території країни формується 52,4 км³. По Кілійському гирлу Дунаю проходить 123 км³ води на рік.

З усього річкового стоку, який формується в Україні, у 90-і роки ХХ ст. майже 80% використовувалося в народному господарстві.

Річковий стік — для окремої річки — це кількість води, що протікає у її річищі (руслі) за певний проміжок часу. Річковий стік виражають через такі показники: витрата води, об'єм стоку.

- витрата води Q – кількість води, що протікає через певне поперечне січення водотоку за одиницю часу (м³/с; м³/год.);
- об'єм стоку W – сумарний об'єм води, що протікає через поперечне січення водотоку за певний час (м³, км³);

Графічна зміна стоку річки в часі виражається гідрографом та сумарною кривою стоку. Форма гідрографу визначається виключно типом живлення ріки (снігове, дощове, льодове). У вузькому розумінні — кількість води, що стікає з водозбору за певний проміжок часу. Проходить як по земній поверхні (поверхневий стік), так і в товщі земної кори (підземний стік).

Характерною особливістю стоку є його мінливість у просторі і за часом. У внутрішньорічному ході стоку річки виділяються фази: повені, паводки, межень. На більшості річок України спостерігається весняна повінь, літньо-осіння та зимова межень. На деяких з них можуть виникати осінні паводки. Відносно рівномірний протягом року стік, що досягається регулюючим впливом водосховищ і ставків, називається зрегульованим. Приклад — зрегульований каскадом водосховищ стік

річки Дніпро. Об'єм стоку річки за рік свідчить про її водність. Величини середнього річного стоку зменшується з півночі на південь від 100 до 5 мм.

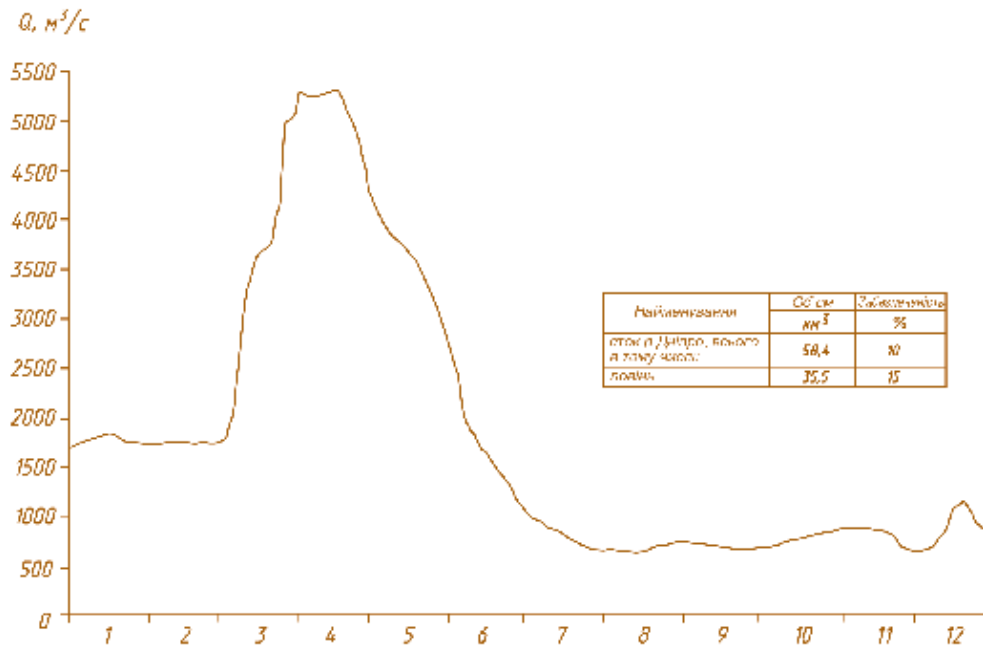


Рисунок 1.1 – Гідрограф р. Дніпро біля м. Києва у 1999 р.

Дніпро є типовою рівнинною річкою Європи з великими весняними повеннями у результаті танення снігу й відносно невеликими витратами у наступний меженний період. Зазвичай на таких річках за 2–3 місяці повені проходить 60–70% річного стоку

Україна належить до територій з низькою водозабезпеченістю за сумарним річковим і місцевим стоком. На одного жителя в Україні припадає лише 1,0 тис. м³ на рік (в Європі — 4,6 тис. м³, у світі — 8,2 тис. м³, у Канаді — 99 тис. м³). На водозабезпечення впливає мінливість місцевого стоку в часі (нерівномірний розподіл стоку протягом року). На весняний стік припадає до 70 % його об'єму на півночі та північному сході й до 90 % на півдні України.

Нижче наведено об'єми стоку десяти найповноводніших річок світу.

<i>Назва</i>	<i>Об'єм стоку за рік, км³</i>
Амазонка, Південна Америка	6903
Конго, Африка	1445
Янцзи, Азія	1080
Оріноко, Південна Америка	913
Єнісей, Азія	624
Міссісіпі, Північна Америка	598
Парана, Південна Америка	551
Лена, Азія	536
Токантінс, Південна Америка	513
Замбезі, Африка	504

2 Сучасні водогосподарчі системи

Водне господарство — галузь економіки, що розробляє і здійснює заходи щодо використання поверхневих і підземних вод для різних галузей економіки, а також здійснює охорону вод і боротьбу з їх шкідливою дією.

До об'єктів водного господарства входять:

1. меліорація,
2. гідроенергетика,
3. судноплавство і лісосплав,
4. водопостачання і водовідведення,
5. використання водних надр (розведення та вилов риби, видобуток солі та інше),
6. регулювання річок для боротьби з повеннями.

Основні завдання водного господарства:

- забезпечення потреб населення та галузей економіки у воді необхідної кількості та нормативної якості;
- регулювання, відтворення та охорона водних ресурсів;
- забезпечення контролю за раціональним використанням водних ресурсів;
- впровадження заходів щодо запобігання шкідливої дії вод.

Водне господарство України

Питаннями використання, охорони та відтворення водних ресурсів в Україні займається Державне агентство водних ресурсів України (Держводагентство України). На водогосподарські організації Держводагентства України покладено експлуатацію водогосподарських об'єктів, зокрема захисних дамб і гребель водосховищ, насосних і компресорних станцій, шлюзів-регуляторів тощо. Водогосподарські організації перебувають у тісній співпраці з організаціями гідроенергетики, рибництва, річкового транспорту.

Регулювання потреби у водних ресурсах, які в Україні через природні умови розподілено нерівномірно, здійснюється за допомогою 1103 водосховищ загальним об'ємом майже 55 км³, 49444 ставків, 7 великих каналів.

Важливою проблемою є захист територій, які знаходяться під загрозою шкідливої дії паводків і підтоплення.

Тема 1.2 Типи гідроенергетичних пристроїв

План

- 1 Поняття про гідроенергетичні ресурси
- 2 Гідравлічні електричні станції
- 3 Гідроакумуючі електричні станції
- 4 Припливні електричні станції

1 Поняття про гідроенергетичні ресурси

Гідроенергоресурси - це запаси енергії поточної води річкових потоків і водоймищ, розташованих вище рівня моря, а також енергії морських припливів. Характерна для гідроенергоресурсів особливість, що перетворення механічної енергії води в електричну відбувається без проміжного виробництва тепла.

Гідроенергетика – галузь енергетики і технічна наука про водну енергію, методах її одержання, використання з метою електроенергетики.

Використання гідроенергетичних ресурсів займає значне місце у світовому балансі електроенергії. У 70-80-х роках вага гідроенергії була на рівні приблизно 26% всього вироблення електроенергії світу. Гідроенергетичні ресурси США використані на 82%, в Японії – на 90%, в Італії, у Франції, Швейцарії – на 95–98%.

Нині, за оцінками фахівців, гідроенергоресурси України складають близько 45 млрд. кВт т, з них потенційно технічно доступні й економічно доцільні - 22-25 млрд. кВт т, із них освоєно майже половина. 4700 МВт гідроенергетичних потужностей України становлять близько 9% сумарної потужності ОЕС, що недостатньо для забезпечення мобільного резерву енергосистеми, у якій для надійної стабільної роботи регулюючі потужності повинні складати за даними світової практики не менше 15%. Цей показник має бути основним орієнтиром подальшого введення нових генеруючих потужностей на ГЕС.

Прискорений розвиток гідроенергетики в багатьох державах світу пояснюється перспективою наростання паливно-енергетичних та екологічних проблем, пов'язаних з продовженням наростання вироблення електроенергії на традиційних (теплових і атомних) електростанціях при слабо розробленій технологічній основі використання нетрадиційних джерел енергії. Основна частина світового вироблення ГЕС падає на Північну Америку, Європу, Росію і Японію, у яких виробляється до 80% електроенергії ГЕС світу.

У ряді країн з високим ступенем використання гідроенергоресурсів спостерігається зниження питомої ваги гідроенергії в електробалансі. Так, за останні 40 років питома вага гідроенергії знизилася в Австрії з 80 до 70%, у Франції з 53 до дуже малої величини (за рахунок збільшення виробництва електроенергії на АЕС), в Італії з 94 до 50% (це пояснюється тим, що найбільш придатні до експлуатації гідроенергоресурси в цих країнах вже майже вичерпано). Одне з найбільших знижень відбулося в США, де вироблення електроенергії на ГЕС в 1938 р. становила 34%, а вже в 1965 р. - тільки 17%. У той же час в енергетиці Норвегії ця частка становить 99,6%, Швейцарії і Бразилії - 90%, Канади - 66%.

2 Гідравлічні електричні станції

Електрична станція це комплекс обладнання і пристроїв, які призначені для перетворення джерела енергії, що використовується, в електричну.

По виду джерела енергії, що використовується, електричні станції:

- Теплові(ТЕС) – органічне паливо.
- Атомні(АЕС) – ядерне паливо.
- Гідравлічні(ГЕС, ГАЕС, ПЕС) – використовують кінематичну енергію водотоків.
- Повітряні (ПЕС).
- Сонячні (СЕС).

ГЕС складається з гідротехнічних споруд і енергетичного обладнання. Перетворення енергії рухомого потоку води в електричну на ГЕС здійснюється за допомогою гідравлічної турбіни. Вода по напірному трубопроводу з водосховища потрапляє на лопаті робочого колеса, обертає його, разом з ним ротор генератора, який виробляє електроенергію.

Переваги ГЕС у тому, що вони виробляють електроенергію, яка у 5—6 разів дешевша, ніж на ТЕС, а персоналу, що їх обслуговує, в 15—20 разів менше, ніж на АЕС. Коефіцієнт корисної дії ГЕС становить понад 80 %, характеризуються підвищеною швидкістю і маневреністю в порівнянні з будь-якими іншими установками, що генерують. Цінність гідроелектричної станції полягає в тому, що для виробництва електричної енергії вони використовують поновлювані джерела енергії. З огляду на те, що потреби в додатковому паливі для ГЕС немає, кінцева вартість одержуваної електроенергії значно нижче, ніж при використанні інших видів електростанцій.

Недоліки – розміщення їх повністю залежить від природних умов, а виробництво електроенергії має сезонний характер.

Основні ГЕС в Україні розташовані на Дніпрі. Найбільші з них – Дніпрогес, Каменська (Дніпродзержинська), Дніпровська, Канівська, Каховська, Київська, Кременчуцька. На Дністрі збудована Дністровська ГЕС—ГАЕС, у Закарпатській області — Тербле-Ріцька ГЕС. Крім них, на малих річках діють близько сотні електростанцій невеликої потужності. Збудовано каскади ГЕС на річках Рось (Корсунь-Шевченківська, Стеблівська та ін.) і Південний Буг.

Дніпровський каскад ГЕС використовує гідроенергетичний потенціал Дніпра майже на 90%. Багаторічний досвід експлуатації ГЕС підтвердив позитивний ефект зарегулювання стоку Дніпра. Створення штучних водоймищ дозволило практично без обмежень постачати водою міста і промислові підприємства, які розташовані в басейні Дніпра; покращилося судноплавство. Київське водоймище волею долі і завдяки гідротехнічним спорудам стало природним бар'єром щодо поширення радіоактивних викидів після аварії на Чорнобильській АЕС.

В енергетичному комплексі України гідроелектростанції посідають третє місце після теплових та атомних. Сумарна встановлена потужність ГЕС України нині становить 8% від загальної потужності об'єднаної енергетичної системи країни.



Рисунок 1.2 – Дністровська ГЕС. Вигляд з нижнього б'єфа



Рисунок 1.3 – Загальний вигляд малої Ладижинської ГЕС потужністю 7,5 МВт на р. Південний Буг в Україні



Рисунок 1.4 – Корсунь-Шевченківська мала ГЕС

3 Гідроакumuлюючі електричні станції

Гідроакumuлююча електростанція (ГАЕС) — гідроелектрична станція, що використовується для вирівнювання добового графіка навантаження енергосистеми. Принцип дії полягає в перетворенні електричної енергії, що отримується від інших електростанцій, в потенційну енергію води, при зворотному перетворенні накопичена енергія віддається в енергосистему головним чином для покриття піків навантаження. В години малого споживання електроенергії перекачують воду з водосховища у верхній басейн, а в години пікових навантажень виробляють енергію як звичайні ГЕС (наприклад, Київська ГАЕС, Дністровська ГАЕС).

Час пуску і зміни режимів роботи ГАЕС вимірюється декількома хвилинами, що зумовлює їх високу експлуатаційну маневреність. Регульовальний діапазон ГАЕС, з самого принципу її роботи, близький двократній встановленій потужності, що є одним з основних її переваг.

Здатність ГАЕС покривати піки навантаження і підвищувати споживання електроенергії вночі, робить їх дієвим засобом для вирівнювання режиму роботи енергосистеми. Загальний ККД (коефіцієнт корисної дії) ГАЕС в оптимальних розрахункових умовах роботи наближається до 0,75, у реальних умовах середнє значення ККД з урахуванням втрат в електричній мережі не перевищує 0,66.

4 Припливні електричні станції

Припливна електростанція (ПЕС) — особливий вид гідроелектростанції, що використовує природну відновлювальну енергію морських припливів, природа яких пов'язана з силою, що виникає при гравітаційній взаємодії Землі з Місяцем і Сонцем. Припливні електростанції будують на узбережжі морів, де гравітаційні сили Місяця та Сонця двічі на добу змінюють рівень води. Через близькість Місяця до Землі величина припливу під дією Місяця у 2,2 раза більша сонячного.

Енергія припливів використовувалася людьми здавна у вигляді припливних млинів на узбережжі Великобританії, Франції, Іспанії, Росії, Канади, США та інших країн. Такі установки виконувалися шляхом утворення басейну при перекритті греблями невеликих бухт, де розташовувалися колеса млинів, які оберталися під час відпливу. У Великобританії подібна установка під арками Лондонського мосту з 1580 р. на протязі 250 років качала прісну воду для водопостачання.

Амплітуди і форми припливно-відпливних хвиль на різних узбережжях Світового океану суттєво різняться, що пов'язано із такими факторами, як глибина, конфігурація берегової лінії тощо. Так, максимальна величина припливу Амакас, що склала 19,5 м, спостерігалась у Канаді в затоці Фанді на узбережжі Атлантичного океану; 16,3 м – у Великобританії в поймі р. Северн. Для спорудження ПЕС необхідні сприятливі природні умови, що включають: значні припливи ($A > 3-5$ м);

контур берегової лінії (бажано з утворенням затоки), який дозволяє відділити від моря басейн для роботи ПЕС при мінімальній довжині та висоті перегороджуючої греблі.



Рисунок 1.5 – Перша у світі припливна електростанція Ля Ранс, Франція
ПЕС «Ля Ранс» побудована в естуарії (широкій воронкоподібній поймі) р. Ранс (Північна Бретань), має велику греблю, її довжина складає 800 м. Гребля також слугує мостом. 1966 рік пуску, 24 агрегати, напір $H=1-11$ м.



Рисунок 1.6 – Дамба припливної електростанції «Ля Ранс»



Рисунок 1.7 – Кислогубська припливна електростанція, Росія

На сьогодні у світі експлуатуються з 1967 р. ПЕС «Ля Ранс» (Франція), з 1968 р. Кислогубська ПЕС (Росія), з 1984 р. ПЕС Аннаполіс (Канада), 5 невеликих ПЕС в Китаї, у Великобританії, у Канаді, в Індії.

Для ПЕС в основному використовується найбільш ефективна однобасейнова схема з односторонньою і двосторонньою дією. До складу споруд припливних електростанцій входять будівля для ПЕС, водопропускне спорудження і глуха гребля.

При однобасейновій схемі двосторонньої дії досягається найбільш повна відповідність роботи ПЕС природному циклу припливів і відпливів. Схема передбачає, що на початок припливу опущені засувки відділяють басейн від моря і при досягненні необхідного мінімального напору (між рівнями моря і басейну) починають працювати турбіни, використовуючи потік води з моря в басейн, і відбувається наповнення басейну. Коли перепад між морем і басейном досягає мінімуму, відключаються турбіни, засувки піднімаються і відбувається вирівнювання рівнів у морі та басейні, після чого засувки закриваються, відділяючи басейн від моря. У період відпливу при досягненні необхідного напору (між рівнями басейну і моря) включаються турбіни і відбувається зпорожнення басейну. Потім цикл повторюється.

При роботі припливних електростанцій в енергосистемі, де спостерігається надлишок електроенергії в провальній частині графіка навантажень, можливе використання однобасейнової схеми двосторонньої дії з помповою підкачкою, що потребує встановлення оборотних агрегатів. Ці агрегати, працюючи в помповому режимі у період провалу в графіку навантажень, збільшують об'єм води в басейні й дозволяють збільшити вироблення електроенергії при відпливі, зпрацьовуючи додатковий об'єм при збільшеному напорі.

Основний ефект такої роботи досягається шляхом кращого вписування циклу роботи ПЕС в графік навантаження енергосистеми. За такою схемою працює ПЕС «Ля Ранс» (24 агрегати, введена в дію в 1966 році, напір $H=1-11$ м).

Режим роботи ПЕС характеризується специфічними особливостями, пов'язаними з циклічністю припливів. ПЕС виробляє електроенергію протягом доби перервно у періоди припливів, які, однак, не співпадають у часі з піком у добовому графіку навантаження енергосистеми. У зв'язку з цим більш ефективна робота ПЕС в енергосистемах може бути досягнута при встановленні на них оборотних агрегатів, що дозволяє краще вписати цикл роботи ПЕС в графік навантаження енергосистеми. У цьому випадку ПЕС можуть також приймати участь в покритті пікової частини графіка навантаження.

Тривалий досвід експлуатації ПЕС «Ля Ранс» підтвердив її ефективність при роботі в енергосистемі Франції разом з іншими електростанціями.



Рисунок 1.8 – Припливна електростанція в Північній Ірландії

Ефективність використання відновлювальної енергії потужних ПЕС може бути досягнута в умовах об'єднаних систем при роботі разом з ТЕС, АЕС, ГЕС і ГАЕС

Тема 1.3 Схеми використання водної енергії

План

- 1 Схеми концентрації напору. Деривація
- 2 Водосховища. Призначення, вплив на навколишнє середовище

1 Схеми концентрації напору. Деривація

Необхідний напір води утворюється за допомогою будівництва греблі або деривації — природним струмом води. У деяких випадках для отримання необхідного напору води використовують спільно і греблю, і деривацію.

Греблеві ГЕС – найпоширеніші види гідроелектричних станцій. Напір води в них створюється за допомогою перегородки річки, що піднімає рівень води в ній на необхідну позначку. Такі гідроелектростанції будують на багатоводних рівнинних річках, а також на гірських річках, у місцях, де русло річки вузке, стиснуте. Будуються при більших напорах води.

На більшості ГЕС, що знаходяться в експлуатації, у тому числі самих потужних, використана гребельна схема. При цьому напори на ГЕС залежать від висоти гребель і досягають, наприклад, 280 м на Нурекській ГЕС (Таджикистан), побудованій в гірських умовах. На ГЕС Ітайпу (Бразилія – Парагвай) потужністю 12,6 млн.кВт висота греблі дорівнює 196 м. На великих ГЕС у рівнинних умовах напір менше, наприклад на Дністровській ГЕС (Україна) потужністю 0,7 млн. кВт напір дорівнює 54 м, а на Київській ГЕС (Україна) потужністю 0,36 млн.кВт він знижується до 11 м. Така схема використана для всіх ГЕС Дніпровського каскаду в

Україні, усіх ГЕС Волзького, Єнісейського та Ангарського каскаду в Росії, для ГЕС каскаду на річках Колумбія та Міссурі у США.



Рисунок 1.9 – ГЕС Ітайпу. Загальний вигляд на водоскид

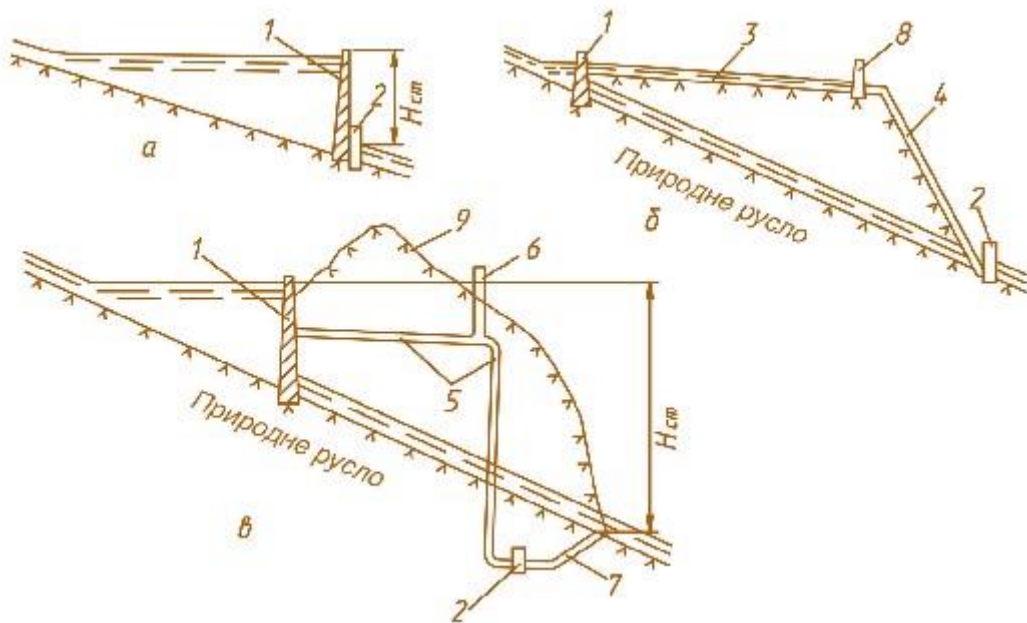


Рисунок 1.10 – Принципові схеми ГЕС: а – гребельна; б – дериваційна; в – комбінована; 1 – гребля; 2 – будинок ГЕС; 3 – дериваційний канал; 4 – напірний трубопровід; 5 – напірний тунель; 6 – зрівнювальний резервуар; 7 – відвідний тунель; 8 – водоприймач; 9 – природна поверхня берегового схилу

Дериваційні гідроелектростанції будують у тих місцях, де великий ухил річки. Необхідна концентрація води в ГЕС такого типу створюється за допомогою деривації. Вода відводиться з річкового русла через спеціальні водовідведення. Водоводи спрямлені, і їхній ухил значно менший, ніж середній ухил річки. У

підсумку вода підводиться безпосередньо до будівлі ГЕС. Дериваційні ГЕС можуть бути різного виду — безнапірні або з напірною деривацією. У випадку напірної деривації, прокладається водовід із великим подовжнім ухилом. В іншому випадку на початку деривації на річці створюється вища гребля, і створюється водосховище — така схема ще називається змішаної деривації, тому що використовуються обидва методи створення необхідної концентрації води.

Дериваційну схему доцільно застосовувати в гірських умовах при більших ухилах і порівняно невеликих витратах, що дозволяє при відносно невеликій довжині дериваційного водоводу одержати великий напір. На рисунку 00 наведено загальний вигляд ТеремляРикської ГЭС потужністю 27 МВт із напором 215 м, що використовує дериваційну схему з напірною деривацією.

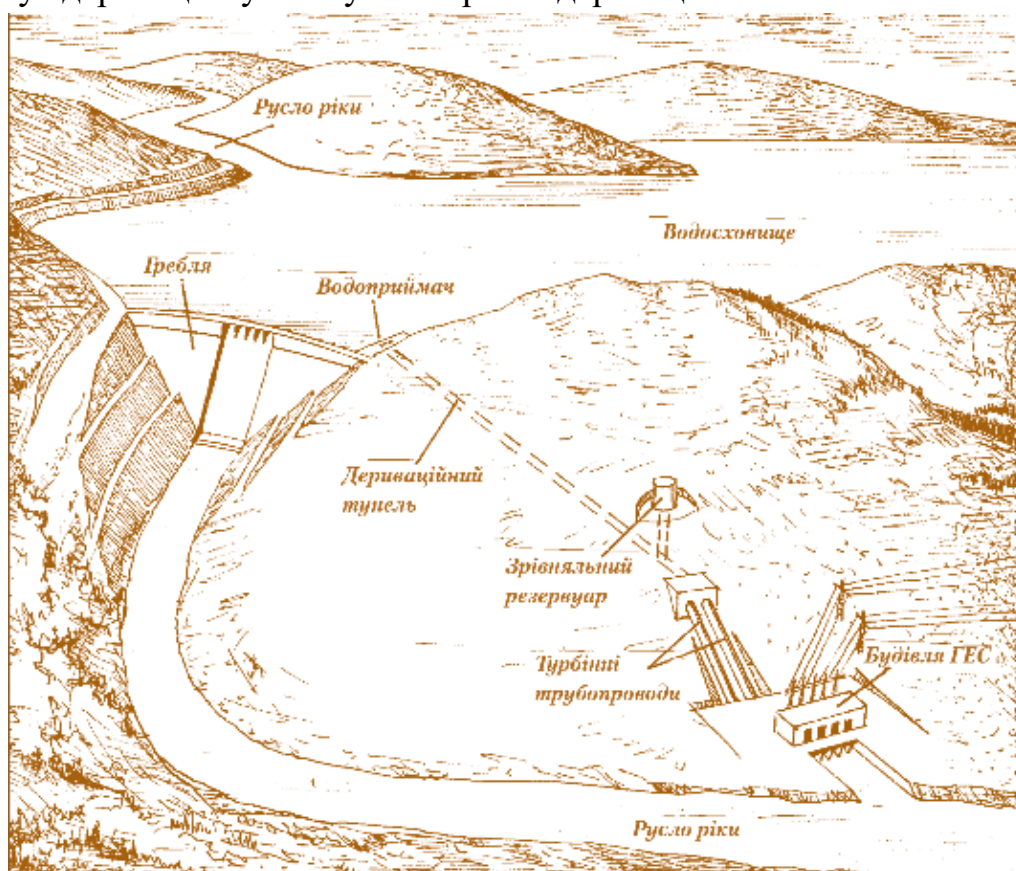


Рисунок 1.11 – Дериваційна ГЕС із напірною деривацією

При дериваційній схемі напори досягають 1000 м і більше. Наприклад, на ГЕС Целльрейн-Зильц (Австрія) потужністю 0,43 млн.кВт напір становить 1259 м, на ГЕС Розеланд (Франція) потужністю 0,5 млн.кВт – 1200 м, на ГЕС Грозіо (Італія) потужністю 0,43 млн.кВт – 590 м.

У випадку комбінованої схеми напір на ГЕС утворюється частково за рахунок підпору рівня ріки греблею й створення водоймища, та частково за рахунок деривації, що дозволяє при відповідних природних умовах використовувати переваги обох схем. При комбінованій схемі також можна одержати високі напори на ГЕС. Наприклад, на Інгурській ГЕС (Грузія) потужністю 1,3 млн.кВт із водоймищем обсягом 1,1 км³, утвореним греблею висотою 272 м, максимальний

напір становить 404 м. Вибір схеми й основних параметрів ГЕС залежить від природних умов ділянки річки й здійснюється на підставі техніко-економічного порівняння варіантів.



Рисунок 1.12 –Теребля-Рикська ГЕС (за приміщенням ГЕС видно «вихідний портал» тунелю й металевий водовід завдовжки 350 м)

2 Водосховища. Призначення, вплив на навколишнє середовище

ГЕС в Україні побудовані на рівнинних річках, тому перед їхніми греблями створили штучні водоймища, що затопили сільськогосподарські угіддя. Вода водоймищ застоюється, акумулює різні шкідливі речовини. Греблі стають перешкодою розвитку рибного господарства, заважаючи міграції по річках промислових риб. У той же час вода з водоймищ використовується для зрошення посушливих земель Півдня України.

Нині всі пропозиції щодо вирішення проблем експлуатації ГЕС і великих водоймищ повинні базуватися на аксіомі: наявність рукотворних морів - це реальність, від якої нам нікуди не дітися. Отже, серед пріоритетних завдань гідроенергетиків має бути підвищення надійності і рівня безпеки гідротехнічних споруд ГЕС: гребель, дамб тощо.

Постійний контроль за станом безпеки гребель водосховищ та гідроелектростанцій здійснюють Міністерство енергетики та вугільної промисловості України, Державне агентство водних ресурсів України, Державна служба України з надзвичайних ситуацій, Український гідрометеорологічний центр. Щорічно, та при нагальній потребі вони інформують Кабінет Міністрів України, Раду національної безпеки та оборони України, профільні комітети Верховної Ради України щодо стану основних споруд ГЕС та водосховища.

Незважаючи на те, що кожне водоймище індивідуальне, класифікація таких водоймищ дозволяє оцінити їх особливості й характерні загальні ознаки.

За умовами утворення (генезису) можна виділити: водосховища на річках, утворені греблями; зрегульовані озера; наливні водосховища (до них відноситься більшість верхових водосховищ ГАЕС).

Класифікація водосховищ за типами регулювання стоку: багаторічному, сезонному, тижневому й добовому.

З огляду на географічне положення й істотний вплив рельєфу на параметри, режим роботи, взаємодію водосховища з навколишнім середовищем за умовами рельєфу місцевості та висотним положенням водоймища на річках можна розділити на наступні:

- рівнинні, які характеризуються більшими питомими затопленнями на одиницю об'єму, невеликою середньою глибиною (звичайно 4–9 м) і глибиною спрацювання 2–10 м, інтенсивною переробкою берегів, значним підтопленням прибережної зони;
- передгірні, для яких характерні збільшення максимальної глибини до 70–100 м, середньої глибини до 30–40 м, а глибини спрацювання до 10–20 м, обмежені переробка берегів і підтоплення, у багатьох випадках активізація зсувних і обвальних процесів;
- гірські й високогірні, які характеризуються мінімальними питомими затопленнями на одиницю об'єму, більшими максимальними глибинами (до 100–150 м), великою глибиною спрацювання, що досягає 50–100 м, мінімальними переробкою берегів і підтопленням, у багатьох випадках активізацією зсувних і обвальних процесів.

Важливим показником, що характеризує проточність водоймища, є показник водообміну. Інтенсивність процесів самоочищення й формування якості води у водоймищах багато в чому залежать від водообміну. При інтенсивному водообміні домінує транзит води із суспензіями, що втримуються в ній розчиненими речовинами, а при вповільненому водообміні – процес акумуляції.

Розрізняють зовнішній і внутрішній водообмін. Зовнішній водообмін, який відбувається в результаті припливу води з водоскидної площі й у вигляді опадів, тимчасової акумуляції води у водоймище, скидання її з водоймища й випару з його поверхні, для більшості водоймищ грає найбільш істотну роль.

Внутрішній водообмін (горизонтальний і вертикальний) залежить від хвиль і течій. До внутрішнього водообміну відноситься водообмін води у водоймищах ГАЕС, які характеризуються високими показниками водообміну. Підвищення інтенсивності водообміну у водоймищах ГАЕС поряд з іншими факторами сприятливо впливає на якість води.

Основні параметри водосховища:

- рівень мертвого об'єму — об'єм, що призначений для осадження наносів за весь термін експлуатації водосховища. При забиранні води з водосховища для

водопостачання рівень води у ньому не повинен бути нижчим за рівень мертвого об'єму;



Рисунок 1.13 - Вид на Каховське водосховище

- нормальний рівень підпору — рівень, що відповідає розрахунковому об'єму водосховища;
- форсований рівень підпору — максимально можливий (аварійний) рівень води у водосховищі, перевищення якого є недопустимим.
- площа водної поверхні при НІР та РМО;
- обсяг водоймища повний, корисний і мертвий (нижче РМО);
- середня й максимальна глибина водоймища;
- довжина водоймища;
- середня й максимальна ширина акваторії водоймища;
- довжина берегової лінії, що визначається по урізу води при НІР.

Тема 1.4 Добовий та тижневий режими роботи ГЕС і ГАЕС

План

1 Електроенергетичні системи

2 Добове, тижневе та інші види регулювання на ГЕС і ГАЕС

1 Електроенергетичні системи

Енергосистема — сукупність електроенергетичних пристроїв та обладнання, які працюють у взаємно-узгодженому режимі та призначені для виробництва, передачі, розподілу, перетворення і споживання електричної та теплової енергії. Сукупність енергосистем називають об'єднаною енергосистемою.

Об'єднана енергетична система України — сукупність електростанцій, електричних і теплових мереж, інших об'єктів електроенергетики, що об'єднані спільним режимом виробництва, передачі та розподілу електричної й теплової енергії.

Навантаження – активна потужність, що споживається у даний момент часу всіма споживачами енергосистеми, включно власні потреби електростанцій і втрати потужності в електричних мережах. Графік навантаження – крива змінення навантаження за часом, $P(t)$.

Енергосистеми покращують використання потужності кожної електростанції. Графік сумарного навантаження стає більш рівномірним, зменшуються коливання сумарного навантаження системи, що полегшує експлуатацію системи з підтримання на необхідному рівні частоти і напруги.

2 Добове, тижневе та інші види регулювання на ГЕС і ГАЕС

Регулювання стоку — штучний цілеспрямований перерозподіл у часі річкового стоку відповідно до вимог споживання, який відбивається у збільшенні чи зменшенні стоку в порівнянні з природним режимом у певні періоди.

Необхідність регулювання стоку зумовлена потребами забезпечення водою різних галузей господарства (гідроенергетика, млинарство, водопостачання, зрошення, обводнення, водний транспорт, рибництво, рекреація). Здійснюється шляхом створення водосховищ і ставків, лісонасаджень, снігозатримання тощо. За тривалістю циклів розрізняють добове, тижневе, сезонне (річне) і багаторічне регулювання. Найпоширеніше сезонне, коли затримують повеневі та паводкові води і витрачають їх у маловодний період року.

У сучасних енергосистемах, в яких основними енергоджерелами є атомні та теплові станції з великими агрегатами, ГЕС і ГАЕС забезпечують надійну та ефективну роботу енергосистем за рахунок заповнення провальної частини добового графіку навантажень, забезпечуючи роботу агрегатів ТЕС і АЕС у базовому режимі з майже постійною у часі потужністю; покриття пікової частини добового графіку навантажень; виконання функцій аварійного й частотного резерву енергосистем завдяки високій маневреності й швидкодії.

Багаторічне регулювання дозволяє перерозподіляти стік за ряд років, накопичуючи стік у водоймище у багатоводні роки й спрацьовуючи у маловодні. При багаторічному регулюванні суттєво зростають гарантована потужність ГЕС і вироблення нею електроенергії. Річне або сезонне регулювання здійснює перерозподіл стоку всередині року, накопичуючи стік у водоймище у багатоводний сезон у період паводків і спрацьовуючи в маловодний сезон у період межени. Це найпоширеніший тип регулювання стоку. При річному регулюванні зазвичай $\beta > 0,1$.

Тижневе регулювання здійснюється в основному в інтересах гідроенергетики у зв'язку з нерівномірним споживанням електроенергії,

перерозподіляючи стік протягом тижня зі зменшенням попусків у неробочі дні й збільшенням у робочі дні.

Добове регулювання здійснюється у зв'язку з нерівномірним режимом роботи ГЕС при покритті пікової частини графіка навантажень, забезпечуючи перерозподіл витрат води протягом доби. Зазвичай обсяг води у водосховищі, необхідний для добового регулювання, становить 0,3–0,6 обсягу добового стоку через ГЕС.

РОЗДІЛ 2 ОСНОВНІ СПРУДИ МАЛИХ ГЕС І ГАЕС

Тема 2.1 Склад і компонування споруд малих ГЕС

План

- 1 Призначення споруд гідровузлів
- 2 Греблі
- 3 Склад споруд дериваційних ГЕС

1 Призначення споруд гідровузлів

Гідровузлом називається група гідротехнічних споруд, об'єднаних умовами сумісної роботи і розташуванням. Як правило, гідровузли одночасно вирішують декілька проблем. Так, наприклад, створення водосховища Дніпровського гідровузла (м. Запоріжжя) призвело до затоплення дніпровських порогів і у верхній течії Дніпра стало можливим судноплавство. У складі гідровузла працюють дві ГЕС загальною потужністю понад 1,5 млн.кВт, а водою з водосховища зрошуються тисячі гектарів родючої землі. Компоновка гідровузла повинна забезпечити таке взаємне розташування гідротехнічних споруд, яке найкращим чином відповідало б вирішенню народногосподарських і технічних задач.

До складу гідровузла, у залежності від його типу, можуть входити такі споруди:

- водопідпірні;
- водоскидні;
- водопровідні;
- енергетичні;
- водозабірні;
- суднопропускні;
- лісопропускні;
- рибопропускні і рибозахисні;
- транспортні мости.

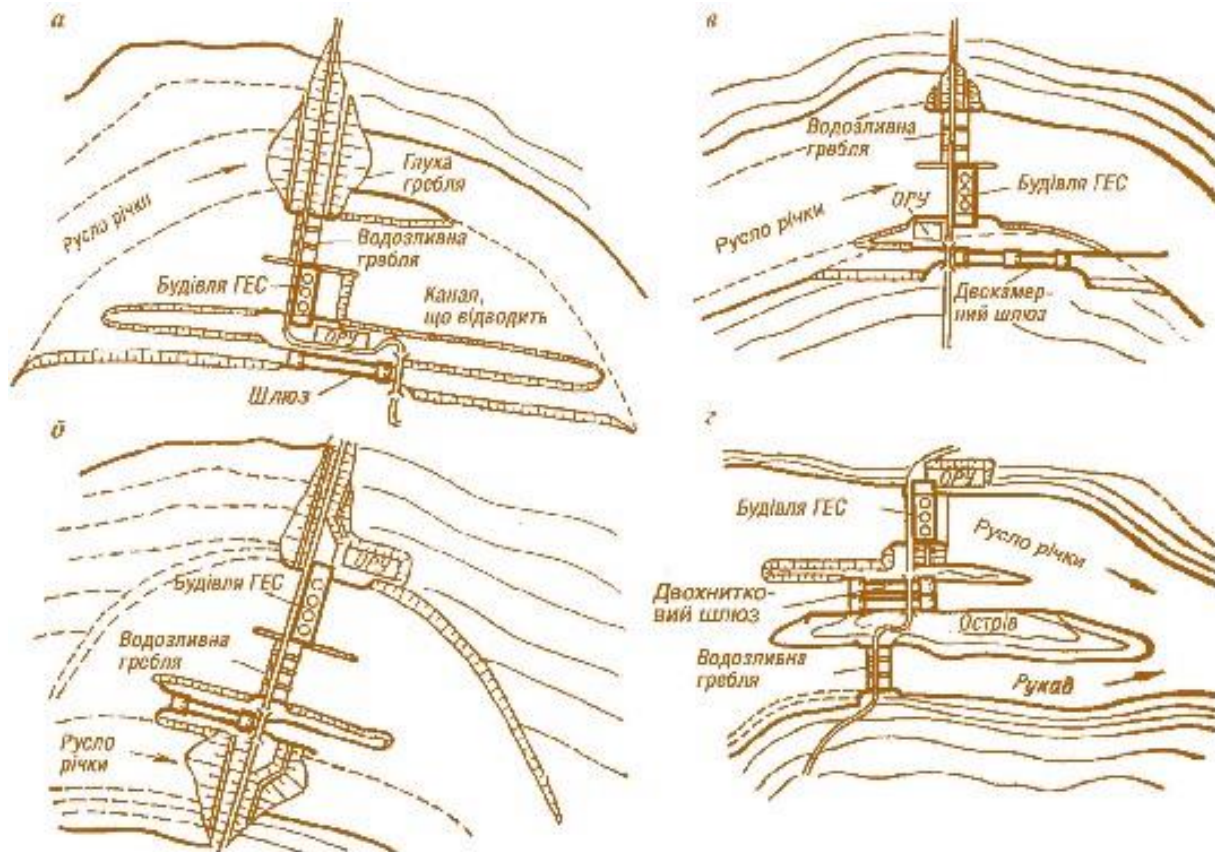


Рисунок 2.1 – Компонування ГЕС із русловими будинками: а – берегова; б – заплавна; в – руслова; г – змішана

При заданому складі споруд гідровузла компоновка залежить від величини напору; кліматичної зони розташування; геологічних умов і топографії створу; водності річки і особливостей її гідрорежиму, водогосподарчих задач вузла, будівельно-виробничих умов.

Гідровузли розподіляють на:

- низьконапірні;
- середньонапірні;
- високонапірні.

Низьконапірні гідровузли споруджуються на рівнинних та гірських річках з метою покращення судноплавства, лісосплаву і водопостачання, в енергетичних і іригаційних цілях. У склад вузлів входять греблі, судноплавні шлюзи, лісосплавні і водозабірні споруди, будівлі ГЕС, рибопропускні пристрої (наприклад Київська ГЕС-ГАЕС).

Середньонапірні гідровузли споруджуються на рівнинних та передгірських ділянках багатоводних річок з широкими заплавами, при затопленні яких можуть бути створені водосховища з сезонним чи річним регулюванням стоку. Таки гідровузли мають значні можливості для комплексного використання.

Високонапірні гідровузли бувають двох типів:

- на гірських річках, несудноплавних, у порівняно вузьких ущелинах, коли заплави майже відсутні, в умовах скельних основ і берегів при максимальних витратах води не надто великих (до декількох тисяч м³ за секунду);
- на рівнинних та передгірських багатоводних річках (максимальні витрати води 10-20 тис. м³/с і більше) в умовах скельних основ.

У складі споруд вузла першого типу головною спорудою є гребля, потім водоскиди, водозабори (ГЕС, іригація, водопостачання), будівля ГЕС, рідко транспортні споруди. Для вузлів другого типу склад такий же, але можуть входити суднопідйомники і судноплавні шлюзи.

Компоновка вузлів у вузьких створах може мати два основних рішення:

- 1) будується бетонна гравітаційна, частіше аркова гребля і всі водоскиди розміщуються в ній або частково на березі (відкриті або тунельні); будівля ГЕС розташовується у тілі греблі або безпосередньо за греблею, або ж під землею;
- 2) будується ґрунтова гребля, частіше кам'яно-земляна, всі водоскиди і водовідвідні споруди (відкриті або тунельні) розміщуються у берегах, а будівля ГЕС – звично підземного типу. Приклади такої компоновки споруд є гідровузли Нурекський на р. Вахш, Чиркейський на р. Сулак, Паркер на р. Колорадо.

В широких створах на багатоводних річках влаштовується у руслі бетонна водоскидна гребля (великі повеневі витрати води). Будівля ГЕС у залежності від напору розміщується у напірному фронті або безпосередньо за бетонною греблею. Вперше схема була застосована на Дніпрі при будівництві Дніпрогесу, де водозливна гребля, криволінійна у плані (для збільшення водозливного фронту), переходить у щитову стінку на правому березі, за якою знаходиться будівля ГЕС. Судноплавний шлюз розміщено на лівому березі.

Прикладами компоновки гідровузлів у широких створах є вузли Братської ГЕС на р. Ангари, Красноярської ГЕС на р. Єнісей, Зейської ГЕС на р. Зеї.

Гідроелектричні станції залежно від потужності поділяють на такі:

- потужні — виробляють від 25 МВт до 250 МВт і вище;
- середні — до 25 МВт;
- малі гідроелектростанції — до 5 МВт.

В деяких країнах (в тому числі й Україні) малими визнаються гідроелектростанції із потужністю до 10 МВт (встановлено Законом України «Про електроенергетику»). Потужність ГЕС безпосередньо залежить від напору води, а також від ККД використаного генератора. Через те, що за природними законами рівень води постійно змінюється, в залежності від сезону, розрізняють річний, місячний, тижневий або добовий цикли роботи гідроелектростанції.

Гідроелектростанції також діляться в залежності від максимального використання напору води:

- високонапірні — понад 60 м;
- середньонапірні — від 25 м;

- низьконапірні — від 3 до 25 м.

Гідроелектричні станції також розділяються в залежності від принципу використання природних ресурсів, відповідно створення концентрації води.

У гідроелектричні станції, в залежності від їх призначення, також можуть входити додаткові споруди, такі як шлюзи або суднопідйомники, що сприяють навігації по водоймі, рибопропускні, водозабірні споруди, що використовуються для іригації і багато іншого.

Водопрпускні споруди можуть розташовуватися як в тілі греблі так і на берегах, забезпечуючи транспортування води в обхід тіла греблі. У деяких випадках греблі з каменю, збудовані без протифільтраційних засобів, забезпечують пропуск розрахункової витрати води в нижній б'єф тільки за рахунок фільтрації потоку крізь тіло греблі (фільтрувальна гребля).

Існують переливні греблі, у яких розрахункові витрати води пропускають в нижній б'єф через поверхневі водозбори або через укріплені укуси греблі. Пропуск води через водозливні отвори на гребені греблі найчастіше регулюється затворами. Водозливні отвори можуть бути використані також для пропуску льоду, іноді дерев'яних лісозаготівельних колод, а при низькому порозі — наносів і, при відповідних швидкостях течії і габаритах отвору, — суден.

2 Греблі

Грѐбля — гідротехнічна споруда, що перегороджує русло річки чи іншого водотоку і його долину для підняття рівня і створення водосховища, створення напору (підпору) води для використання її енергії в ГЕС, водопостачання населених пунктів чи промислових об'єктів. По верхній частині греблі, зазвичай прокладається транспортна магістраль для проїзду через неї.

Класифікація гребель за видами матеріалів:

- земляні (насипні або намивні) греблі;
- кам'янонабросні греблі;
- бетонні.

Бетонні греблі за способом сприйняття навантажень:

- Гравітаційні греблі;
- контрфорсні греблі;
- греблі аркового типу;
- комбіновані (арково-гравітаційні).

Види гребель за способом пропускання води: глухі і водозливні. У глухих греблях немає спеціальних пристроїв для пропуску води у нижній б'єф. У водозливних греблях воду в нижній б'єф пропускають через гребінь або поверхневі водозливні отвори.

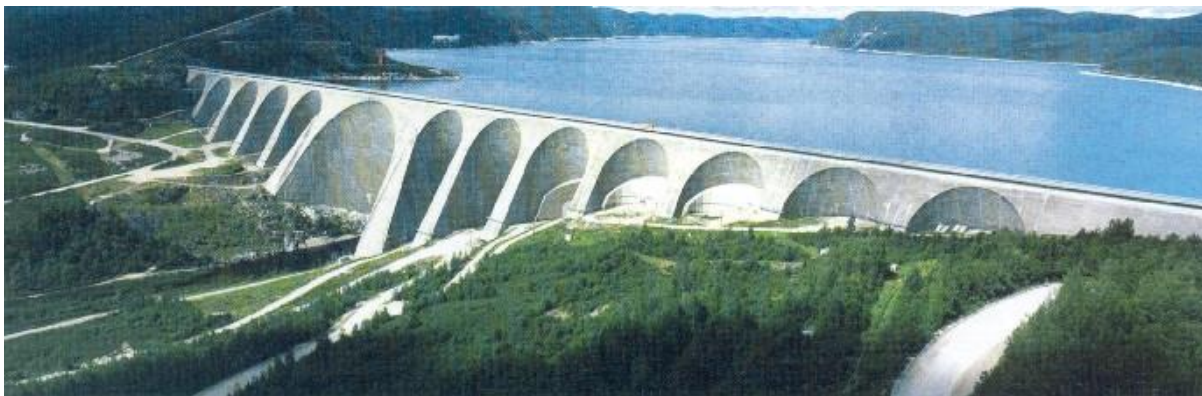


Рисунок 2.2 – ГЕС Даніель Джонсон (Канада), контрфорсна багатоаркова гребля

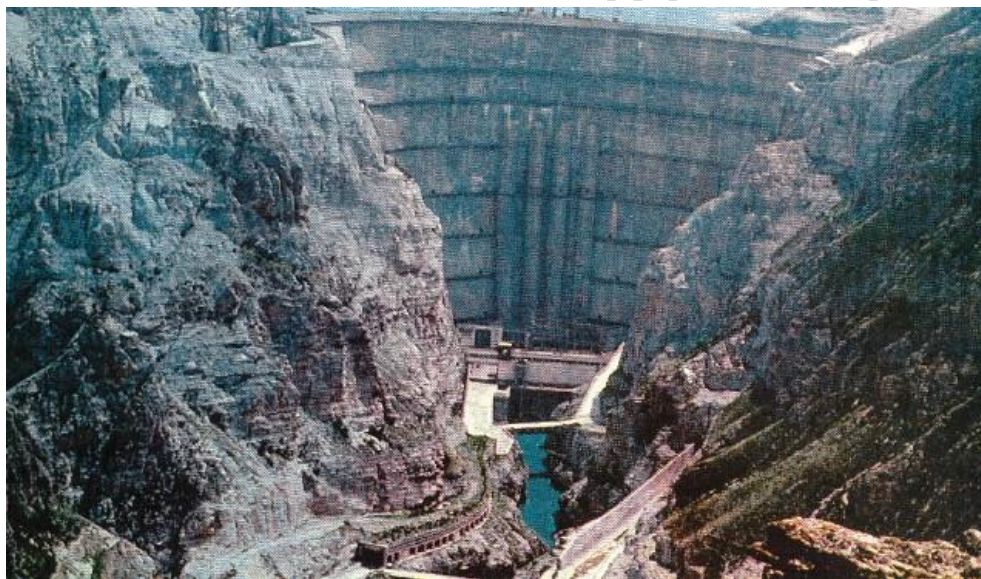


Рисунок 2.3 – Чиркейська ГЕС. Вигляд з нижнього б'єфа. Аркова гребля

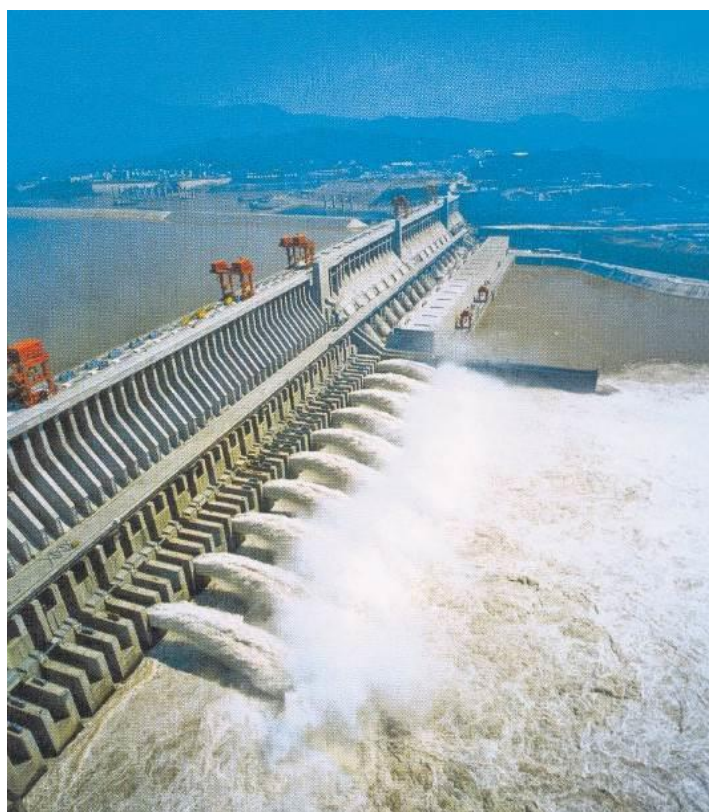


Рисунок 2.4 – ГЕС «Три ущелини». Пропуск паводка через водозливну греблю

Земляні греблі — це насипи з місцевих ґрунтів (пісок, супісок, суглинок, камінь). Такі греблі будуються зазвичай на широких ріках, тому що матеріал для їхнього спорудження порівняно дешевий.

Всі земляні греблі мають трапецієвидний поперечний переріз з ламаним профілем напірного і низового укосів. На укосах через певні розрахункові висотні інтервали розташовують горизонтальні ділянки — берми, що призначені для забезпечення проїзду транспортно-будівельної техніки при будівництві та експлуатації, а також для підвищення стійкості укосів. Для захисту укосів насипних гребель від руйнування хвилями застосовують різні матеріали — бетонні або залізобетонні плити, камінь, асфальтобетон, біологічне укріплення (висаджування швидкозростаючих багаторічних трав і рослин).

Бетонні греблі будують із бетону або залізобетону. Їх споруджують у вузьких, глибоких ущелинах, оскільки тільки бетон здатен витримати сильний напір на основу греблі. Бетонні та залізобетонні греблі на не скельних основах можна будувати висотою не більше 45 м. На скельних основах висота греблі не обмежується і визначається конкретними геологічними, гідрогеологічними та сейсмічними умовами району будівництва.

Гравітаційна гребля — бетонна або кам'яна гребля, стійкість якої по відношенню до сил зсуву (тиск води, льоду, хвиль та ін.) забезпечується в основному силами тертя у підшві, пропорційними власній вазі греблі. Такі греблі мають значну масу і значний поперечний переріз, за рахунок якого забезпечується більша стійкість.

Це досить поширений тип гребель, що використовується як на скельних (Красноярська ГЕС), так і на нескельних (водозливні греблі волзьких гідровузлів) ґрунтах. Найекономічніші форми контуру поперечного профілю гравітаційних гребель близькі до трикутника або трапеції.

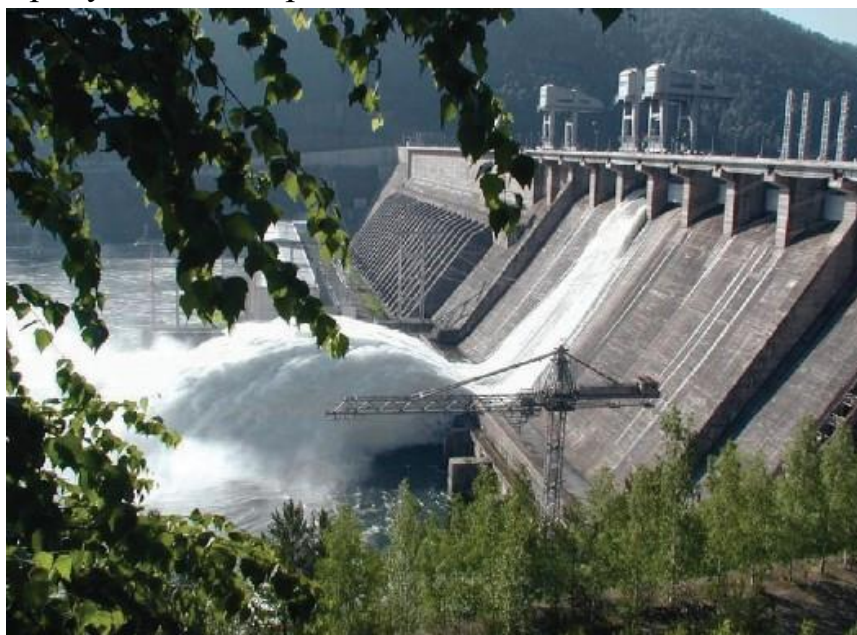


Рисунок 2.5 – Красноярська ГЕС – перша гідроелектростанція на річці Єнісей

Контрфорсна гребля — це гребля, в якій тиск води верхнього б'єфа, сприймається напірним перекриттям (у вигляді плит, склепінь тощо), передається контрфорсам і через останні — підосві. Контрфорси бувають двох типів: масивні (бетонні та бутобетонні) і тонкі (бетонні і залізобетонні) суцільні або наскрізні. Для забезпечення стійкості тонких контрфорсів між ними розташовують балки жорсткості (розпірки), що протидіють подовжньому вигину контрфорсів.

Контрфорсні греблі легші порівняно з гравітаційними. Ці греблі можуть виконуватися з окремих контрфорсів, що примикають один до одного і які мають розширення з боку верхнього б'єфа (масивні оголовки), в цьому випадку греблю називають масивно-контрфорсною (Дніпровська ГЕС). Якщо простір між окремо розташованими контрфорсами перекривають арками, то таку греблю називають багатоарковою контрфорсною. Контрфорсні греблі всіх видів зводять на міцних підосвах.

Аркова гребля — криволінійна в плані гребля, міцність якої забезпечується в основному роботою її як арки з передачею горизонтального тиску води майже повністю берегам або уступам. Їх відносно, тонкостінні конструкції мають поперечний переріз складного профілю (двоякої кривини або купольного типу), звернене опуклістю в бік верхнього б'єфа. Аркові греблі споруджують переважно з бетону за наявності міцної (скельної) підосви і скелястих берегів. Аркові греблі можуть бути глухими, тобто без скидання води, або водоскидними. Це найлегші греблі, які застосовуються в певних природних умовах і служать для створення високих (до 300 м) і надвисоких напорів.

Перші стародавні греблі були побудовані в Месопотамії та на Близькому Сході. Вони використовувалися для контролю рівня води Тигру та Євфрату, які під час сильних дощів ставали непередбачуваними. Найстаріша гребля з відомих знаходиться в Йорданії, Гребля гравітаційного типу була кам'яною стіною заввишки 9 м та 1 м завширшки. Ця гребля датована 3000 р. до н. е. Іншим древнім прикладом є гребля розташована за 25 км на південь від Каїру. Гребля шириною у 102 метри у найдовшому місці та висотою 87 метрів була побудована близько 2800 р. до н. е. або 2600 р. до н. е. Найстарішою існуючою і донині вважається гребля в сучасній Сирії. Її створення датується періодом царювання єгипетського фараона Сеті (1319–1304 рр. до н. е.). Пізніше була збільшена римлянами та у сучасний період у 1934–1938 рр. Гребля досі постачає водою сирійське місто Хомс.

Українське слово дамба, яке зазвичай використовується для визначення греблі, походить від середньонідерландської мови, чий сліди можна побачити в назвах багатьох міст, таких як Амстердам або Роттердам. Проте використання терміна «дамба» у значенні «гребля» є неправильним згідно з нормативною термінологією, оскільки «дамба» — це гідротехнічна споруда у вигляді насипу для захисту території від повеней, для оточення штучних водойм і водотоків, для спрямування потоку води в потрібному напрямку.

У Нідерландах, що розташовані в основному на депресіях, греблі використовувалися для блокування річок, для того щоб відрегулювати рівень води і не дати морській воді затопити території, що лежать нижче рівня моря. Цей тип греблі (дамби) часто давав початок виникненню міста, і тому вона з'являлася у назві, наприклад, Амстердам (раніше Amstelredam) був створений після установки греблі на річці Амстел в кінці XII століття, Роттердам від греблі на річці Ротте. Головна площа Амстердама, ймовірно місце розташування першої греблі, досі називається Dam.

Спільні для усіх видів гребель визначення понять:

водотік — водний об'єкт, що характеризується рухом води в напрямі ухилу у заглибленні земної поверхні;

верхній б'єф — акваторія, що утворюється перед греблею;

нижній б'єф — водотік за греблею;

напірна грань (напірний укіс) — поверхня греблі з боку верхнього б'єфа;

низова грань (низовий укіс) — поверхня греблі з боку нижнього б'єфа;

підшва (підземний контур) — основа греблі, що контактує з ґрунтом, на якому вона зведена;

гребінь — верхня горизонтальна частина греблі, на якій зазвичай розміщують транспортні магістралі;

підпір — піднесення рівня води, що виникає внаслідок перегороджування або звуження русла водотоку чи змін умов стікання підземних вод;

рисберма — укріплення русла потоку в межах гідротехнічної споруди безпосередньо за водобоєм

Таблиця 2.1 – Греблі в Україні

<i>Назва ГЕС</i>	<i>Максимальний напір, м</i>	<i>Тип</i>	<i>Ріка</i>	<i>Рік введення в дію</i>
Дніпровська	60	Бетонна	Дніпро	1932
Дністровська	60	Бетонна водозливна, кам'яно-земляна	Дністер	1981
Київська	22	Водозливна частина бетонна решта — земляна, наливна	Дніпро	1964
Кременчуцька	17	Залізобетонна, земляна	Дніпро	1959
Каховська	16,5	Залізобетонна, земляна	Дніпро	1953
Канівська	15,7	Залізобетонна, земляна	Дніпро	1972
Дніпродзержинська	15,5	Залізобетонна, земляна	Дніпро	1964

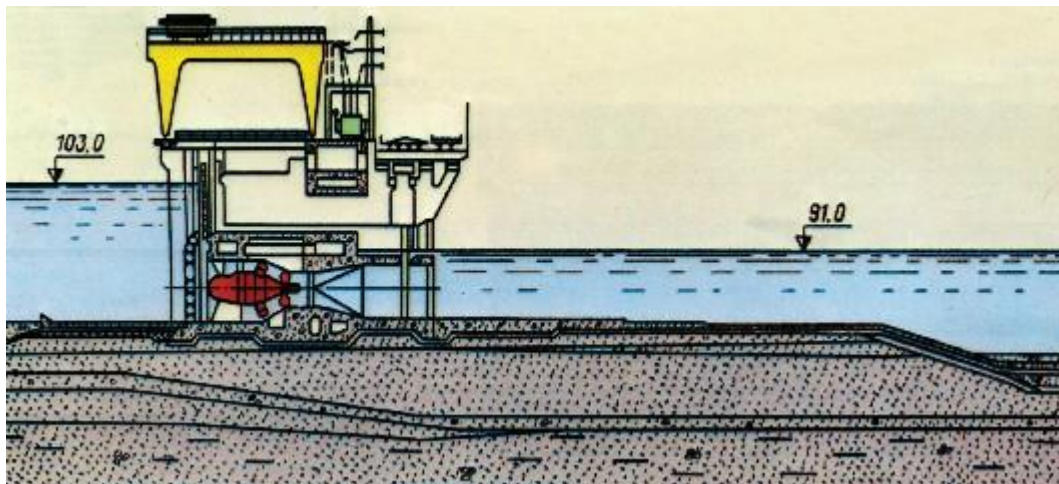


Рисунок 2.6 –Київська ГЕС: поперечний розріз по будинку ГЕС

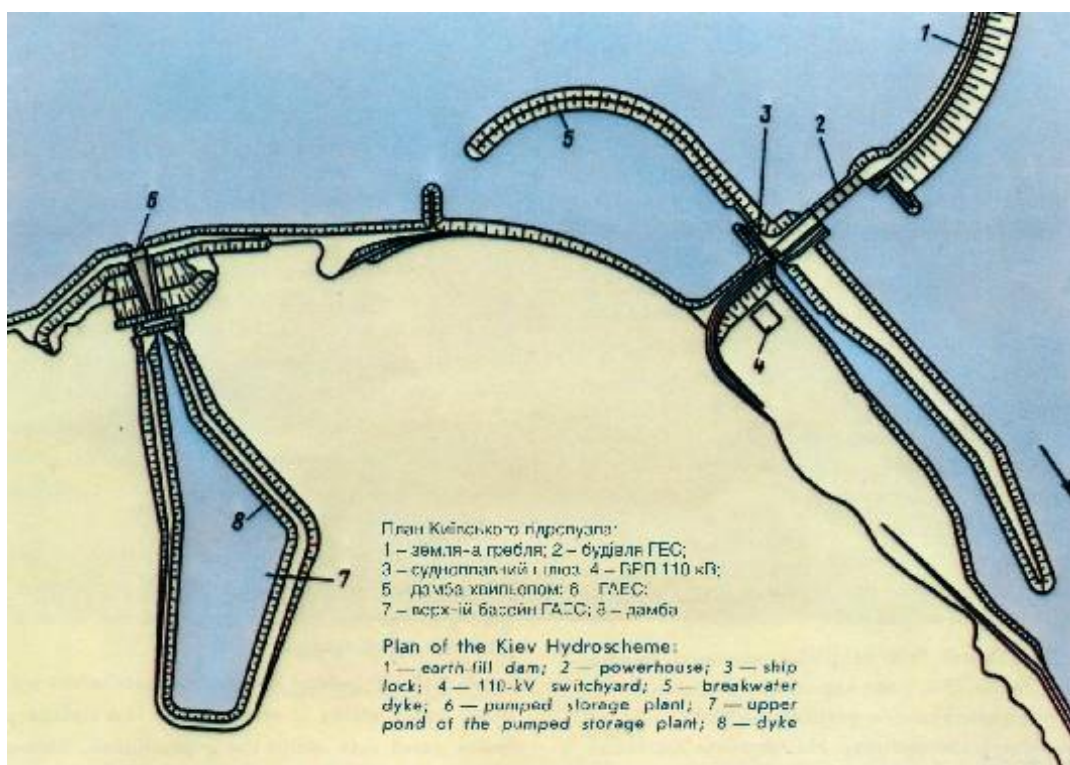


Рисунок 2.7 – Київська ГЕС: план

3 Склад споруд дериваційних ГЕС

Дериваційні ГЕС застосовуються при широкому діапазоні напорів, починаючи від декількох метрів на малих ГЕС і до 2000 м (ГЕС Райссек в Австрії має напір 1767 м), і будуються звичайно в передгірних і гірських районах.

ГЕС із безнапірною деривацією може застосовуватися при незначних коливаннях рівня води у водоймищі. На таких ГЕС із водоприймача вода подається в дериваційний канал, що проходить берегом (при відповідних топографічних і геологічних умовах), або в безнапірний дериваційний тунель.

ГЕС із напірною деривацією застосовується як при великих, так і при незначних коливаннях рівня води у водоймищі. На таких ГЕС із водоприймача вода подається в напірний дериваційний трубопровід, розташований на поверхні, або в напірний дериваційний тунель. Головні вузли з низьконапірними греблями, що споруджуються звичайно на гірських ріках, мають водоймища з обмеженим обсягом, у зв'язку із чим передбачаються заходи для запобігання їх заповнення наносами. Для цього в складі гідровузла водоскидна бетонна гребля виконується з низьким порогом і достатньою шириною водоскидного фронту, що забезпечує при пропуску паводкових витрат промив наносів.

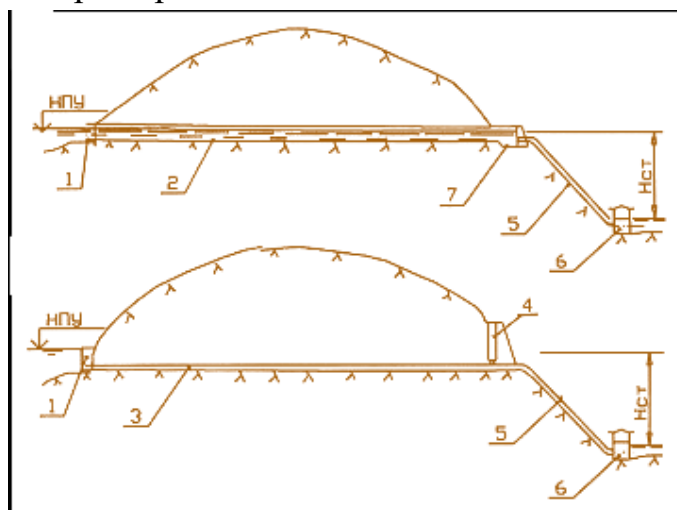


Рисунок 2.8 – Схеми дериваційної ГЕС: а – з безнапірною деривацією; б – з напірною деривацією. 1 – водоприймач; 2 – безнапірний тунель; 3 – напірний тунель; 4 – зрівнювальний резервуар; 5 – напірний трубопровід; 6 – будинок ГЕС; 7 – аванкамера

При великій кількості у воді зважених наносів, які можуть призвести до швидкого стирання проточної частини гідротурбін, влаштовуються відстійники у вигляді камери, в якій при зменшенні швидкості потоку зважені частки осідають на дно, а потім видаляються. Глуха частина греблі може виконуватися бетонною або із ґрунтових матеріалів. Водоприймач може бути сполучений із греблею або виконаний на березі. Водоймища звичайно здійснюють добове регулювання й характеризуються невеликою глибиною спрацювання, що дозволяє виконати як безнапірну, так і напірну деривацію.

Головні вузли із греблями середнього і високого напору характеризуються великим обсягом водоймища і значним спрацюванням водоймища при здійсненні сезонного або багаторічного регулювання стоку. У зв'язку з цим водоприймачі виконуються глибинними, а деривація – напірною.

Греблі можуть виконуватися бетонними (гравітаційними, контрфорсними, арковими) із пристроєм у них водоскиду та у багатьох випадках водоприймача ГЕС, а також з місцевих матеріалів з розміщенням водоскиду й водоприймача поза тілом греблі.

Дериваційні водоводи та споруди на їх трасі (деривація), що здійснюють підведення води до станційного вузла, поділяються на напірні (тунелі, трубопроводи) і безнапірні (канали, тунелі), по трасі яких можуть влаштовуватися водоскиди, дюкери й інші споруди.

Тема 2.2 Основні типи і компонування будівель ГЕС

План

- 1 Типи будівель ГЕС
- 2 Руслові будівлі ГЕС
- 3 Пригребельні будівлі ГЕС
- 4 Будівлі дериваційних ГЕС

1 Типи будівель ГЕС

ГЕС, будівля якої є частиною греблі, називається *русловою* (наприклад, Кременчуцька, Київська ГЕС).

Якщо будівля розташована окремо, біля основи греблі на протилежному від водосховища боці, то така ГЕС називається *пригреблевою* (наприклад, ДніпроГЕС).

ГЕС, до якої вода подається трубами, називається дериваційною (наприклад, Інгузький каскад на Кавказі).

По типу верхньої будови ГЕС розрізняють:

- закритого типу;
- напіввідкритого;
- відкритого типу.

При верхній будові закритого типу з високим машинним залом у межах будинку ГЕС і монтажного майданчика забезпечуються при різних кліматичних умовах найбільш сприятливі умови експлуатації, монтажу й ремонту основного устаткування

При верхній будові напіввідкритого типу зі зниженим машинним залом у межах будинку ГЕС і монтажного майданчика основне устаткування розміщується в машинному залі, крім основного крана великої вантажопідйомності, винесеного за його межі. При монтажі та ремонті складання й розбирання гідроагрегатів виконуються через знімне перекриття над кожним гідроагрегатом за допомогою зовнішнього козлового крана.

При верхній будові відкритого типу без машинного залу гідрогенератор розташовується під знімною кришкою, а решта устаткування в технологічних приміщеннях агрегатної частини будинку ГЕС і монтажного майданчика. Монтажні й ремонтні роботи виконуються за допомогою зовнішнього крана. З огляду на ускладнення умов експлуатації, монтажу й ремонту гідроагрегатів такий тип верхньої будови застосовується вкрай рідко.

По розташуванню відносно земної поверхні:

- наземні;
- напівпідземні;
- підземні.

В останні десятиліття значний розвиток одержало будівництво підземних будинків ГЕС. З них найбільш великі побудовані в Канаді: Черчилл-Фолс потужністю 5225 МВт із напором 320 м, Міка – 2610 МВт із напором 183 м. З підземними будинками виконані Інгурська ГЕС потужністю 1300 МВт у Грузії (рисунок 2.14).

У підземних будинках проведення будівельних робіт не залежить від кліматичних умов, що має важливе значення при будівництві в північних регіонах із суворою зимою або в тропіках із тривалим сезоном дощів. Підземні будинки також застосовуються в тих випадках, коли через несприятливі природні умови в ущелині (крутих зсувонебезпечних схилах, високому рівні води при пропуску паводка), а також велике заглиблення осі робочого колеса турбіни під рівень нижнього б'єфа будівництво відкритих будинків може призвести до порушення стійкості берегових схилів, до різкого збільшення обсягів робіт.

До недоліків підземних будинків можна віднести: у випадку несприятливих інженерно-геологічних умов значне ускладнення виробництва підземних робіт; ускладнення умов експлуатації у зв'язку з подовженням технологічних комунікацій, більш складними схемами видачі потужності; збільшення витрат електроенергії на власні потреби, що викликане необхідністю постійної вентиляції приміщень, їх освітлення та ін.

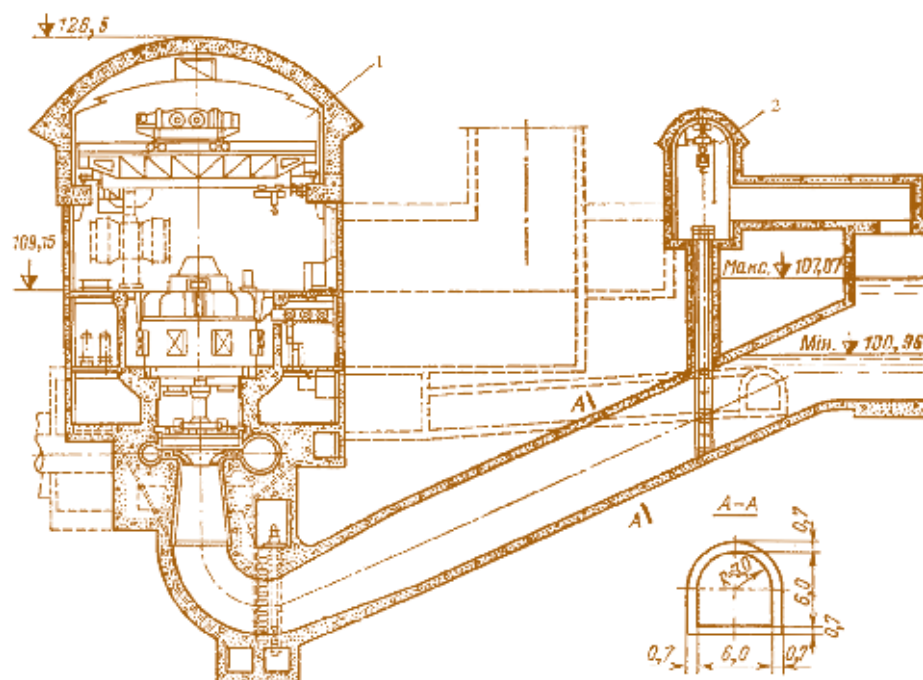


Рисунок 2.9 – Підземний будинок Інгурської ГЕС. Поперечний розріз: 1 – підземний будинок; 2 – приміщення ремонтних затворів відсмоктувальних труб

Напівпідземні будинки ГЕС можуть виконуватися при сприятливих інженерно-геологічних і топографічних умовах і великих коливаннях рівня нижнього б'єфа, розташовані в траншейних виробках, причому верхні будови машзалів можуть влаштовуватися на поверхні землі. Можливі рішення напівпідземних будинків з розміщенням одного або декількох агрегатів в окремих шахтах, над якими на поверхні землі зводиться верхня будова машзалу, як на Дністровській ГАЕС.

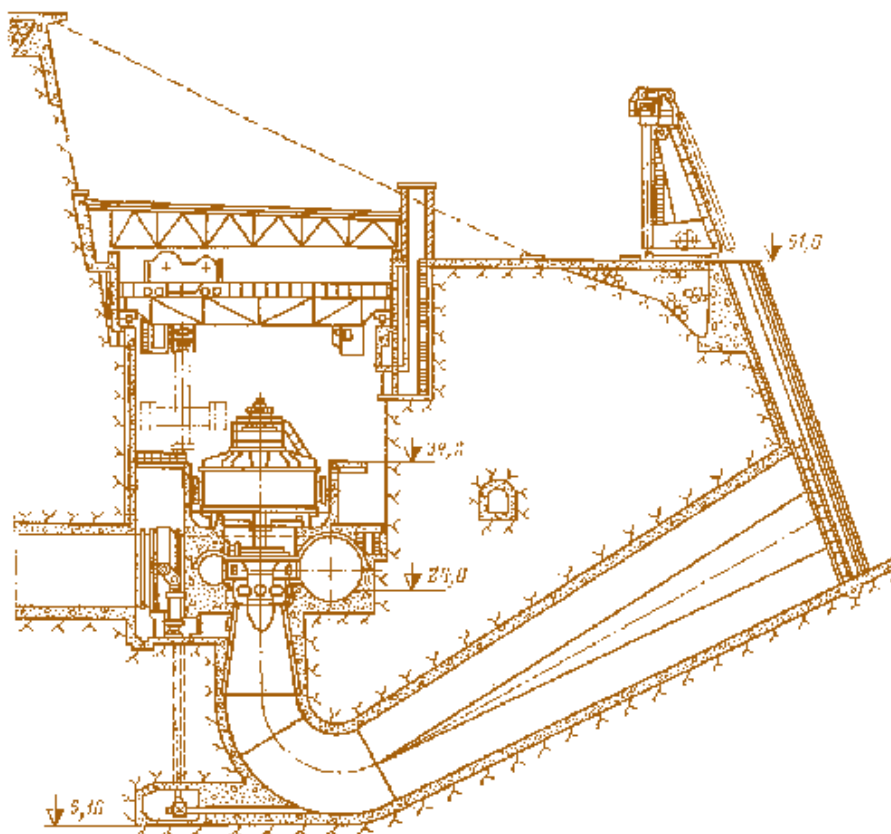


Рисунок 2.10 – Напівпідземний будинок Вілюйської ГЕС, виконаний в траншейній виробці глибиною 60 м, повністю розміщується під поверхнею землі

Безпосередньо в самій будівлі гідроелектростанції розташовується все енергетичне обладнання. У залежності від призначення, воно має свій певний поділ. У машинному залі розташовані гідроагрегати, які безпосередньо перетворюють енергію струму води в електричну енергію. Є ще всіляке додаткове обладнання, пристрої керування й контролю над роботою ГЕС, трансформаторна станція, розподільні пристрої та багато іншого.

Допоміжне устаткування ГЕС і ГАЕС включає системи технічного водопостачання, пневматичного господарства, масляного господарства, відкачки води із проточної частини, дренажу й ін.

Технічне водопостачання (ТВ) призначене для постачання очищеною водою вузлів гідроагрегата й іншого устаткування, у тому числі напрямних підшипників турбін (насос-турбін), повітроохолоджувачів або теплообмінників генераторів (двигунів-генераторів), маслоохолоджувачів трансформаторів й ін. Система ТВ, як

правило, виконується автономною для кожного агрегату, а також забезпечує резервування подачі води.

Пневматичне господарство (ПГ) призначене для забезпечення стисненим повітрям гідросилового, електричного й іншого устаткування й звичайно включає дві системи стисненого повітря – низького тиску (0,8 МПа) і високого тиску (4,0 або 6,3 МПа). Система ПГ включає:

- компресори,
- повітрозбірники
- трубопроводи.

Масляне господарство (МГ) забезпечує устаткування турбінним і трансформаторним (ізоляційним) маслом, включає ємності для зберігання оперативних резервів масла, маслонасосні агрегати, трубопроводи, апаратуру для очищення масла.

Система відкачки води (СВВ) призначена для видалення води з напірних трубопроводів, проточної частини турбінної камери, відсмоктувальної труби, різних ємностей (потерн) будинків ГЕС або ГАЕС при проведенні оглядів, ремонтних робіт і включає зливальні трубопроводи, водоприймальну ємність (галерею) і насосні агрегати для відкачки води в нижній б'єф.

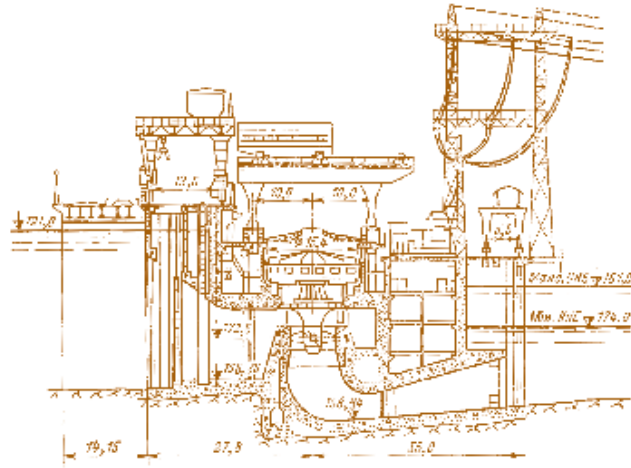
Протипожежні й санітарно-технічні пристрої. На ГЕС і ГАЕС є устаткування з підвищеною пожежною й вибухопожежною небезпекою. Протипожежні пристрої призначені для виявлення пожежі, сигналізації про неї, а для певного устаткування (генератори, трансформатори й ін.) – для автоматичного пожежогасіння за допомогою стаціонарних водяних і пінних установок. На ГЕС (ГАЕС), як правило, виконується окрема система протипожежного водопостачання.

У будинках ГЕС (ГАЕС) встановлюються системи питного водопостачання, опалення, вентиляції, кондиціонування повітря та ін.

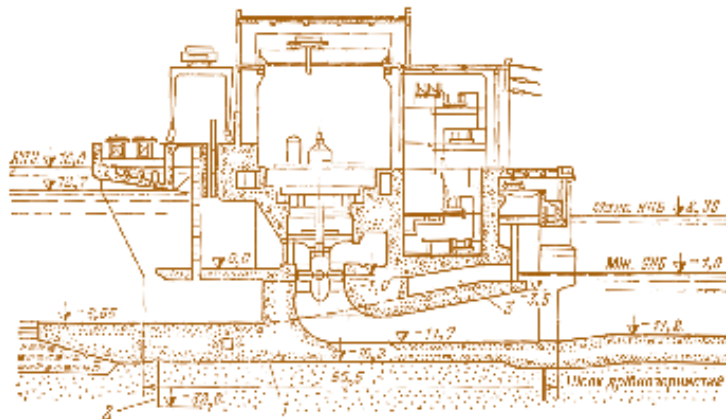
Механічне устаткування. До складу механічного устаткування входять сміттєзатримуючі ґрати, затвори й підйомнотранспортне устаткування, включаючи крани, підйомники для встановлення затворів, сміттєзатримуючих ґрат, головні крани (мостові, козлові) для монтажу та ремонту гідросилового устаткування в будинку ГЕС (ГАЕС). Затвори, що встановлюються на водоприймачах, виконуються аварійно-ремонтними (звичайно плоскими) для перекриття водоприймального отвору й припинення надходження води до гідромашини у випадку аварії.

2 Руслові будівлі ГЕС

Русловими називаються будівлі гідроелектростанцій, які входять до складу водопідпірних споруд. Руслова будівля ГЕС (рисунок 2.10) сумісно із греблею уворюють підпір і сприймають напір води верхнього б'єфу.



а)



б)

Мал. 2.11. Руслові будівлі. Поперечні розрізи й види з нижнього б'єфа: а – Кременчуцької і б – Каховської ГЕС: 1 – фундаментна плита; 2 – металевий шпунт; 3 – донний водоскид

Руслові будівлі гідроелектростанцій, зазвичай, призначені для сприйняття напору до 50 м.

Будівля ГЕС являє собою гідротехнічну споруду, в якій за допомогою гідросилового, електричного, гідромеханічного, допоміжного устаткування, систем керування механічна енергія води перетворюється в електроенергію, що передається в енергосистему споживачам.

При цьому повинні бути забезпечені надійна робота, міцність і стійкість будинку ГЕС при дії зовнішніх навантажень (гідростатичного й гідродинамічного тиску, фільтраційного тиску, температурних, сейсмічних впливів та ін.), а також навантажень від роботи технологічного устаткування.

Тип і конструктивні рішення будинків ГЕС визначаються загальним компонованням споруд ГЕС і основним енергетичним устаткуванням. Нижню частину будинку, де розміщується проточний тракт, включаючи спіральну камеру, відсмоктувальну трубу, турбінне устаткування й ряд технологічних систем, називають агрегатною частиною, а верхня частина будинку з верхньою будовою, де розміщується машинний зал з гідрогенераторами й крановим устаткуванням, а також силові трансформатори, кранове устаткування водоприймача (у руслових будинках), ремонтних затворів відсмоктувальних труб та інше технологічне устаткування, – надагрегатною частиною.

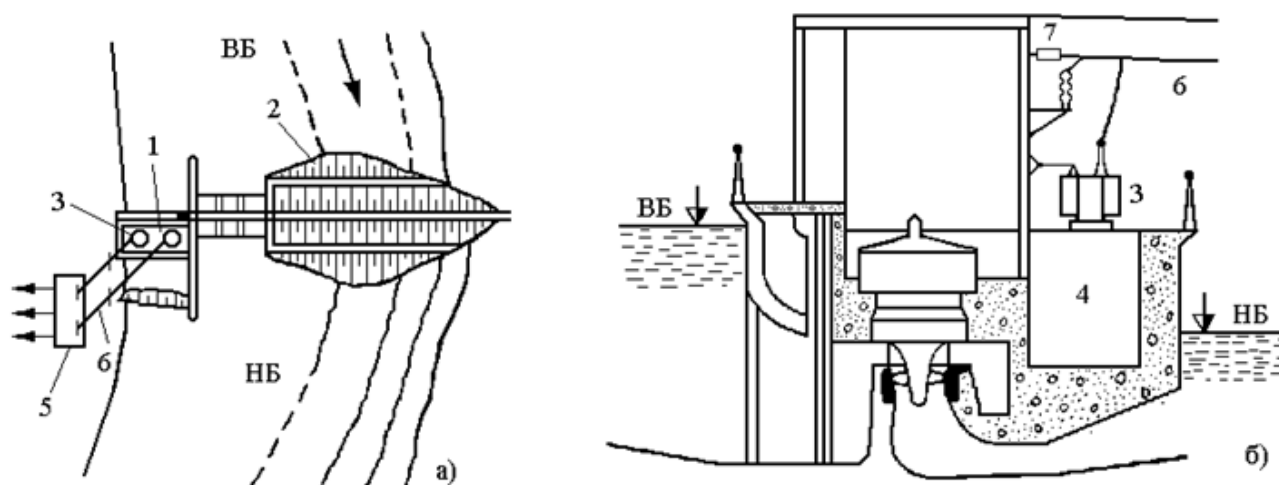


Рисунок 2.12 – План (а) і поперечний переріз (б) ГЕС, розташованої у руслі

На конструкцію та розміри будинку ГЕС у плані й по висоті, заглиблення в основу суттєво впливають габарити гідроагрегату, спіральної (турбінної) камери та відсмоктувальної труби, заглиблення осі робочого колеса гідротурбіни під рівень нижнього б'єфа, кількість гідроагрегатів. Як правило, у будинку ГЕС встановлюються два гідроагрегати й більше (наприклад у будинку Саратовської ГЕС – 23 гідроагрегати, Канівської ГЕС – 24 гідроагрегати), рідко – один гідроагрегат, тому що при його ремонті ГЕС повністю припиняє роботу.

До складу будинку ГЕС входить монтажний майданчик, на якому виконується монтаж гідроагрегатів і їх ремонт у період експлуатації

3 Пригребельні будівлі ГЕС

У цьому випадку річка повністю перегороджується греблею, а сама будівля ГЕС розташовується за греблею, у нижній її частині. Вода, в цьому випадку, підводиться до турбін через спеціальні напірні тунелі. На відміну від руслових пригребельні будинки не сприймають напір верхнього б'єфа, а тиск, переданий на них через турбінні водоводи, невеликий, що дозволяє полегшити конструкцію будинку.

Характерним прикладом пригребельного будинку є будинок Красноярської ГЕС загальною довжиною разом з монтажним майданчиком 428,5 м; де встановлено 12 гідроагрегатів сумарною потужністю 6 млн. кВт (рисунок 2.6).

На Чиркейській ГЕС із арочною греблею, зведеною у вузькій ущелині, зменшення довжини пригребельного будинку досягається дворядним розташуванням гідроагрегатів (рисунок 2.3).

На пригребельній ГЕС (рисунок 2.14) будівлю споруджують за глухою греблею, тому вона не приймає напору води. Вода подається до турбін по напірних трубопроводах. Між будівлею ГЕС і греблею над напірними трубопроводами утворюється так звана "пазуха" 4. Останню зручно використовувати для встановлення трансформаторних блоків і розміщення РУ генераторної напруги. Останнє можна також прибудувати до будівлі ГЕС (показано на рисунку 1.7, б пунктиром). Розподільні установки підвищеної напруги, як і на русловій ГЕС, розташовують на березі і з'єднують з трансформаторами гнучкими проводами.

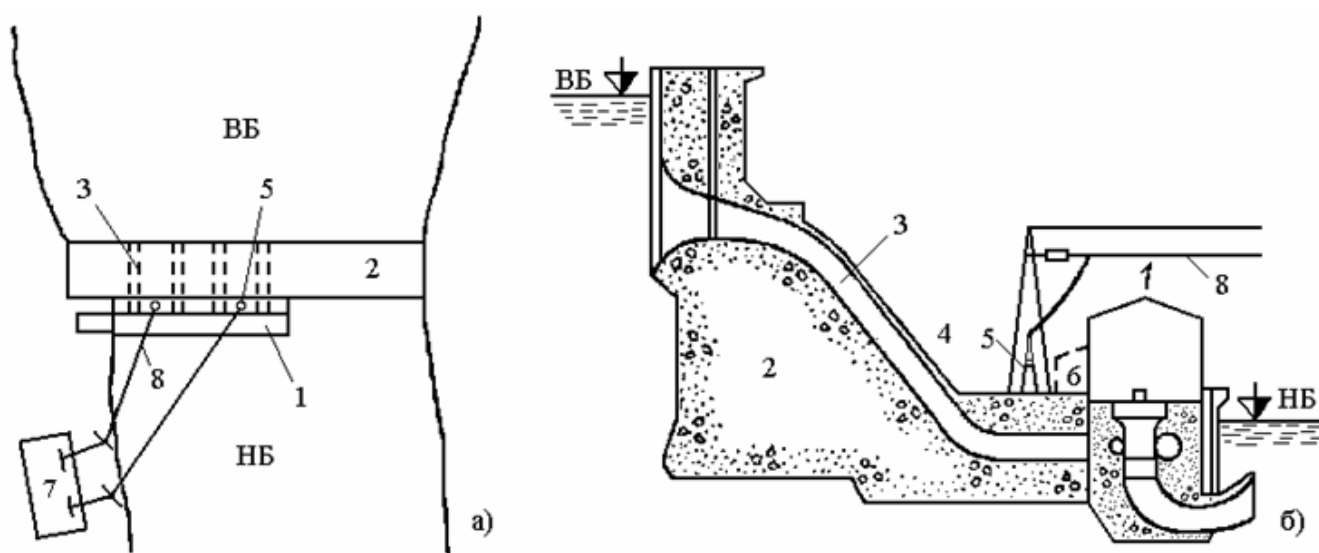


Рисунок 2.13 – План (а) і поперечний переріз (б) ГЕС, розташованої біля греблі
1 – будівля ГЕС; 2 – глуха гребля; 3 – напірний трубопровід; 4 – пазуха; 5 – трансформаторні блоки; 6 – РУ генераторної напруги; 7 – РУ підвищеної напруги; 8 – гнучки провода.



Рисунок 2.14 – Пригребельні будівлі Дніпрогес-1 і Дніпрогес-2

4 Будівлі дериваційних ГЕС

Будівлі ГЕС у складі станційного вузла виконуються береговими відкритими, підземними й рідше напівпідземними.

Станційний вузол включає при безнапірній деривації напірний басейн із аванкамерою, водоприймачем, аварійним водоскидом і незалежно від типу деривації загальні споруди: турбінні напірні водоводи, при необхідності зі зрівноваженим резервуаром, будинок ГЕС, відвідні водоводи у вигляді каналу або тунелю (напірного або безнапірного), розподільчий пристрій.

Характерним прикладом гребельно-дериваційної ГЕС є Інгузька ГЕС (Грузія) потужністю 1,3 млн.кВт (Рисунок 2.15), до складу головного вузла якої входить арична гребля висотою 271 м з паводковим водоскидом, розрахованим на витрату 1900 м³/с. Водоймище має корисний обсяг 0,68 км³ при глибині спрацювання 70 м. Від глибинного водоприймача, розрахованого на витрату 450 м³/с, починається дериваційний напірний тунель діаметром 9,5 м і довжиною 15,3 км.

До складу станційного вузла ГЕС входять зрівнювальний резервуар шахтного типу, приміщення дискових затворів, тунельні турбінні водоводи, підземний будинок ГЕС, відвідний безнапірний тунель і відвідний канал загальною довжиною 3,2 км.

Сумарний статичний напір Інгузької ГЕС, рівний 409,5 м, утворюється з напорів, створюваних греблею (226 м) і деривацією (183,5 м). Розрахунковий напір дорівнює 325 м.

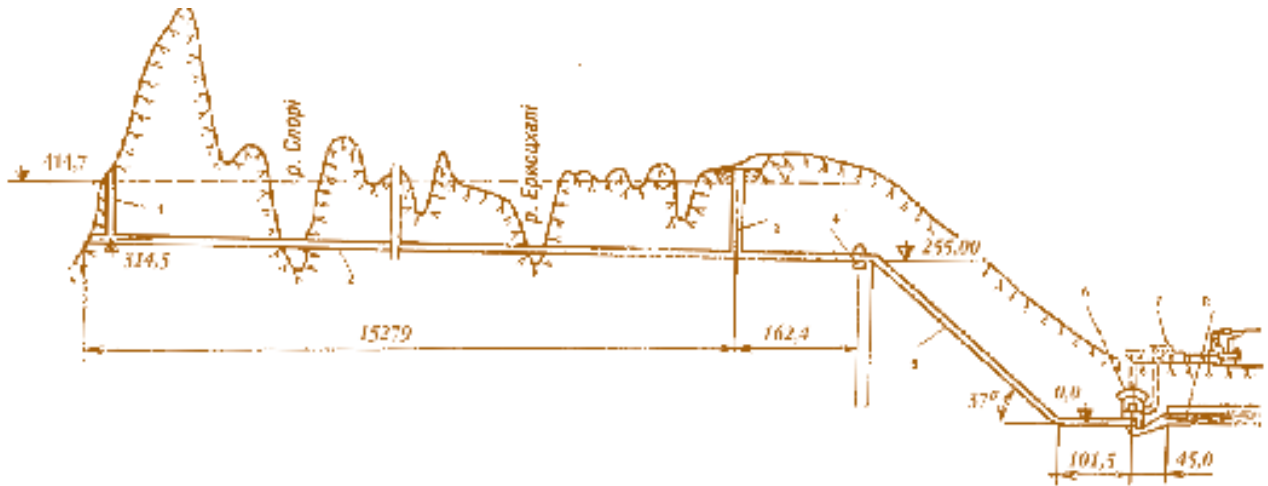


Рисунок 2.15 - Інгузька ГЕС. Поздовжній розріз по спорудах ГЕС: 1 – шахта затворів; 2 – напірний тунель; 3 – зрівнювальний резервуар; 4 – приміщення затворів; 5 – тунельні турбінні водоводи; 6 – підземний будинок ГЕС; 7 – ВРП; 8 – безнапірний відвідний тунель



Рисунок 2.16 – Аркова гребля Інгузької ГЕС

Тема 2.3 Компонування споруд і будівель ГАЕС

План

1 Вибір схеми акумулювання

2 Типи ГАЕС

1 Вибір схеми акумулювання

ГАЕС характеризуються роботою у двох режимах: насосному та турбінному (генераторному). У насосному режимі вода з нижньої водойми перекачується гідроагрегатами ГАЕС у верхню водойму. У насосному режимі ГАЕС зазвичай працює у нічний період, коли в зв'язку зі зниженням навантаження в енергосистемі є надлишок електроенергії, яку й споживає ГАЕС (заповнює провальну частину добового графіку навантажень). У турбінному режимі вода з верхньої водойми скидається у нижню через агрегати ГАЕС, а вироблювана електроенергія подається в енергосистему споживачам. У турбінному режимі ГАЕС працюють у періоди максимального навантаження в енергосистемі (зазвичай у години вечірнього та ранкового піків у добовому графіку навантажень).

За схемою акумулювання ГАЕС підрозділяються на наступні типи (рисунок 2.17):

ГАЕС простого акумулювання, або «чисті» ГАЕС, характерною ознакою яких є практично повна відсутність припливу води у верхню водойму. Така схема використовується на більшості ГАЕС, наприклад на Київській потужністю 235 МВт, Дністровській – 2270 МВт (мал. 2.10), Загорській (Росія) – 1200 МВт.

ГАЕС змішаного типу, або ГЕС–ГАЕС, із припливом води у верхню водойму, при спрацюванні якої у турбінному режимі забезпечується додаткове вироблення електроенергії.

ГАЕС із неповною висотою підкачування води у верхню водойму. Такі ГАЕС використовуються при перекиданні стоку з однієї ріки в іншу шляхом накачування води насосною станцією у верхову водойму на вододіл та скидання її через агрегати ГЕС у низову водойму на іншій річці, а також при влаштуванні на річці двох поряд розташованих водоймищ із перекачуванням води агрегатами ГАЕС із верхнього водоймища на річці в найвищу водойму, розміщену на більш високих відмітках, і скиданням води через агрегати ГАЕС у нижнє водоймище на річці.

Істотною перевагою ГАЕС простого акумулювання є можливість їх будівництва не тільки на великих річках з використанням уже існуючих водоймищ як нижньої водойми, але й вдалині від великих річок на невеликих річках, де є сприятливі топографічні умови для створення напору, поблизу від великих ГЕС і АЕС, що дозволяє підвищити надійність роботи в енергосистемі, знизити витрати на спорудження ЛЕП.

Усі основні типи ГЕС і їх споруди застосовуються на ГАЕС. При цьому до складу споруд ГАЕС додатково входить нижня водойма, що має необхідну корисну ємність.

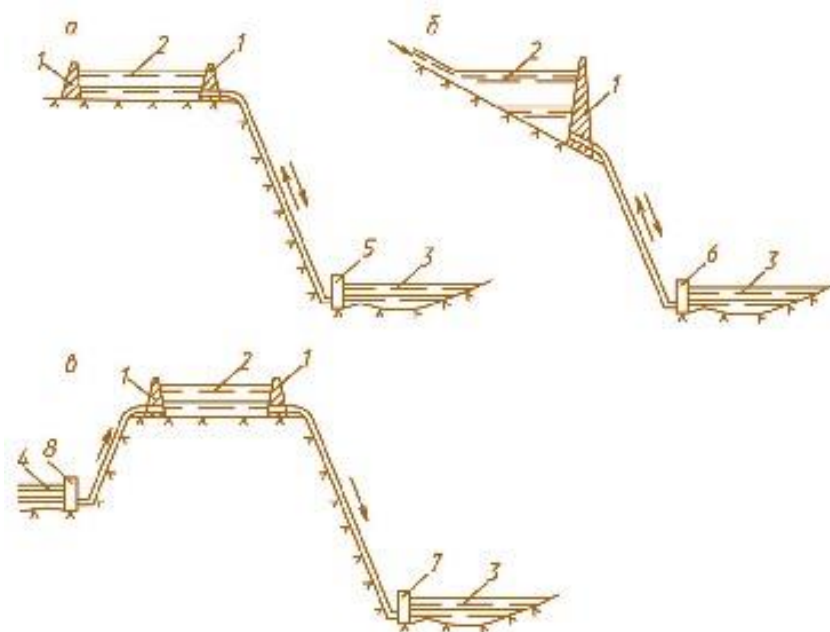


Рисунок 2.17 – Принципові схеми ГАЕС: а – простого акумулювання; б – змішаного типу; в – з неповною висотою підкачування води; 1 – гребля; 2– верхнє водоймище; 3 – нижнє водоймище; 4 – водоймище; 5 – ГАЕС; 6 – ГЕС–ГАЕС; 7 – ГЕС; 8 – насосна станція

ГАЕС із гребельною схемою (з русловими й пригребельними будинками), при яких греблі на річках утворюють верхню і нижню водойми, характерні для ГЕС–ГАЕС, тому що використовують приплив води у верхню водойму. Досить ефективні низьконапірні ГЕС–ГАЕС із використанням оборотних капсульних агрегатів, наприклад, Київська.

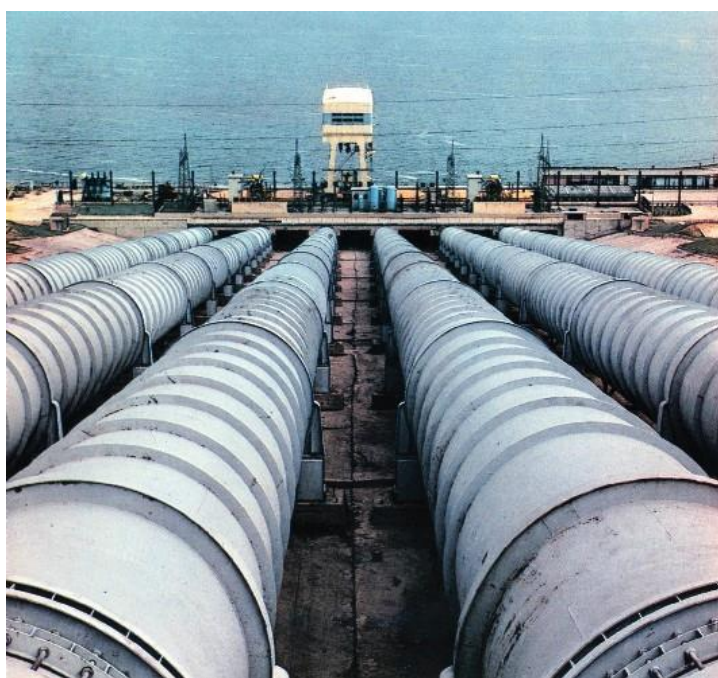


Рисунок 2.18 – Водоприймач і напірні трубопроводи Київської ГАЕС

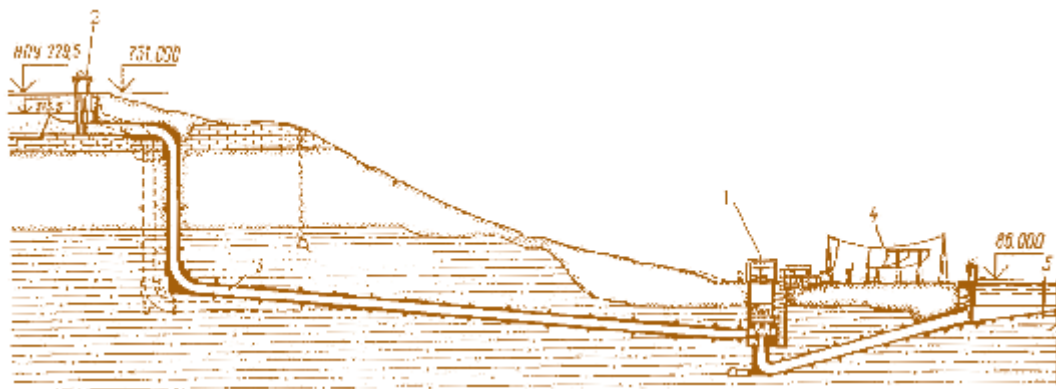


Рисунок 2.19 – Поперечний розріз по спорудам Дністровської ГАЕС: 1 – напівпідземний будинок ГАЕС із розміщенням кожного агрегату в шахті (колодязі); 2 – водоприймач; 3 – напірний тунель; 4 – ВРП; 5 – низова водойма

Дериваційні ГАЕС одержали найзначніше поширення. У багатьох випадках в якості низової водойми використовуються природні існуючі водойми (озера, морські затоки) або створювані водоймища. Так, для Київської ГАЕС використовується Київське водосховище, для Кайшядорської ГАЕС (Литва) – Каунаське водоймище, для споруджуваної Дністровської ГАЕС – спеціально створене водоймище на р. Дністер.

Підведення води від водоприймача до будинку ГАЕС здійснюється, як і на ГЕС, напірними водоводами: металевими – Київська ГАЕС (рисунок 2.18) або сталезалізобетонними – Загорська і Кайшядорська ГАЕС; напірними тунелями, споруджувані Ташлицька та Дністровська ГАЕС.

Будинки дериваційних ГЕС із радіально-осьовими турбінами практично не відрізняються від пригребельних будинків. При установці ковшових турбін змінюється конструкція агрегатної частини будинку ГЕС. Замість турбінної камери виконується напірний розподільний трубопровід у вигляді металевого кожуха, на якому кріпляться сопла турбіни з механізмами регулювання витрати, а вода від турбіни відводиться по безнапірному лоткові. Залежно від потужності гідротурбіни та кількості сопел вісь гідроагрегата може розташовуватися вертикально або горизонтально. Завдяки тому, що в ковшових турбінах робоче колесо розташовується вище максимального рівня нижнього б'єфа, при їх установці суттєво зменшується заглиблення будинку.

ГАЕС із підземними басейнами поки що не одержали практичного застосування. У їх складі в якості нижньої водойми передбачається використовувати розташовані глибоко під землею штучні підземні виробки в скельних породах. Ефективність ГАЕС залежить від природних умов (у першу чергу топогеологічних умов майданчика, що визначають напір, потужність, довжину водоводів, сейсмічність та ін.); можливості використання існуючих водоймищ; наявності ЛЕП для видачі потужності. Збільшення напору в цілому є позитивним чинником, дозволяючи зменшити обсяг водойм, габарити будинку ГАЕС, однак може

призвести до подовження водоводів. ГАЕС будують як при високих, так і середніх напорах. Так, ГАЕС Гранд Мезон (Франція) потужністю 1,8 млн. кВт має напір 905 м, а ГАЕС Ладінгтон (США) потужністю 2,06 млн. кВт – 107,7 м (Рисунок 03).

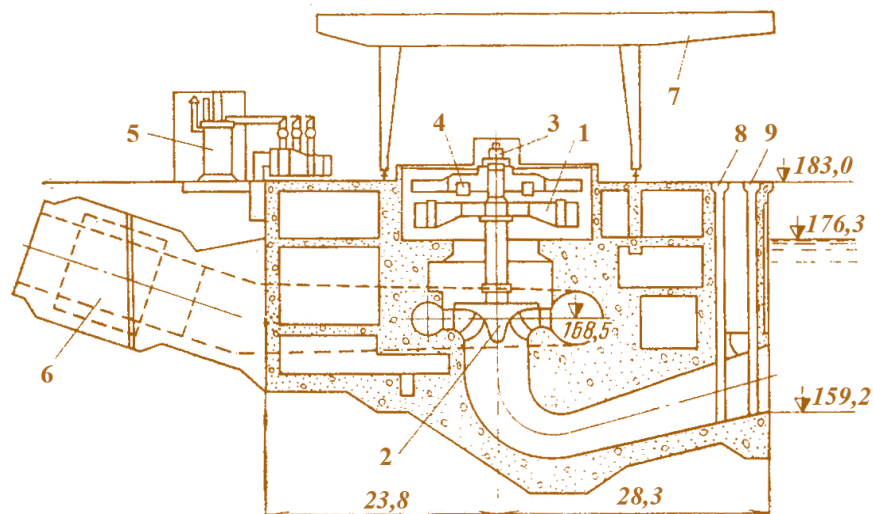


Рисунок 2.20 – Поперечний розріз по будинку ГАЕС Ладінгтон (США): 1 – двигун-генератор; 2 – оборотна гідромашина; 3 – камера компенсаторів трубопроводу; 4 – трансформатор; 5 – паз ремонтного затвора; 6 – паз ґрат; 7 – кран

Як правило, сучасні ГАЕС прагнуть розмістити ближче до центру навантажень енергосистеми, у багатьох випадках поруч із потужними ТЕС і АЕС так, що ГАЕС стають їх супутниками. Наприклад, Ташлицька ГАЕС розташована поруч із Південно-Українською АЕС.

У будинку ГАЕС за допомогою гідросилового, електричного, механічного й допоміжного устаткування, систем керування електрична енергія, що забирається з мережі, перетворюється в механічну енергію води, яка акумулюється у верхній водоймі, а потім відбувається зворотне перетворення механічної енергії води в електричну енергію, видавану в енергосистему споживачам.

Будинки ГАЕС виконуються аналогічно будинкам ГЕС русловими, пригребельними, береговими, відкритими, підземними й напівпідземними, але мають відмінні риси, пов'язані зі складом і типом основного гідросилового устаткування, яке може виконуватися по двохмашинній, трьохмашинній і чотирьохмашинній схемам.

За тривалістю циклу акумулювання (періоду спрацювання та наповнення водойми) ГАЕС підрозділяються так:

- ГАЕС добового акумулювання, які застосовуються найчастіше та характеризуються добовим циклом наповнення та спрацювання водойми.

За тривалістю роботи у турбінному режимі їх підрозділяють на пікові з роботою у турбінному режимі до 5 годин на добу й напівпікові з роботою від 5 до 15 годин на добу. Пікові та напівпікові ГАЕС у насосному режимі працюють в основному у період нічного провалу в графіку навантажень протягом 6–7 годин на добу.

- ГАЕС тижневого акумулювання характеризуються накачуванням у вихідні дні додаткового обсягу води у верхню водойму (що дозволяє в умовах зниження споживання електроенергії в енергосистемі в ці дні зменшити розвантаження ТЕС), яка використовується в робочі дні у турбінному режимі для покриття пікової частини добових графіків навантаження. При такому режимі роботи потрібне збільшення ємності водойм для розміщення додаткового обсягу води.
- ГАЕС із сезонним циклом акумулювання характеризується тим, що у літній період, коли споживання електроенергії знижується, накачується додатковий обсяг води у верхню водойму й за рахунок цього в осінньо-зимовий період максимуму навантаження в енергосистемі збільшуються потужність і вироблення ГАЕС. Такий режим застосовується вкрай рідко, тому що вимагає великої ємності водойм.

2 Типи ГАЕС

ГАЕС здатні акумулювати вироблену електроенергію і пускати її в хід у моменти пікових навантажень. Принцип роботи таких електростанцій наступний: в певні моменти (часи не пікового навантаження), агрегати ГАЕС працюють як насоси, і закачують воду в спеціально обладнані верхні басейни. Коли виникає потреба, вода з них поступає в напірний трубопровід і, відповідно, приводить в дію додаткові турбіни.

На ГАЕС застосовуються три схеми розташування основного гідросилового устаткування.

Чотирьохмашинна схема, при якій є два окремі агрегати – насосний і турбінний, тобто чотири машини (насос, двигун, турбіна та генератор). Така схема дозволяє використовувати переваги роботи насоса та турбіни в найбільш сприятливому режимі (більш високі к.к.д. та ін.), однак вимагає більших додаткових капіталовкладень і застосовується вкрай рідко навіть в умовах високих напорів. Будинки ГАЕС із чотирьохмашинними агрегатами застосовуються вкрай рідко при високих напорах, що пов'язане зі збільшенням габаритів будинку, відповідно обсягів робіт і вартості.

Прикладом використання чотирьохмашинної схеми є ГАЕС Райссек–Кройцек (Австрія) з максимальним напором 1772 м, де встановлені ковшові турбіни та багатоступінчасті насоси.

Трьохмашинна схема складається з одного агрегату, що включає одну оборотну електромашину (двигун-генератор) і дві гідравлічні машини – насос і турбіну, з однаковим напрямком обертання в турбінному й насосному режимах. Така схема дозволяє досягти високих к.к.д. насоса та турбіни і одержала поширення при високих напорах (звичайно більше 300 м) із застосуванням ковшових і

радіально-осьових турбін, наприклад ГАЕС Вальдек II (ФРН) потужністю 440 МВт із напором у турбінному режимі 320 м.

У таких будинках насоси завжди розміщуються нижче турбін, завдяки чому забезпечується більша негативна висота всмоктування насосів.

Двохмашинна схема складається з одного агрегату, що має дві оборотні машини: двигун-генератор і насос-турбіну.

Перевагами двухмашинної схеми в порівнянні із трьохмашинною є скорочення загальної довжини агрегату більш ніж на 30%, відповідно зменшення габаритів будинку ГАЕС і загальне зниження капіталовкладень у гідросилове устаткування та будівельну частину.

Недоліком об'єднання в одній оборотній гідромашині насоса та турбіни є зниження к.к.д. у зв'язку з розбіжністю зон оптимальних к.к.д. у турбінному та насосному режимах. Крім того, у двухмашинній схемі напрямки обертання в турбінному та насосному режимах протилежний, через що ускладнюється перевід з одного режиму в інший і трохи знижується маневреність.

Двохмашинна схема одержала найширше поширення у світі. Така схема застосована на ГАЕС: Ладінгтон (США) потужністю 1872 МВт із напором 108 м, Круоніській (Литва) – 1600 МВт із напором 200 м, Загорській (Росія) – 1200 МВт із напором 113 м, а також на споруджуваній в Україні Ташлицькій – 900 МВт із напором 83 м і Дністровській – 2270 МВт із напором 152 м. На всіх цих ГАЕС застосовані оборотні радіально-осьові гідромашини.

Гідротехнічні споруди ГАЕС складаються з двох басейнів, розташованих на різних рівнях, і сполучних водоводами. Гідроагрегати, встановлені в будівлі ГАЕС в нижній частині водоводу. Верхній басейн ГАЕС може бути штучним або природним (наприклад озеро), нижнім басейном часто служить водоймище, що утворилося унаслідок перекриття річки греблею. Одне з переваг ГАЕС полягає в тому, що вони не схильні до дії сезонних коливань стоку.

РОЗДІЛ 3 ОБЛАДНАННЯ ГІДРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

Тема 3.1 Гідравлічні турбіни

План

- 1 Загальні відомості про турбіни
- 2 Активні турбіни
- 3 Реактивні турбіни

1 Загальні відомості про турбіни

Гідравлічна турбіна – двигун, який перетворює енергію води в механічну енергію обертання її робочого колеса – основного робочого органу турбіни.

Енергія водного потоку перетворюється в механічну енергію обертання вала, від якого приводиться в обертання ротор гідрогенератора, де механічна енергія перетворюється в електричну. Тип гідротурбін вибирається, виходячи з умов їх роботи, обумовлених напором, енергетичними й кавітаційними показниками, забезпеченням високих значень к.к.д. у заданому діапазоні напорів і навантажень.

З основного закону механіки рідини, закону Бернуллі, питома енергія на вході до робочого колеса складає:

$$H_1 = z_{1+} + \frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{v_1^2}{2 \cdot g}, \text{ м} \quad (3.1)$$

На виході з робочого колеса складає:

$$H_2 = z_2 + \frac{P_2}{\rho \cdot g} + \frac{v_2^2}{2 \cdot g}, \text{ м} \quad (3.2)$$

де z - відмітка рівня центру потоку, висота, м;

P -тиск, Па;

v – швидкість, м/с;

ρ - густина води, кг/м³;

g – прискорення сили тяжіння, м/с²

Енергія води, яку отримує робоче колесо турбіни, складається з різниці енергій на вході і виході:

$$H_1 - H_2 = (z_1 - z_2) + \frac{P_1 - P_2}{\rho \cdot g} + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2 \cdot g}, \quad (3.3)$$

Таким чином енергія положення $(z_1 - z_2)$, енергія тиску $\frac{P_1 - P_2}{\rho \cdot g}$ складають разом потенціальну енергію; $\frac{v_1^2 - v_2^2}{2 \cdot g}$ – кінетичну енергію.

По виду використаної енергії турбіни поділяються на класи.

Гідротурбіни, які використовують хоч би частково потенціальну енергію називаються реактивними. В таких турбінах $(z_1 - z_2) + \frac{P_1 - P_2}{\rho \cdot g} > 0$.

В разі використання тільки кінетичної енергії – активні. В таких турбінах $z_1 = z_2, P_1 = P_2$.

Потужність турбіни N_T , Вт:

$$N_T = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \cdot \eta_T, \quad (3.4)$$

де ρ - густина води, кг/м³;

g – прискорення сили тяжіння, м/с²

Q – витрата, м³/с;

H – напір, м в.ст.;

η_T – К.К.Д..

В реактивних турбінах вода до робочого колеса підводиться через напрямний апарат, тиск води перед робочим колесом більше атмосферного, а за ним може бути як більше, так і менше атмосферного тиску. По всій довжині проточного тракту потік суцільний, напірний, робоче колесо обертається у воді й всі його лопаті постійно обтикаються потоком. Ці особливості реактивних турбін уможливають використання робочим колесом всіх компонентів енергії води, що протікає: енергії тиску, енергії положення (потенційної) і кінетичної енергії.

В активних турбінах вода до робочого колеса підводиться через сопла. В активній турбіні вода перед робочим колесом і за ним має тиск, рівний атмосферному, робоче колесо обертається в повітрі й тільки частина лопатей у цей момент часу перебуває у взаємодії з водою. Робоче колесо ковшових турбін може використовувати тільки кінетичну енергію води.

Різноманіття природних умов приводить до того, що напори на ГЕС змінюються в широкому діапазоні від декількох метрів до 1000 м і більше, одинична потужність гідроагрегатів досягає 700 мВт і вище.

Система турбіни визначається з принципу протікання потоку по робочому колесу: в осьових насосах потік паралельний осі насосу, у радіально-осьових змінює напрямок руху на 90 градусів.

Таблиця 3.1 – Системи турбін

Клас турбіни	Система турбіни
Активна	Ковшові
Реактивна	Радіально-осьові Осьові: пропелерна, поворотно-лопатева Діагональні

Типи турбін визначаються за коефіцієнтом швидкохідності n_s : частота оберту модельної турбіни, яка розвиває потужність 0,736 кВт (1 л.с.) при напорі 1 м. Коефіцієнт швидкохідності не залежить від розмірів турбіни, є величиною постійною для всієї серії. Швидкохідність турбіни обумовлена конструктивним виконанням її робочого колеса: формою проточної частини, формою і числом лопатей. Наприклад, маркування турбіни ПЛ10-В означає : поворотно-лопатева, напір $H_{\max}=10$ м в.ст., вертикальна; РО600-В – радіально-осьова, $H_{\max}=600$ м в.ст., вертикальна.

Серії турбін – геометрично подібні турбіни різних розмірів. Крім того всі турбіни умовно поділяються за напором, діаметром колеса.

Таблиця 3.2 – Класифікація турбін за напором

Турбіна	Величина напору H , м в.ст.
Низьконапірна	$H < 25$
Середньонапірна	$25 < H < 80$
Високонапірна	$H > 80$

Таблиця 3.3 – Класифікація турбін за розміром

Назва турбіни	Діаметр D, м для низьконапірної	Діаметр D, м для високонапірної	Потужність N, кВт
Малі	$D < 1,2$	$D < 0,5$	$N < 1000$
Середні	$1,2 < D < 2,5$	$0,5 < D < 1,6$	$1000 < N < 15000$
Крупні	Все інше, що більше за вищеперераховані		

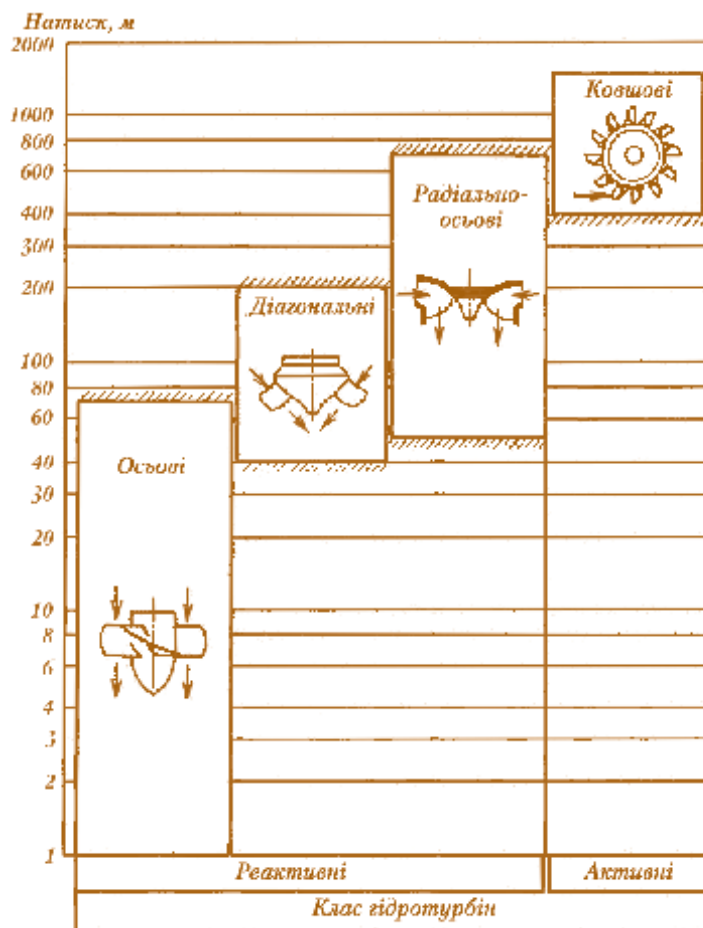


Рисунок 3 1 – Области застосування турбін

2 Активні турбіни

Ковшові турбіни (Пелтона, 1889, США) – єдині з активних турбін, що знайшли практичне застосування. Конструктивна схема буває вертикальною і горизонтальною. Єдина у використанні турбіна, яка не може працювати як зворотна, тобто не може застосовуватись на ГАЕС як насос-турбіна.

Значна перевага цього типу турбін – високі швидкості обертання, що дає можливість зменшити габарити і вагу генератора. В умовах нашої країни ковшові турбіни у перспективі можуть бути застосовані при використанні високих напорів річок, наприклад, у Карпатах.

Ковшові гідротурбіни застосовуються на ГЕС при великих напорах (більше 300 м) або на малих ГЕС, де гідротурбіна повинна працювати при дуже малих

витратах (0,3–0,7 м³/с) і напорах 100 м і вище. Основними елементами ковшової турбіни є сопла й робоче колесо, яке складається з диска з робочими лопатями, схожими на ковші (звідси назва «ковшова»). Загальне число лопатей 12~40. Вода до ковшових турбін підводиться по напірним водоводам.

В останні роки найбільш велика високонапірна ковшова турбіна встановлена на ГЕС Будрон у складі гідровузла Клузон-Диксан (Швейцарія) потужністю 400 МВт, напір більше 1800 м.



Рисунок 3.2 – Ковшова турбіна

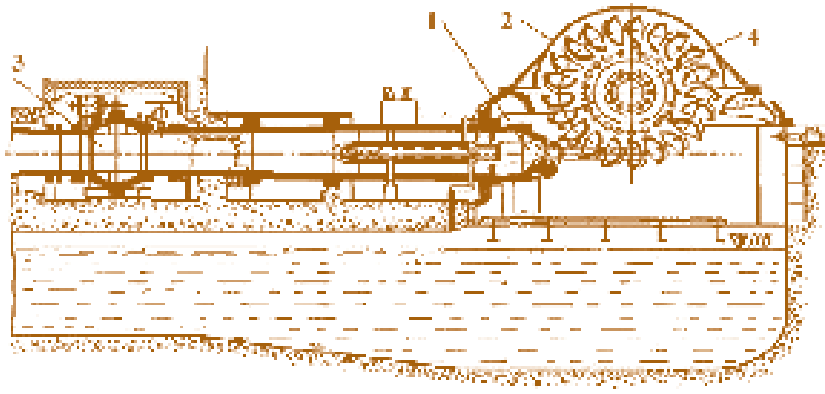


Рисунок 3.3 – Горизонтальна ковшова турбіна: 1 – водовід; 2 – робоче колесо турбіни; 3 – передтурбінний затвор; 4 – вал

3 Реактивні турбіни

Радіально-осьові гідротурбіни (Френсіса, 1855, США) знайшли найбільш широке застосування в гідроенергетиці. Вони застосовуються при напорах від 40 до 700 м. На таких турбінах потік води входить у робоче колесо в радіальному

напрямку, а виходить із нього в осьовому, у зв'язку із чим вони й названі радіально-осьовими.

Робоче колесо радіально-осьової турбіни складається з 12–17 лопатей, що утворюють кругову решітку. Лопаті жорстко закладені в маточину (ступицю) й обід, завдяки чому все робоче колесо одержує необхідну міцність і твердість. Робоче колесо з'єднане із фланцем вала.

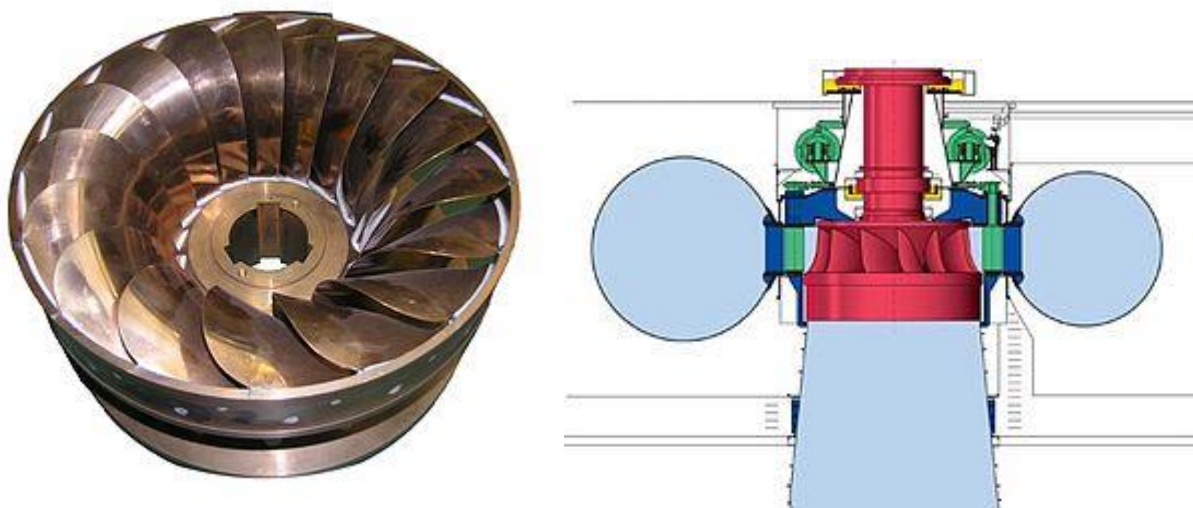


Рисунок 3.4 – Радіально-осьова турбіна

Спіральна камера звичайно виконується металевою із круглим поперечним перерізом для кращого сприйняття значного внутрішнього тиску води.

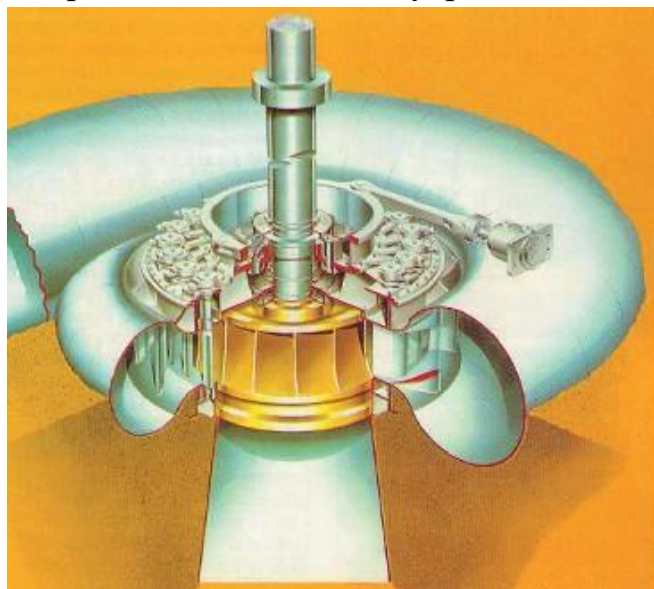


Рисунок 3.5 – Схематичне зображення спіральної камери й турбіни

Напрямний апарат, що складається з 16–24 напрямних лопаток, забезпечує необхідний напрямок потоку перед входом на робоче колесо.

Такі турбіни встановлені на Красноярській ГЕС із потужністю гідроагрегату 500 МВт, максимальний напір 101 м, розрахунковий 93 м, $D_1=7,5$ м; на Сяно-

Шушенській ГЕС потужністю 640 МВт, максимальний напір 220 м, розрахунковий 194 м з робочим колесом ($D_1=7,7$ м) з 16 лопатями.

Переваги у порівнянні з іншими типами турбін, що визначило їх поширеність у користуванні:

- без втрат якості проточної частини конструктивно простіше відносно поворотно-лопатевої турбіни і при цьому забезпечують досить високий ККД у межах значних коливань потужності і напору;
- мають високі кавітаційні властивості;
- надійні і досить прості у експлуатації.

Недоліки, що пов'язані з монтажем радіально-осьової турбіни:

- складне транспортування готового робочого колеса з місця виготовлення до місця монтажу.

Таблиця 3.4 – Основні характеристики найпотужніших РО гідротурбін

ГЕС	Ріка	Потужність турбіни, МВт	Максимальний напір, м	Діаметр турбіни, м
Саяно – Шушенська,	Єнісей	650	220	6,5
Красноярська,	Єнісей	508	100	7,5
Інгурська,	Інгурі	306	404	4,5
Нурекська,	Вахш	310	275	4,75

Великі турбіни виробництва ПАТ «Турбоатом» встановлені на Нурекській ГЕС з потужністю гідроагрегата 300 МВт, максимальний напір 275 м, (Таджикистан); на Чиркейській ГЕС потужністю 250 МВт, максимальний напір 207 м, (Росія); на Інгурській ГЕС (Грузія) потужністю 260 МВт, максимальний напір 404 м, а в останні роки на ГЕС П'єра дель Агіла (Аргентина) з потужністю турбіни 356 МВт, напір 108 м, на ГЕС Ель-Кахон (Мексика) з потужністю турбіни 380 МВт, напір 156,5 м.

Найбільшими турбінами є радіально-осьові турбіни ГЕС Гренд-Кулі-3 (США) потужністю 820 МВт, напір 87 м, $D_1=9,7$ м; ГЕС Ітайпу (Бразилія – Парагвай) потужністю 800 МВт, напір 118,4 м і «Три ущелини» (Китай) з потужністю гідроагрегату 700 МВт, напори 71–113 м.

Осьові - пропелерні і поворотно-лопатевої турбіни (Каплана, 1920, Австрія) виникли у результаті трансформації РО при переміщенні їх в зону більш низьких напорів, що привело до деякого вирівнювання поверхні лопатей, зменшення їх довжини і кількості. Відпала необхідність у зовнішньому ободі робочого колеса турбіни. Майже не відрізняється від компоновки поворотно-лопатевої турбіни. Робоче колесо пропелерної турбіни не має механізму і автоматики регулювання кута розвороту лопатей. У втулці є пристрій для деякого повороту і фіксування лопатей з метою отримання найбільшого ККД.

Робоче колесо осьової турбіни складається з лопатей, укріплених у корпусі з обтічником, і з'єднане з валом. Кількість лопатей звичайно становить від 4 до 8 і збільшується з підвищенням напору. Робоче колесо з валом являють собою обертову частину турбіни.

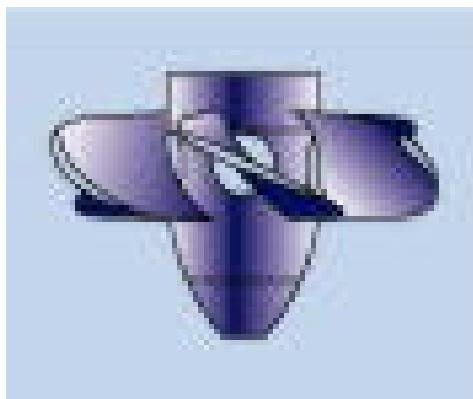


Рисунок 3.6 – Пропелерна турбіна

Турбінна спіральна камера в основному виконується бетонною й має трапецоїдальний поперечний переріз. Тільки при відносно високих напорах (звичайно більш 50 м) застосовуються металеві турбінні камери круглого поперечного перерізу.

Вода відводиться від робочого колеса за допомогою відсмоктувальної труби, що являє собою розширюваний водовід (дифузор), який забезпечує планове зниження швидкості до виходу потоку в нижній б'єф, дозволяючи зменшити кінетичну енергію потоку при виході з турбіни й за рахунок цього підвищити її к.к.д. Відсмоктувальна труба великих турбін завжди виконується з бетону.

Напрямний апарат складається з 20–32 напрямних лопаток, що залежить від діаметра розташування лопаток, які формують кільцеву решітку лопатей, створюючи закручення потоку перед його входом на лопаті робочого колеса. Крім того, лопатки прямого апарата використовуються для регулювання потужності турбіни. Із цією метою кожна лопатка може повертатися на осі й при синхронному повороті всіх лопаток на деякий кут змінюється відкриття. Відповідно змінюються витрати, що пропускається, і потужність гідротурбіни.

Переваги:

- спрощення конструкції, як наслідок спрощення технології виготовлення;
- зменшення металомісткості і вартості виготовлення турбіни;
- зменшення експлуатаційних і ремонтних витрат;
- підвищення надійності;
- відсутність проблеми транспортування.

Недоліки:

- дуже вузька зона високого ККД у залежності від коливань потужності і напору;

- Високий рівень вібрації і великі витрати води у режимі холостого ходу(до 45% від повних витрат при роботі з навантаженням).

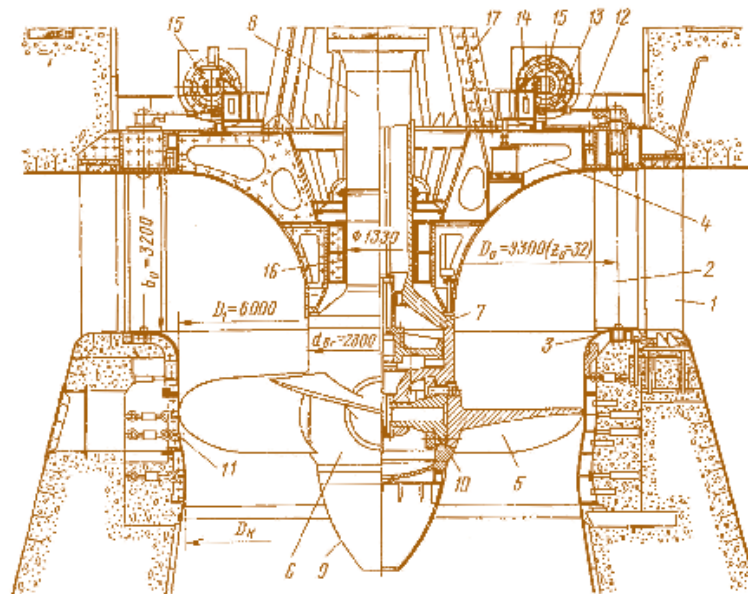
Поворотно-лопатеві турбіни набули значного поширення на ГЕС з напором до 60м, в окремих випадках і до 80м. Застосування їх на більш високі напори приводить до збільшення коефіцієнта кавітації у порівнянні з радіально-осьовими.

Переваги:

- Високий ККД у широкому діапазоні потужності і напору;
- Значно вища у порівнянні з РО швидкохідність.

Недолік у тому, що схема подвійного регулювання, яка пов'язує розворот лопатей робочого колеса з відкриттям напрямного апарату і з коливаннями напору складна.

Поворотно-лопатеві вертикальні гідротурбіни за обсягами використання перебувають на другому місці у світовій практиці після радіально-осьових гідротурбін. У цих турбінах лопаті виконуються поворотними, завдяки чому залежно від умов роботи (навантаження, напору) кут їх установки може змінюватися, що дозволяє одержати більш високі енергетичні показники. Такі турбіни встановлені на каскаді Дніпровських ГЕС (Каховська, Дніпродзержинська, Кременчуцька). Найбільш потужними турбінами цього типу виробництва ПАТ «Турбоатом» оснащені ГЕС Сальто Гранде (Аргентина–Уругвай) — 138 МВт, Шамхорська ГЕС (Азербайджан) — 195 МВт, Шульбинська ГЕС (Казахстан) — 230 МВт, Дністровська ГЕС-1 (Україна) — 120 МВт, Міатлинська ГЕС (Росія).



Мал. 3.7 – Розріз по поворотно-лопатевій турбіні Кременчуцької ГЕС: 1 – колони статора; 2 – напрямні лопатки; 3 – нижнє кільце; 4 – кришка турбіни; 5 – лопаті робочого колеса; 6 – корпус робочого колеса; 7 – фланець вала; 8 – вал; 9 – обтічник робочого колеса; 10 – камера робочого колеса; 11 – висувний сегмент; 12 – важіль напрямної лопатки; 13 – серга; 14 – регулююче кільце; 15 – сервомотори; 16 – підшипник; 17 – опорна конструкція під'ятника генератора

Діагональні поворотно-лопатеві турбіни за багатьма ознаками конструктивної схеми подібні до поворотно-лопатевої турбіни. Істотна різниця у тому, що осі повороту лопатей розташовані під деяким непрямым кутом до осі обертання турбіни(діагонально). Завдяки цьому виникла можливість значно збільшити розмір втулки робочого колеса, встановити на неї більшу кількість лопатей, як слід застосувати на напори значно більші, ніж напори, на які застосовують осьові турбіни.

Перевага у тому, що вдало заповнила деякий пробіл між зонами застосування РО і ПЛ турбін. Недоліки турбіни у тому, що її конструкція складніша від конструкції інших, тому потребує більш високих технологій при виготовленні. Складніша ця турбіна і у експлуатації.

Діагональні гідротурбіни відображають прагнення використовувати поворотно-лопатеві турбіни при більш високих напорах. Вони відрізняються від осьових турбін тим, що лопаті робочого колеса встановлені з нахилом до осі обертання (кут 45–60°). Лопаті робочого колеса — поворотні, що дозволяє застосовувати поворотно-лопатеві турбіни в області більш високих напорів і конкурувати з радіально-осьовими завдяки можливості більш широкого регулювання з урахуванням напору й витрати, підвищенню середнього експлуатаційного к.к.д. Однак їх надійність нижча, ніж радіально-осьових турбін. Можуть бути оборотними.

Найбільші діагональні турбіни встановлено на Зейській ГЕС потужністю 220 МВт при напорах 74,5–97,3 м, діаметрі робочого колеса 6,0 м .

Тема 3.2 Насоси

План

- 1 Насоси, що використовуються при чотирьох-машинної схемі ГАЕС
- 2 Насоси, що використовуються при трьох-, двох-машинної схемі ГАЕС

1 Насоси, що використовуються при чотирьох-машинної схемі ГАЕС

Чотирьохмашинна схема складається з двох незалежних пар машин: турбіни і генератора; насоса і електродвигуна. При такій схемі агрегати частіше компонується у горизонтальному, рідко у вертикальному варіанті. Для роботи у турбінному режимі використовують радіально-осьові або ковшові турбіни, у насосному режимі – багатоступеневі насоси.

Насоси відцентрові серії «Д» (двохсторонні) застосовують на витратах Q до $1,5 \text{ м}^3/\text{с}$ (5,4 тис. $\text{м}^3/\text{год.}$) і напорах H 20-90 м в.ст.

Насоси відцентрові одноступеневі вертикальні застосовують на витратах Q до $30 \text{ м}^3/\text{с}$ (108 тис. $\text{м}^3/\text{год.}$) і напорах H 30-100 м в.ст. Наприклад, «2000В-16/100» означає:діаметр робочого колеса 2000 мм, $Q=16 \text{ м}^3/\text{с}$, $H=100$ м в.ст.

Насоси ОПВ – осьові поворотно-лопатеві вертикального типу застосовують на витратах Q до $40 \text{ м}^3/\text{с}$ ($144 \text{ тис. м}^3/\text{год.}$) і напорах H до 40 м в.ст. Наприклад, «ОПВ-10-260» означає: діаметр робочого колеса 2600 мм , 10 – тип насосу.

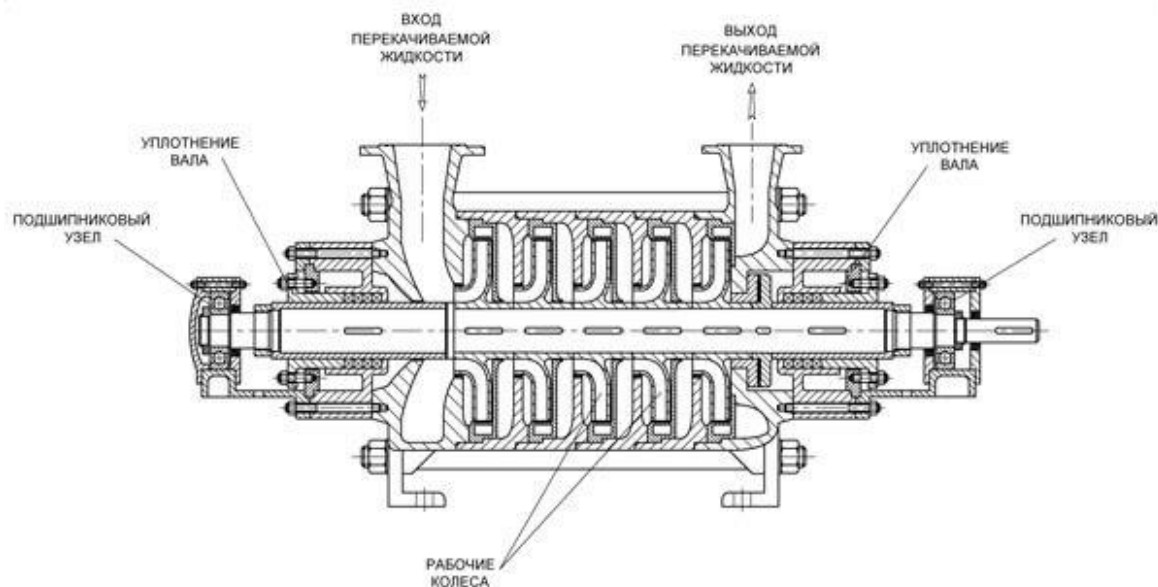


Рисунок 3.8 – Типова схема багатоступеневих відцентрових насосів

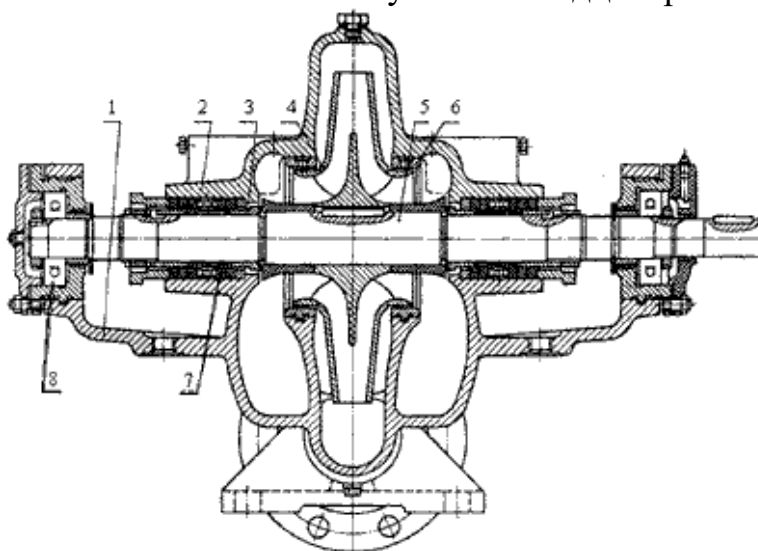


Рисунок 3.9 – Розріз насоса типа Д

1 — корпус; 2 — кришка; 3 — захисна втулка; 4 — робоче колесо; 5 — вал;
6 — ущільнювальне кільце; 7 — набивка сальника; 8 — підшипник



Рисунок 3.10 – Зовнішній вигляд насоса типа Д

2 Насоси, що використовуються при трьох-, двох-машинній схемі ГАЕС

Трьохмашинна схема передбачає дві гідромашини – турбіну і насос, що встановлюються на загальному вертикальному або горизонтальному валу зі зворотною синхронною машиною. Гідроагрегат у турбінному і насосному режимах обертається в одну сторону. Для роботи у турбінному режимі використовують радіально-осьові або ковшові турбіни, у насосному режимі – багатоступеневі насоси (6-9 ступенів). При установці горизонтальних гідроагрегатів з технічної і економічної точок зору доцільно розташування електромашини поміж турбіною і насосом. При вертикальній схемі зверху розміщується електромашина, далі турбіна, муфта, багатоступеневий насос, що заглиблюється по умовам кавітації. Трьохмашинна схема практично й досі єдина можлива на напорах $H > 1300$ м з ковшовими турбінами і багатоступеневими насосами. Європейські ГАЕС на 60% трьохмашинні

Муфта зчеплення-розчеплення в трьохмашинній схемі – складний технічний пристрій, передає великі обертові моменти і працює у жорстких динамічних умовах. Генератор і турбіна постійно з'єднані, насос з'єднується через муфту.

Застосовуються муфти:

- **фрикційні**; керування дистанційне, без зупинки агрегату, але на невеликих потужностях, декількох сотнях кВт;
- **зубчасті**; прості і надійні в експлуатації, можуть передавати великі обертові моменти, керуються гідроприводом, але переключаються тільки при зупинці гідроагрегату (70-100 мВт). Виконують автоматичне з'єднання турбіни і генератора при пуску, переключають з турбінного режиму на насосний і навпаки, зменшують швидкості оберту ротора.
- **гідродинамічні перетворювачі моменту** – найбільш зручні та маневрені при практично необмеженій потужності. Виготовляються у вигляді гідротрансформатору. Застосовуються рідко, тому що виготовляються за індивідуальним заказом у залежності від числа обертів валу, дуже складна система охолодження робочої рідини трансформатору.

При **двохмашинній** схемі застосовуються зворотні гідроагрегати з одно - і багатоступеневими насос-турбінами і синхронними електричними машинами реверсивної дії.

На низьких напорах $H=10-15$ м і великих витратах води рекомендовані горизонтальні зворотні гідроагрегати капсульні трубчасті, досягають потужності 70 МВт і вище при діаметрі робочих коліс 8 м і більше.

Вони мають підвищені енергетичні показники (пропускну здатність й К.К.Д.) завдяки прямоточному тракту й характеризуються зменшеними габаритами агрегатного блоку ГЕС, що дозволяє знизити вартість будівництва. Максимальний К.К.Д. таких турбін досягає 94–95%.

При використанні капсульних агрегатів потік по довжині всього проточного тракту має мінімальні повороти й, що особливо важливо, прямовісний рух без повороту у відсмоктувальній трубі. Це приводить до зниження гідравлічних втрат і збільшення К.К.Д. турбіни, особливо при великих витратах води. У результаті такі турбіни розвивають на 20–35% більшу потужність, ніж вертикальні того ж розміру. У капсульному агрегаті (рисунок 3.11) металева герметична капсула, в якій розміщується генератор, розташовується звичайно з боку верхнього б'єфа, що забезпечує найбільш сприятливі гідравлічні умови в проточному тракті. Капсула опирається на залізобетонний бичок і порожні статорні колони, через які проходять масло- і шинопроводи. Регулююче кільце конічного напрямного апарата й сервомотори розташовані зовні капсули. Вхід у капсулу з машинного залу передбачений по вертикальній герметизованій металевій шахті.

При напорах до 150м можливе встановлення радіально-осьових (РОНТ) або діагональних (ДНТ) насос-турбін. Перевага установки у тому, що знижується висота агрегату до 30-35%, відповідно вартість – на 25-30%.

На ГАЕС з напором $H=600-700\text{м}$ – вертикальні РОНТ. Мають нижчий к.к.д., менш маневрені (8-10 хвилин).

Гідроагрегати з компактними багатоступеневими насос-турбінами доцільні у використанні на напорах $H=700-1300\text{м}$.

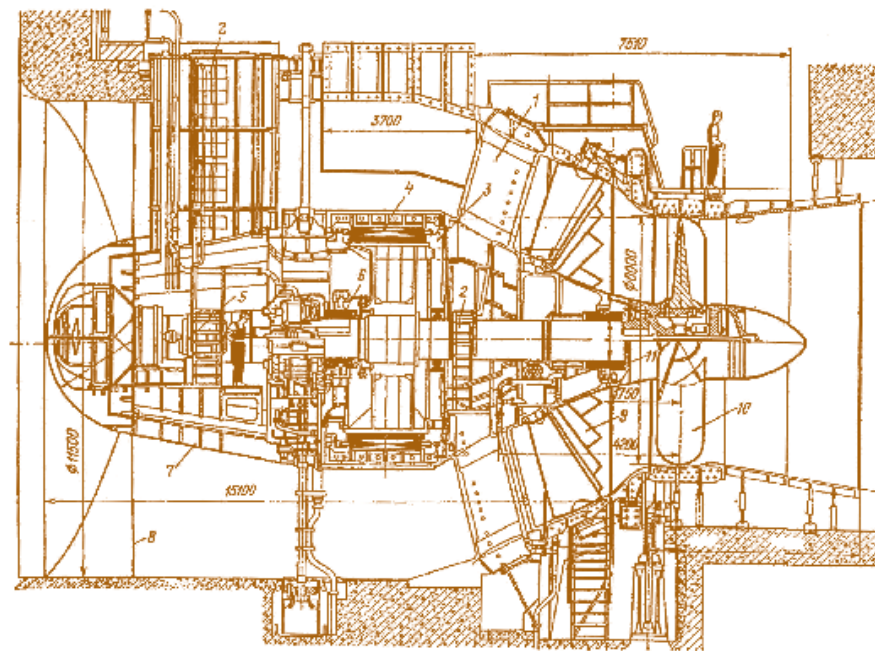


Рисунок 3.11 – Капсульний агрегат Київської ГЕС: 1 – колони статора; 2 – шахта; 3 і 4 – ротор і статор генератора; 5 – масловодоприймач; 6 – під'ятник; 7– капсула; 8 – бичок; 9 – напрямний апарат; 10 – робоче колесо турбіни; 11 – турбінний підшипник

Оборотні гідромашини (насос-турбіни) працюють у насосному режимі, перекачуючи воду з нижньої водойми у верхню, а в період максимуму навантаження у вечірній пік вони працюють у турбінному режимі, видаючи електроенергію в

енергосистему. Таким чином, оборотна гідромашина працює як турбіна і як насос. Оборотні гідромашини можуть виконуватися:

- осьовими,
- діагональними;
- радіально-осьовими.

Гідротурбіна (насос-турбіна) разом з гідрогенератором (генератором-двигуном) утворюють гідроагрегат (оборотний гідроагрегат), в якого, як правило, з'єднання валів гідротурбіни й гідрогенератора жорстке й відповідно частота їх обертання однакова. В особливих випадках для зменшення габаритів гідроагрегату (наприклад у капсульних гідроагрегатах) і при відносно невеликій його потужності з'єднання валів виконується через мультиплікатор, що підвищує частоту обертання генератора.

Насос-турбіна Загорської ГАЕС діаметром 6,3 м працює у турбінному режимі 3-4 години на добу, у насосному – 5 годин. Робоче колесо має 8 лопатей з подовженими між лопатевими каналами. Всі елементи зварні, з хромонікелевої сталі. Лопаті виконано з товстолистового прокату подвійної штампогібки, що забезпечує точність форми і плавність поверхонь. Для підвищення об'ємного К.К.Д. поміж кришкою і робочим колесом, поміж робочим колесом і фундаментним кільцем зроблено лабіринтні ущільнення.

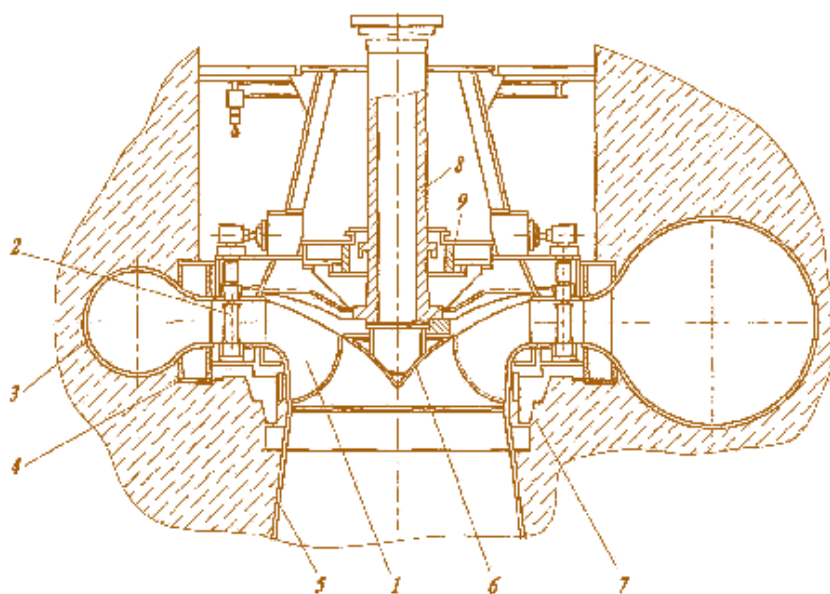


Рисунок 3.12 – Розріз по насос-турбіні Загорської ГАЕС: 1 – робоче колесо; 2 – лопатки напрямного апарата; 3 – спіральна камера; 4 – статор; 5 – відсмоктувальна труба; 6 – конус робочого колеса; 7 – колектор; 8 – вал; 9 – напрямний підшипник

ГАЕС: Ладінгтон (США) потужністю 1872 МВт із напором 108 м, Круоніссській (Литва) – 1600 МВт із напором 200 м, Загорській (Росія) – 1200 МВт із напором 113 м, а також на споруджуваній в Україні Ташлицькій – 900 МВт із напором 83 м і Дністровській – 2270 МВт із напором 152 м – застосовані оборотні радіально-осьові гідромашини.

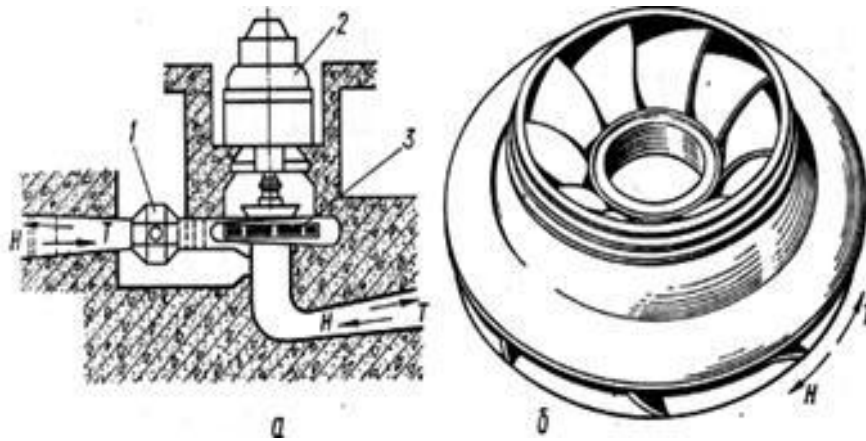


Рисунок 3.13 – Принципіальна схема оборотної радіально-осьової гідромашини

а — Розріз по оборотному гідроагрегату; б — загальний вигляд робочого колеса; 1 — затвор; 2 — генератор - двигун; 3 — оборотна гідромашинна.



Рисунок 3.14 – Напрямний апарат турбіни

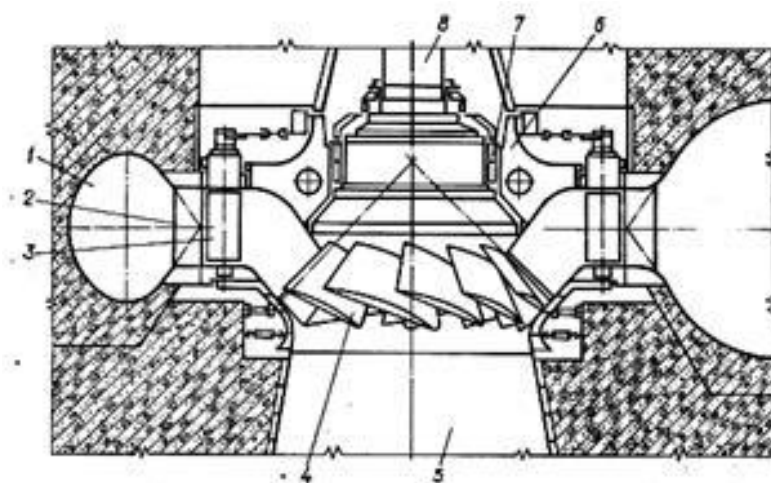


Рисунок 3.15 – Діагональна оборотна гідротурбіна для ГАЕС.

1-спіральна камера; 2-статор; 3-напрямний апарат; 4-робоче колесо; 5-відсмоктувальна труба; 6-кришка турбіни; 7-підшипник турбіни; 8-вал турбіни

Коефіцієнт корисної дії (К.К.Д.) ГАЕС:

$$\eta_{\text{ГАЕС}} = \eta_T \cdot \eta_{\text{НАС}}, \quad (3.5)$$

де η_T - К.К.Д. турбіни;

$\eta_{\text{НАС}}$ - К.К.Д. насосу.

Складає 75-78%, до 79-80%.

Коефіцієнт швидкохідності насосу називається частота обертання модельного насосу, геометрично подібного даному, але таких розмірів, при яких, працюючи у тому ж режимі з напором 1м, он дає подачу 0,075 м³/с при максимальному ККД.

Коефіцієнт швидкохідності насосу визначається за формулою:

$$n_s = 3,65 \cdot n \cdot \sqrt{\frac{Q}{\sqrt{H}^3}}, \quad (3.6)$$

де n – число обертів колеса насосу, 1/сек. ;

Q – витрата насосу, м³/с;

H – напір насосу, м в.ст.

За величиною n_s розрізняють лопатеві насоси на:

- тихохідні, $n_s=40-80$ 1/хв.;
- нормальні, $n_s=80-150$ 1/хв.;
- бистрохідні, $n_s=150-300$ 1/хв.;
- діагональні (півосьові), $n_s= 300-600$ 1/хв.;
- осьові, $n_s > 600$ 1/хв., до 1800 1/хв.

Формули подібності насосів:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1 \cdot D_1}{n_2 \cdot D_2}, \quad \frac{H_1}{H_2} = \frac{n_1^2 \cdot D_1^2}{n_2^2 \cdot D_2^2}, \quad \frac{N_1}{N_2} = \frac{n_1^3 \cdot D_1^3}{n_2^3 \cdot D_2^3}, \quad (3.7; 3.8; 3.9)$$

де n – число обертів колеса насосу, 1/сек. ;

Q – витрата насосу, м³/с;

H – напір насосу, м в.ст.;

N – потужність насосу, кВт.

Потужність насосу, кВт, визначається за формулою:

$$N_{\text{НАС}} = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{\eta_{\text{НАС}}}, \quad (3.10)$$

де ρ - густина води, кг/м³;

g – прискорення сили тяжіння, м/с²

Таблиця 3.5 – Приклади обладнання ГАЕС

Назва ГАЕС, кількість машин	Країна	Рік вводу в експлуатацію	Насоси	Турбіни	Напір Н, м в.ст.		Тип будівлі
					Насосний режим	Турбінний режим	
Райсек- Кройцек 4 машин.	Австрія	1957	Відцентрові багатоступеневі	Ковшеві	1070	1740	ДР
Віанден 1 3 машинна	Люксембур	1968	Відцентрові багатоступеневі	радіально-осьова турбіна	292	288	ПЗ
Київська 2 машинна	Україна	1971	-	Оборотна радіально-осьова насос-турбіна	73	67	ПО
Ладінгтон 2 машинна	США	1973	-	Оборотна радіально-осьова насос-турбіна	144	108	ПО
Вальдек 2 3 машинна	ФРГ	1974	Відцентрові багатоступеневі	радіально-осьова турбіна	329	320	ПЗ -52,6м

Примітка: ДР-дериваційна, ПЗ підземна будівля, ПО-напіввідкрита.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

- 1 Дмитрієв А.Ф., Хлапук М.М., Шумінський В.Д. та ін. Гідротехнічні споруди. – Рівне: Видавництво Рівненського державного технічного університету, 1999. – 382с.
- 2 Непорожний П.С., Обрезков В.И. Введение в специальность: Гидроэлектроэнергетика. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 352с.
- 3 Гидроэнергетическое и вспомогательное оборудование гидроэлектростанций: Справочное пособие. Под ред. Васильева Ю.С., Щавелёва Д.С. Т.1 Основное оборудование гидроэлектростанций. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 400с.
- 4 Паливно-енергетичний комплекс України в контексті глобальних енергетичних перетворень А.К. Шидловський, Б.С. Стогній, М.М. Кулик та ін. – К.: Українські енциклопедичні знання, 2004. – 468 с.
- 5 Енергетичні ресурси та потоки За загальною ред. А.К. Шидловського. – К.: Українські енциклопедичні знання, 2003. – 472 с.
- 6 Звіт про діяльність Національної комісії регулювання електроенергетики України за 2007 та 2008 роки. Ковалко М.П., Денисюк С.П. Енергетична безпека – складова національної безпеки України Відповідальний ред. А.К. Шидловський. – К.: УЕЗ, 1997. – 91 с.