

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-енергетичний факультет

Кафедра електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

Генеруючі агрегати і станції

конспект лекції

для здобувачів бакалаврського рівня вищої освіти ОПП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіки» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіки» денної форми здобуття вищої освіти

ЧАСТИНА I

Миколаїв
2024

УДК 621.311.2
Г34

Рекомендовано до друку науково-методичною комісією Інженерно-енергетичного факультету Миколаївського національного аграрного університету (протокол № 7 від 10.04.2024 р.).

Укладач:

Віталій МАРДЗЯВКО – асистент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, Миколаївський національний аграрний університет

Андрій РУДЕНКО – асистент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, Миколаївський національний аграрний університет

Руслан ЧУРИЛО – майстер виробничого навчання кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, Миколаївський національний аграрний університет

Рецензенти:

Микола КУНДЕНКО - д-р. техн. наук, професор академік Міжнародної Академії Аграрної Освіти, завідувач кафедри теплотехніки та енергоефективних технологій НТУ “ХП”.

Андрій СТАВИНСЬКИЙ – д-р техн. наук, професор, зав. кафедрою електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, Миколаївський національний аграрний університет

© Миколаївський національний
аграрний університет, 2024

ЗМІСТ

ВСТУП	4
ЛЕКЦІЯ №1. «СПОСОБИ ВИРОБНИЦТВА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ»	5
ЛЕКЦІЯ №2 «СОНЯЧНІ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ»	9
ЛЕКЦІЯ №3 «ВІТРОГЕНЕРУЮЧІ УСТАНОВКИ»	15
ЛЕКЦІЯ №4 «ГЕНЕРАЦІЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЄЮ»	22
ЛЕКЦІЯ №5 «ГІДРОГЕНЕРАТОРИ»	41
ЛЕКЦІЯ №6. «ТЕПЛОВІ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ»	47
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	58

ВСТУП

На сьогоднішній день процес генерації електроенергії найчастіше здійснюється за допомогою викопного палива, такого як нафта, природний газ та вугілля, яке піддається спалюванню. Цей метод, на жаль, призводить до серйозного забруднення навколишнього середовища та має негативний вплив на зміни клімату. Понад 80% електроенергії виробляється завдяки спалюванню цих викопних палив.

Проте, на щастя, існують інші джерела енергії, такі як атомна енергія, гідроенергія, біопаливо та інші відновлювальні джерела, які у сумі відповідають лише за 20% виробленої енергії. З урахуванням наростаючих проблем з екологією, фахівці все більше звертають увагу на можливості використання енергії з відновлювальних джерел, які є більш екологічно чистими.

Серед таких джерел важливе значення мають вітер, сонце, морські та земні ресурси, біогаз, біодизельне паливо, біоетанол та інші. Успішна експлуатація відповідних установок та об'єктів з використанням альтернативних джерел енергії як у нашій країні, так і за її межами, свідчить про їхню ефективність та перспективність.

З метою покращення розуміння та підвищення ефективності експлуатації та модернізації установок для генерації енергії було розроблено лекційний матеріал для студентів спеціальності "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка".

ЛЕКЦІЯ №1. «СПОСОБИ ВИРОБНИЦТВА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ»

Одним із найпоширеніших методів виробництва електроенергії є використання електричних генераторів, що знаходяться на одній осі з турбіною. Ці генератори перетворюють кінетичну енергію обертання турбіни на електричну енергію. Залежно від типу робочого агрегату, який обертає турбіну, електростанції поділяють на гідравлічні та теплові, включаючи ядерні.

1. Гідроенергетика

Гідроенергетика – це сфера виробництва електроенергії з використанням водних ресурсів як джерела енергії. Головними установками у цій сфері є гідроелектростанції (ГЕС), які знаходяться на річках. Основний принцип функціонування гідроелектростанцій полягає в створенні перепаду рівнів води. Вода з верхньої точки переливається до нижнього рівня, створюючи потік, який розкручує лопаті водних турбін. Турбіна, в свою чергу, перетворює кінетичну енергію води на електричну енергію, приводячи в рух ротор електрогенератора (рис. 1.1). Гідроакumuлюючі електростанції – це особливий тип ГЕС, які допомагають регулювати навантаження мережі в періоди пікового споживання електроенергії.

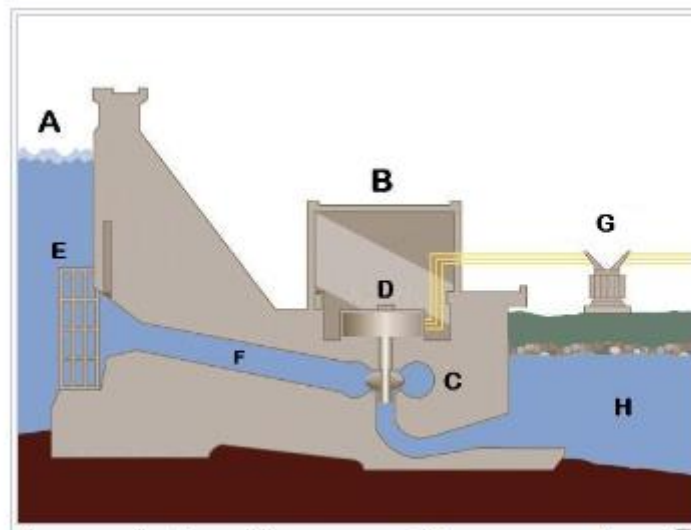


Рис. 1.1. Конструктивні особливості гідроелектростанції:

А — водосховище, В — машинна зала будівлі ГЕС, С — гідравлічна турбіна, D — електрогенератор, Е — водоприймач, F — напірний водовід, G — лінія електропередачі, Н — русло річки

2. Теплова енергетика

Теплова енергетика виробляється на теплових електростанціях, які перетворюють теплову енергію, отриману від згоряння органічного палива, на електричну енергію. ТЕС поділяються на два основних типи: конденсаційні та теплофікаційні. У конденсаційних ТЕС теплова енергія, яка виникає при згоранні палива, нагріває воду у парогенераторах, а утворена перегріта водяна пара подається до парової турбіни, яка знаходиться на одній вісі з електричним генератором. У теплофікаційних ТЕС частина теплової енергії використовується для обігріву житлових районів, що значно підвищує ефективність використання палива (рис. 1.2.).

Теплофікаційні електростанції (ТЕЦ), також відомі як теплоелектроцентралі, є видом теплових електростанцій, які виробляють як електричну, так і теплову енергію на одній і тій же станції. Це комбіноване вироблення електричної та теплової енергії на ТЕЦ дозволяє значно підвищити ефективність використання палива у порівнянні з виробництвом електроенергії на конденсаційних електростанціях та тепла у котельних установках.

Основна відмінність між ТЕЦ та конвенційними електростанціями полягає у тому, що ТЕЦ частину тепла, яке виробляється у котлі, використовує для опалення та нагріву води для системи опалення та гарячого водопостачання.

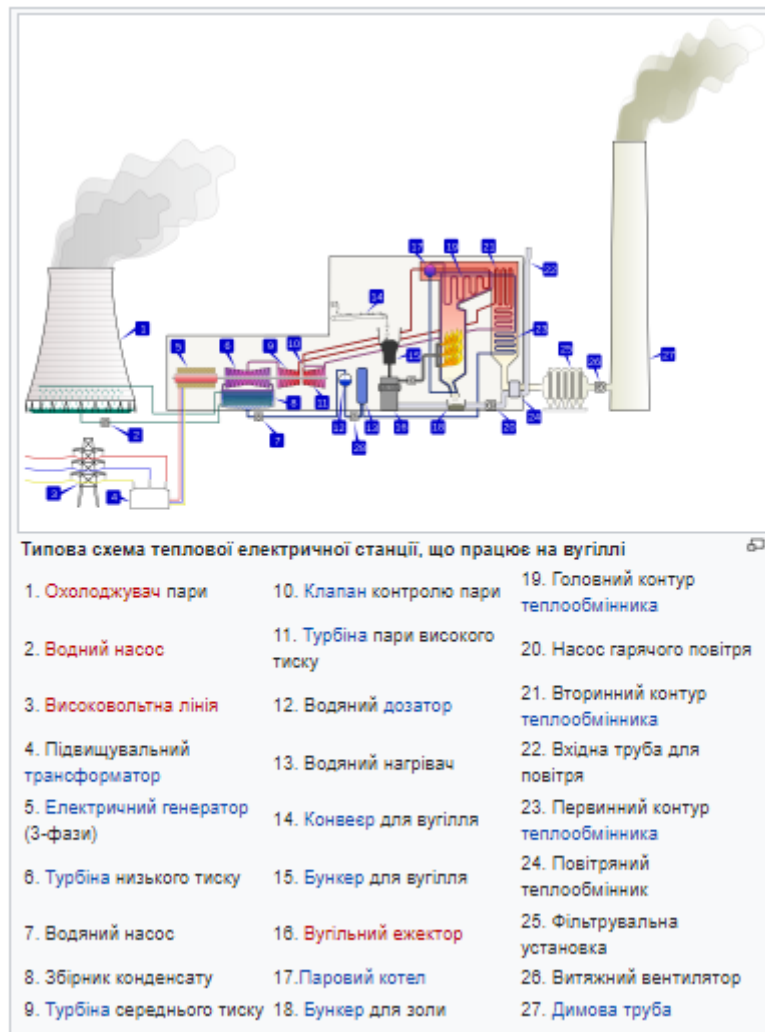


Рис. 1.2. Типова схема теплової електричної станції, що працює на вугіллі

3. Ядерна енергетика

Ядерна енергетика використовує ядерну енергію для виробництва електроенергії та тепла. Головними установками у цій галузі є атомні електростанції (АЕС), які використовують ядерну реакцію для генерації тепла. Процес виробництва електроенергії на АЕС подібний до теплових електростанцій, але тепло, виділене в результаті ядерної реакції, використовується для генерації пари, яка подається до парової турбіни (рис. 1.3.).

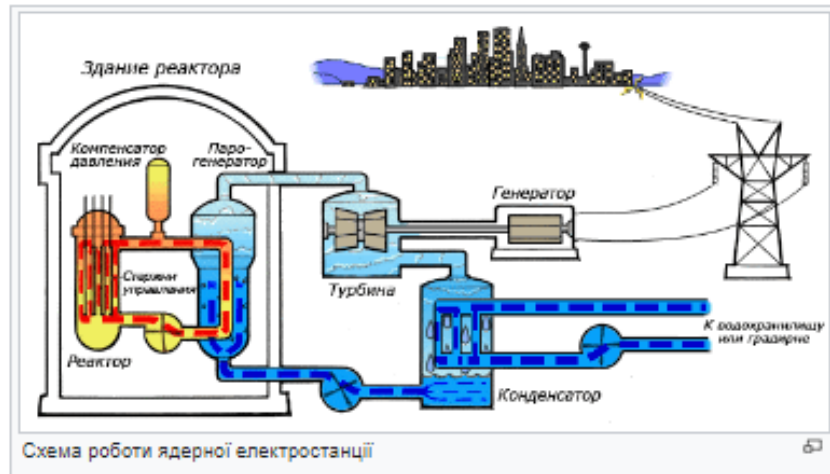


Рис.1.3. Схема роботи ядерної електростанції

4. Альтернативні джерела.

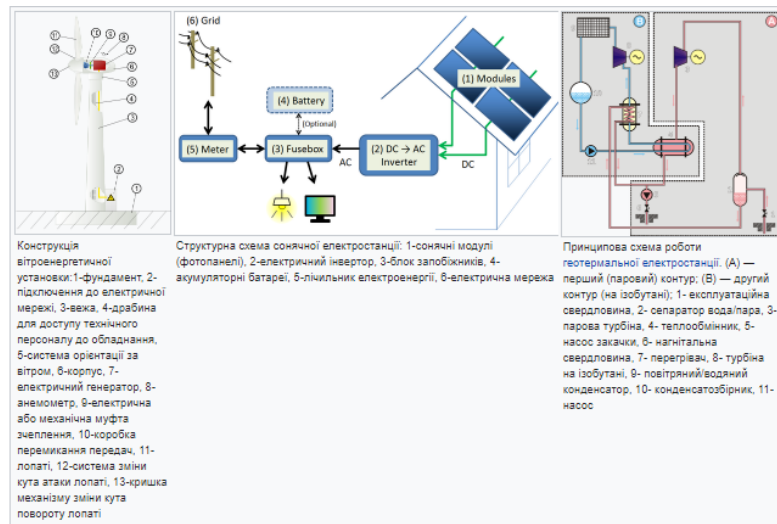


Рис. 1.4. Структурні схеми

Альтернативні джерела енергії включають у себе методи генерації електроенергії, які, хоча і мають ряд переваг порівняно з традиційними джерелами енергії, такими як вугілля та нафта, проте з різних причин ще не здобули широкого поширення (рис. 1.4).

Серед основних типів альтернативної енергетики варто відзначити:

Вітроенергетика - використання кінетичної енергії вітру для виробництва електроенергії.

Сонячна енергетика - отримання електричної енергії зі сонячних променів.

Геотермальна енергетика - використання тепла, що виділяється з глибини Землі, для виробництва електроенергії.

Воднева енергетика - використання водню як енергетичного палива.

Хоча ці методи мають свої переваги, у тому числі високий екологічний статус та необмеженість ресурсів, вони також мають свої обмеження. Наприклад, вітро- та сонячні електростанції потребують акумулювальних систем для компенсації варіацій у виробництві енергії. Геотермальні станції рентабельно будувати лише у регіонах з високою геотермальною активністю. Наразі, воднева енергетика, хоча й обіцяюча, стикається з проблемами виробництва та транспортування водню.

Крім того, важливо відзначити такі альтернативні форми гідроенергетики як припливна та хвильова енергетика, які використовують кінетичну енергію припливів та хвиль для генерації електроенергії. Однак, їх поширенню заважає необхідність специфічних умов для ефективної роботи, таких як наявність сильних і сталих припливів або хвиль.

ЛЕКЦІЯ №2 «СОНЯЧНІ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ»

1. СЕУ

Сонячну енергію можна перетворити на електричну за допомогою двох основних методів: термодинамічного і фотоелектричного. У термодинамічному методі електричну енергію можна отримати, використовуючи сонячну енергію для заміни теплоти, яка виникає від згоряння палива, шляхом концентрації сонячного випромінювання. Принципова схема отримання електричної енергії у сонячних теплоелектростанціях наведена на рисунку 2.1.



Рис.2.1. Принципова схема отримання електричної енергії

Існують три типи сонячних теплоелектростанцій:

- баштового типу з центральним приймачем паро-генератором, де сонячне випромінювання концентрується на поверхні приймача за допомогою плоских дзеркал-геліостатів;
- параболічного (лоткового) типу, де в фокусі параболі-циліндричних концентраторів розміщені вакуумні приймачі-труби з теплоносієм;
- тарілкового типу.

Станції баштового типу мають п'ять основних елементів: оптичну систему, автоматичну систему управління дзеркалами і станцією в цілому, парогенератор, башту та систему перетворення енергії, яка включає теплообмінники, акумулятори енергії і турбогенератори. Принципова схема сонячної електростанції баштового типу показана на рисунку 2.2.

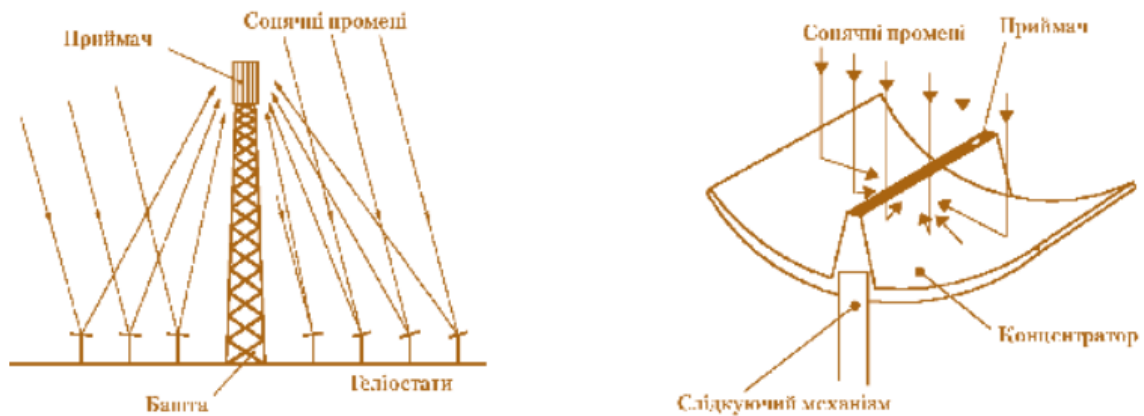


Рис. 2.2. Принципова схема сонячної електростанції баштового типу

У такій електростанції, яка використовує пряме сонячне випромінювання, концентруючі геліостати повинні мати систему слідування за Сонцем, і кожен з них орієнтується в просторі індивідуально. Температура, яку можна досягти на вершині башти за допомогою дзеркальних концентраторів, коливається від 300 до 1500 градусів Цельсія. В одному модулі можна отримати потужність, яка не перевищує 200 МВт, через знижену ефективність передачі енергії від найвіддаленіших концентраторів до вершини башти.

Світовий досвід експлуатації баштових електростанцій підтвердив їхню технічну можливість та працездатність. Основним недоліком таких установок є значна потреба в земельній площі. Наприклад, для розміщення баштової електростанції потужністю 100 МВт необхідна площа 200 гектарів.

У сонячних електростанціях параболічного типу використовуються параболічні дзеркала (лотки), які концентрують сонячну енергію на приймальних трубках. Ці трубки розташовані в фокусі конструкції і містять рідинний теплоносій. Ця рідина нагрівається до приблизно 400 градусів Цельсія і проходить через ряд теплообмінників, що призводить до утворення перегрітої пари. Ця пара потім приводить у рух звичайний турбогенератор для вироблення електричної енергії.

Станції параболічного типу стають все більш популярними завдяки простій системі слідування за Сонцем і меншій витраті металу. Питома вартість таких станцій майже рівна питомій вартості АЕС.

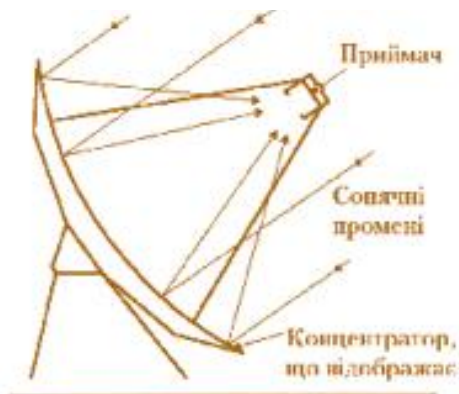


Рис. 2.3. - Схема сонячної установки тарілкового типу

У сонячних електростанціях тарілкового типу (рисунок 2.3) використовуються параболічні тарілкові дзеркала, схожі за формою на супутникові тарілки, що концентрують сонячну енергію на приймачі, розташованому в фокусі кожної тарілки. Рідина в цьому приймачі нагрівається до 1000 градусів Цельсія, а її енергія використовується для вироблення електричної енергії у генераторі. Установки мають систему слідування за Сонцем. Завдяки ефекту аберації при відхиленні від ідеальної форми та інших конструктивних факторів максимальний діаметр тарілок не перевищує 20 метрів при потужності до 60–75 кВт.

Питома вартість сонячних електростанцій тарілкового типу нижча, ніж у баштових і параболічних електростанцій. Сонячні електростанції найбільш ефективні в районах з високим рівнем сонячної радіації і малою хмарністю, де їх коефіцієнт корисної дії може сягати 20%, а потужність досягає 100 МВт.

Сонячна фотоенергетика використовує пряме перетворення сонячної радіації на електричну енергію. Принцип роботи фотоелектричного перетворювача базується на внутрішньому фотоeffectі в напівпровідниках та

ефекті розділення фотогенерованих носіїв заряду електронно-дірковим переходом або потенційним бар'єром типу метал–діелектрик–напівпровідник.

Фотоефект відбувається, коли фотон (світловий промінь) падає на елемент з двох матеріалів з різним типом електричної провідності (дірковим або електронним). Потрапивши в такий матеріал, фотон вибиває електрон з його середовища, утворюючи вільний негативний заряд і «дірку». Це порушує рівновагу так званого р-n-переходу і призводить до виникнення електричного струму в колі.

Чутливість фотоелемента залежить від довжини хвилі падаючого світла і прозорості верхнього шару елемента. В ясну погоду кремнієві елементи генерують електричний струм приблизно силою 25 мА при напрузі 0,5 В на 1 см² площі елемента, що становить 12–13 мВт/см². Теоретична ефективність кремнієвих елементів становить близько 28%, а практична від 14 до 20%.

При послідовно-паралельних з'єднаннях сонячні елементи формують сонячну (фотоелектричну) батарею. Серійно випускаємі промислові сонячні батареї мають потужність у діапазоні від 50 до 200 Вт. На сонячних фотоелектричних станціях сонячні батареї використовуються для створення фотоелектричних генераторів.

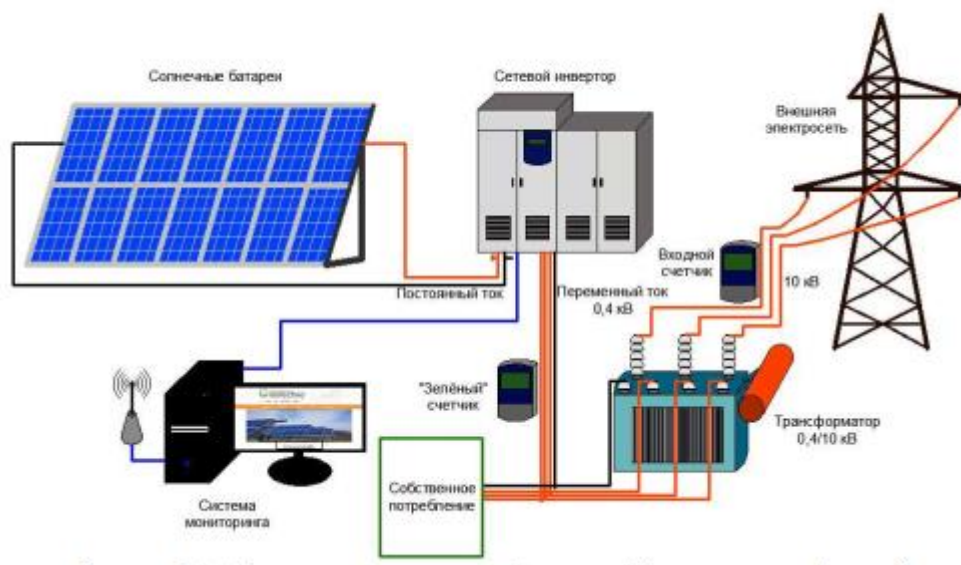


Рис. 2.4. Схеми типової сонячної фотоелектричної станції

На структурній схемі типової сонячної фотоелектричної станції, зображеній на рисунку 2.4, можна побачити наступні елементи:

Сонячні батареї, які перетворюють сонячне випромінювання на постійний струм.

Мережеві інвертори, які забезпечують перетворення постійного струму, що надходить від сонячних батарей, у змінний струм з промисловою частотою.

Система моніторингу та управління, яка контролює параметри роботи та справність всіх компонентів фотоелектричної системи.

Лічильники, які ведуть моніторинг продуктивності станції та облік виробленої електроенергії.

Несучі ферми, які служать для монтажу сонячних панелей на землі, фасадах будівель, дахах тощо.

Провідні лінії електропередач, що з'єднують фотоелектричну систему з загальною мережею.

Власні одержувачі електроенергії, які використовують вироблену станцією електроенергію для побутових або промислових потреб.

Недоліком плоских фотоелементів є їхня висока вартість (до 1 долара США за кВт) та значні площі, потрібні для розміщення фотоелектричних станцій. Одним із способів удосконалення фотоенергетики є створення концентруючих фотоелементів, які сприймають тільки пряме сонячне випромінювання. На сьогоднішній день для створення таких елементів використовується кремній, наприклад, в Австралії розроблені елементи зі ступенем концентрації $k = 11$ і коефіцієнтом корисної дії 20%.

Для підвищення результативності перетворення сонячної енергії застосовують матеріал арсеніду галію, який має менші фотоелектричні втрати при високих температурах у порівнянні з кремнієм.

На основі арсеніду галію розроблено дво- і трикаскадні елементи з високою ефективністю роботи при високому ступені концентрації, наприклад, 1000 та більше. У лабораторних умовах вже виготовлено зразки сонячних

елементів площею 0,5 см² з коефіцієнтом концентрації 500 та ефективністю перетворення енергії на рівні 40%.

Експерти в галузі фотоелектричного перетворення сонячного випромінювання передбачають, що найбільш перспективними стануть концентратори з коефіцієнтом концентрації 1000, які працюватимуть з багатокаскадними арсенід-галієвими сонячними елементами нового покоління.

Однією зі значних проблем існуючих сонячних енергетичних установок є нерівномірність їх роботи, обумовлена коливанням потоку сонячного випромінювання, що досягає поверхні Землі, через погодні умови, зміни у порі року та часі доби.

Використання модульних фотоелектричних перетворювачів дозволяє створювати установки будь-якої потужності, що робить їх дуже перспективними.

Необхідно відзначити, що енергетична стратегія України до 2030 року передбачає зниження імпорту первинних енергоресурсів у паливно-енергетичному балансі країни на понад 40%. Це планується досягти шляхом енергозбереження, зменшення споживання природного газу на більше ніж 30% і активного використання відновлюваних джерел енергії.

ЛЕКЦІЯ №3 «ВІТРОГЕНЕРУЮЧІ УСТАНОВКИ»

Вітрогенерація зазвичай розглядається як енергетична технологія з мінімальним впливом на навколишнє середовище, хоча існують короткострокові та довгострокові впливи на довкілля, які не повністю враховуються у нормативах та стандартах. Особливий акцент робиться на потенційному впливі вітрогенерації на зміни клімату через вивільнення вуглецю з ґрунту у формі CO₂, яке впливає на глобальні зміни клімату. Проектування більшості вітрогенераторів відбувається у степовій зоні, де

специфічні умови сприяють акумуляції вуглецю в ґрунті у формі гумусу, що може впливати на клімат при його руйнуванні та вивільненні вуглецю.

Вітрогенератор, або вітроелектрична установка, є пристроєм, призначеним для перетворення енергії вітру на електричну енергію. Вітряна електростанція, в свою чергу, представляє собою систему, в якій кілька вітрогенераторів об'єднуються в єдину мережу за допомогою спеціального обладнання.

У спрощеному вигляді робота вітрогенератора відбувається так: сила вітру приводить в рух лопаті, які через спеціальний привід змушують ротор обертатися. Завдяки наявності обмотки статора, механічна енергія перетворюється на електричний струм. Аеродинамічні особливості гвинтів сприяють швидкому обертанню турбіни генератора. Отримана енергія зберігається в батареї. Система гальмування забезпечує безпеку у разі сильного вітру, автоматично уповільнюючи або повністю зупиняючи обертання ротора. Усі компоненти вітрогенератора спроектовані для максимально ефективного використання енергії вітру.

1. Виклад основного матеріалу.

Генератор перетворює механічну енергію в електричну. Потужність вітряка вимірюється «омітаємою» площею турбіни. Чим більший розмір лопастей, тим більшу потужність він створює (рис. 3.1).

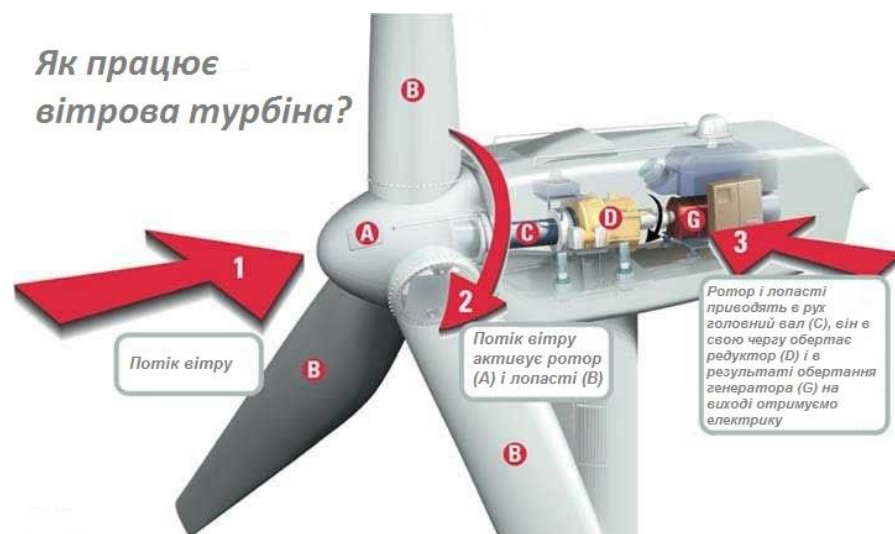


Рис. 3.1. Конструктивна схема вітрогенератора.

Потужність вітрогенератора розраховується виходячи з кубічної залежності швидкості вітру. Якщо розмір турбіни невеликий, то потрібен дуже сильний потік вітру, щоб потужність була високою, і навпаки – велика турбіна може видавати ту ж потужність при слабшому вітрі.

Але для того, щоб робота вітрогенератора була збалансованою і видавала потрібну кількість енергії потрібно на етапі проектування правильно розрахувати всі необхідні параметри вітряної електростанції (рис. 3.2).

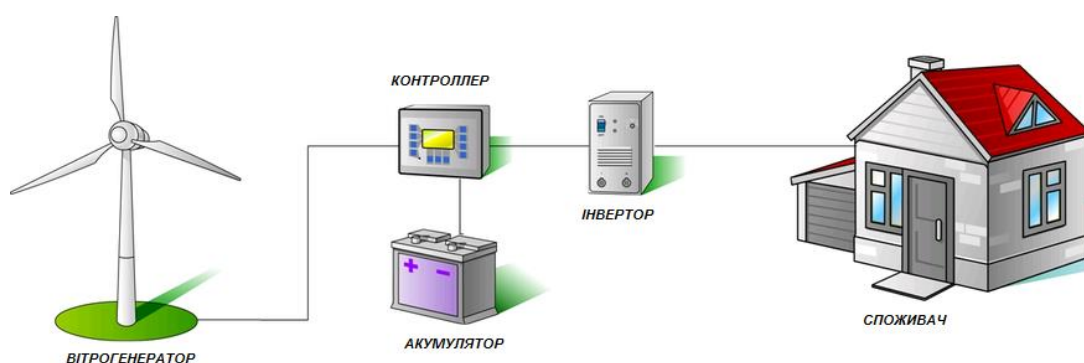


Рис. 3.2. Конструкція вітряної електростанції

- вітрогенераторної установки;
- контролера заряду;
- акумуляторної батареї;
- інвертора.

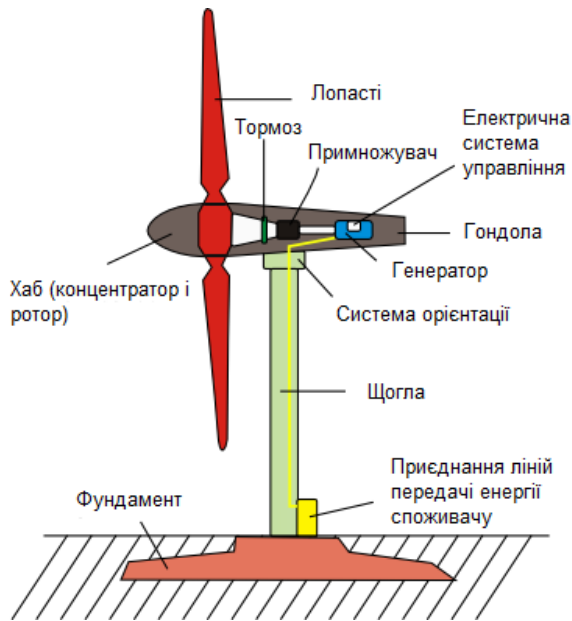


Рис. 3.3. Конструкція вітряка

Конструкція вітряка (рис.3.3):

- Щогла (може бути трубчастого типу або «ферма»);
- Турбіна – це ротор, призначений якого перетворити енергію прямолінійного руху повітряного потоку;
- Система управління турбіною;
- Генератор перетворює енергію вітру в електричну;
- Ланка передачі енергії (мультиплікатор або сам вал);
- Випрямляч (оскільки часто у вітряках використовуються генератори змінного струму для того, щоб правильно зарядити акумулятор або відправити енергію в мережу (побутовий сегмент));
- Система азимутального приводу або хвіст (іноді встановлюються машини, у яких прикріплюється до вітряка «хвіст», він орієнтується за вітром самостійно).

2. Типи вітрогенераторів

По потужності і області застосування вітрогенератори бувають:

- промислові (потужність від 500 КВт);
- побутові (потужність 0-10 КВт).

Пристрої з потужністю від 10 до 500 КВт використовуються вкрай рідко.

За конструкцією побутові типи вітряків відрізняються будовою ротора (турбіни) (рис. 3.4):

1. З горизонтальною віссю. Відрізняються системою управління турбіни (ротора), вона може бути:

- аеромеханічною (на лопатях встановлені спеціальні «закрилишки», які міняють кут напряду вітру: чим більша швидкість вітру, тим більший кут атаки лопатей і навпаки). Змінюючи кут атаки, ми можемо керувати турбіною як на малих, так і на великих швидкостях для ефективної та правильної роботи пристрою.

- з азимутальним приводом (електроніка фіксує швидкість і напрям вітру, повертає або відвертає турбіну від вітру, якщо швидкість вітру перевищує номінальну).

2. З вертикальною віссю – це малоефективні пристрої, які не рекомендовано використовувати через низку недоліків. Вони відрізняються типом турбін:

- ротор Савоніуса (Savonius). Їх недоліком є коефіцієнт випередження. Якщо швидкість вітру 10 м/с, то закінцівка турбіни буде обертатися зі швидкістю 100 м/с, відповідно, коефіцієнт випередження – 10. Фактично вітряк не може самостійно стартувати, його потрібно розкручувати і тільки після цього він починає працювати. Якщо цього не робити, то він почне виробляти енергію тільки при швидкості вітру 10 м/с і більше.

- ротор Дар'є (Darrieus). Застосовуються хіба що як анемоскопи, так як малоефективні.

Зараз широке застосування отримали вітрогенератори з горизонтальною віссю обертання (крильчасті), завдяки тому, що у них коефіцієнт використання енергії вітрового потоку (КВЕВ) легко досягає 30% і більше, а у вітрогенераторів з вертикальною віссю обертання КВЕВ становить близько 20%.

Типи вітроелектричних установок

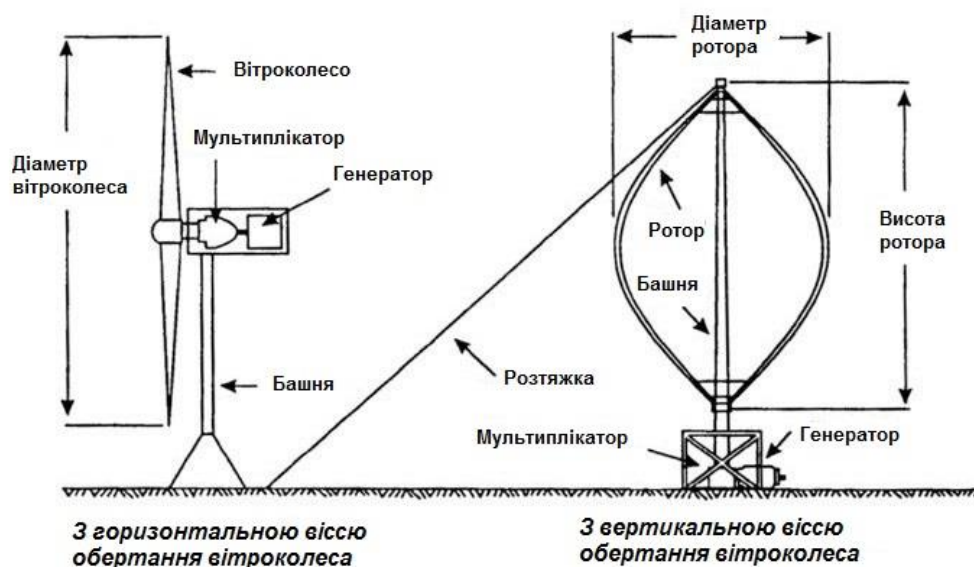


Рис. 3.4. Типи вітроелектричних установок

Система побутового енергопостачання з використанням вітрогенератора схожа на систему з сонячними модулями, в одній системі можуть використовуватися як вітрогенератори, так і сонячні модулі (рис. 3.5).

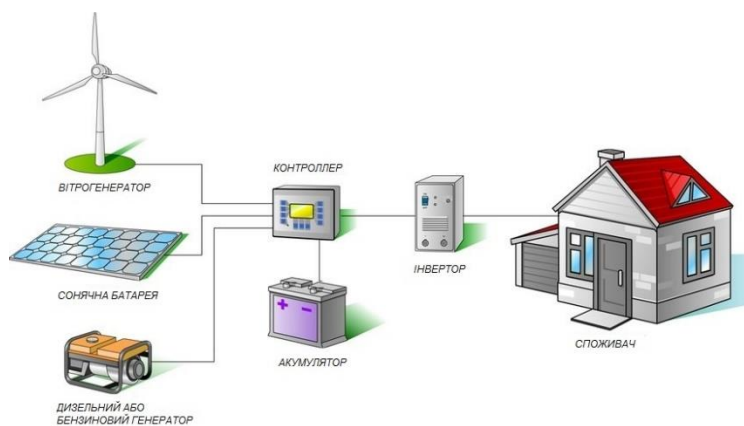


Рис. 3.5. Система побутового енергопостачання

Від висоти щогли і діаметра ротора залежить кількість виробленої енергії ось так: на кожні 10 метрів підйому вітряка додається 1 м/с швидкості вітру. Чим вища щогла, тим більше ймовірність того, що він буде працювати

максимально ефективно. І та ж ситуація з ротором: чим більший діаметр, тим більше вироблення енергії.

Технологічний потенціал вітрової енергетики України становить 15 млн. т. у.п. (умовного палива), або 23,8% від усіх джерел відновлювальної енергетики. Прогнозується, що використання вітрової енергії в 2020 році буде еквівалентно 6,5 млн. т. у.п., а в 2030 році – 10 млн. т. у.п. [1]. Для розрахунку вітроенергетичної установки приймаємо значення середньорічної швидкості вітру $U_{с.р.} = 6,5$ м/с. [2], задана розрахункова швидкість вітру U_0 (прийнята на 50% більше від середньорічної). Визначимо розрахункову швидкість вітру.

$$U_0 = 1,5 \cdot U_{с.р.}$$

Визначаємо потужність вітроенергетичної установки

$$P = C_p \cdot \pi \cdot D^2 \cdot \rho \cdot \frac{U_0^3}{8},$$

де C_p – коефіцієнт потужності, максимальне значення;

π – математична стала;

D – діаметр вітроколеса, м;

ρ – густина повітря, кг/м³ ;

Оптимальна частота обертання вітроколеса дорівнює

$$n_0 = \frac{\omega}{2 \cdot \pi},$$

Період обертання вітроколеса визначимо за наступною формулою

$$T = \frac{2 \cdot \pi}{\omega_0},$$

Лінійна швидкість кінця лопаті визначається за формулою

$$U_{л} = R \cdot \omega_0,$$

Враховуючи розрахунки, проведемо аналіз наявних вітроенергетичних установок промислового виробництва. Для ефективного забезпечення електроенергією великого будинку та його території або кількох невеликих

будівель вистачить однієї вітроенергетичної установки. Використання вітроенергетичної установки потужністю 10 кВт може бути застосовано для ферм, невеликих готелів, ресторанів, будівельних майданчиків, а також середніх і великих магазинів.

В Україні великою популярністю користується вітроенергетична установка потужністю 10 кВт, завдяки своїй універсальності та оптимальному співвідношенню ціни і потужності. Протягом усього року така вітроенергетична установка генерує електроенергію, яка акумулюється та використовується за необхідністю. З цієї причини для подальшого розгляду ми обираємо вітроенергетичну установку потужністю 10 кВт промислового типу марки EuroWind10, технічні характеристики якої представлені в .

ЛЕКЦІЯ №4 «ГЕНЕРАЦІЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЄЮ»

У 2021 році виробництво електроенергії в Україні становило 156,576 мільярда кВт-год, що на 5,2% більше, ніж у 2020 році. Про це йдеться у даних Міністерства енергетики. Основну частку в загальному виробітку у 2021 році становили АЕС – 55,1%, ТЕС та ТЕЦ – 29,3%, ГЕС та ГАЕС – 6,7%.

Виробництво електроенергії на теплоелектростанціях становило 37,225 млрд кВт-год, на теплоелектроцентралях та когенераційних установках – 8,6 млрд кВт-год.

Гідроелектростанції збільшили виробництво електроенергії на 37,7% – до 10,44 млрд кВт-год, атомні електростанції на 13,1% – до 86,2 млрд кВт-годин.

Виробництво електроенергії альтернативними джерелами у 2021 році становило 12,52 млрд кВт-год., що на 15,3% більше, ніж торік.

Споживання електроенергії збільшилося на 5,7% – до 154,82 млрд кВт-год. Без урахування технологічних втрат споживання електроенергії за минулий рік зросло на 6,4%.

Експорт електроенергії становив 34,96 млрд кВт-год., що на 26,5% менше ніж за 12 місяців 2020 року.

Промисловість країни без урахування технологічних втрат наростила споживання електроенергії на 6% – до 52,27 млрд кВт-год.

Населення країни минулого року спожило 38,66 млрд кВт-год (+5,8%), комунально-побутові споживачі – 15,02 млрд кВт-год (+5,8%), інші непромислові споживачі – 8,6 млрд кВт-год (+16,5%).

Частка промисловості у загальному обсязі споживання електроенергії за підсумками 2021 року знизилася до з 41,8% до 41,7%, а частка населення – з 31% до 30,8%.

1. Загальні відомості.

Гідроенергетика — галузь відновлюваної енергетики, що вивчає використання потенціальної та кінетичної енергії води шляхом перетворення її в електричну. Таке перетворення відбувається на гідроелектростанціях.

Гідроенергетика забезпечує близько 20 % світового виробітку електроенергії. Більше електричної енергії виробляється тільки підприємствами теплоенергетики, які працюють на використанні викопного органічного палива. Згідно зі звітом міжнародної асоціації гідроенергетики ІНА на кінець 2014 року встановлена потужність ГЕС становила у світі 1036 ГВт, з них гідроакумулювальних електростанцій — 142,1 ГВт (13,7 %). У рейтингу виробників електричної енергії з гідроенергії Китай займає перше місце в світі — 279,4 ГВт (27 %), дещо відстають від лідера Бразилія — 89,3 ГВт (8,6 %), США — 79,3 ГВт (7,7 %), Канада — 77,8 ГВт (7,5 %), Росія — 49,1 ГВт (4,7 %). На кінець 2015 року загальна встановлена потужність гідроелектростанцій у світі становила 1211 ГВт, з них 145 ГВт припадає на гідроакумулювальні електростанції. Встановлена потужність гідроелектростанцій Китаю нині становить 320 ГВт. Гідроенергетика забезпечує Китаю 17 % виробництва електричної енергії. В таких країнах, як Бразилія, Канада, Нова Зеландія, Норвегія (28,72 ГВт), Австрія, Венесуела

(15,4 ГВт) гідроенергетика забезпечує більше половини виробництва всієї електроенергії. Водночас Норвегія та Парагвай (8,81 ГВт) задовольняють майже 100 % своїх потреб в електричній енергії за рахунок гідроресурсів, при цьому близько 90 % електроенергії Парагвай експортує в Бразилію та Аргентину (власне виробництво — 9,08 ГВт). В Європі гідроенергетичний потенціал великих річок значною мірою використаний. Установлена потужність ГЕС у Франції становить 18,38 ГВт, у Швеції — 16,32 ГВт, в Італії — 14,33 ГВт.

Попри велику увагу до дешевої гідроенергії, невикористаний технічно досяжний і економічно доцільний потенціал гідроенергії становить у світі близько 2200 ГВт. Певні перспективи зростання встановленої потужності припадає на малі ГЕС, які відрізняються величиною напору води. ГЕС високого напору будуються у гірській місцевості, для виробітку певної кількості електроенергії їм необхідний менший потік, вони коштують дешевше. ГЕС малого напору є типовими для рівнини, їм не потрібен водогінний канал, проте, наявність відповідного напору та швидкості потоку води — необхідні умови для виробництва електроенергії. Згідно зі спільним звітом International Center on Small Hydro Power та UNIDO за 2013 рік, загальна встановлена потужність малих гідроелектростанцій у світі становить близько 75 ГВт, а технічний потенціал малих ГЕС становить приблизно 173 ГВт. Близько 65 ГВт встановленої потужності малих ГЕС припадає на Китай, малі ГЕС Китаю виробляють 27 % всієї гідроенергії, всього ж Китай має близько 45 000 ГЕС.

Встановлена потужність ГЕС та ГАЕС (рис. 4.1) в об'єднаній енергетичній системі України становить 5360 МВт, у тому числі, Дністровських ГЕС — 700 МВт та ГАЕС — 650 МВт, додатково потужність малих ГЕС — 100 МВт. У балансі потужності енергосистеми України частка гідроелектростанцій не перевищує 9,1 %, оптимальна ж частка в гідроенергетичних потужностях становить 15 %, це зумовлює дефіцит як маневрових, так і регулюючих потужностей. Для створення сприятливих умов

для інтеграції об'єднаної енергетичної системи України з європейською енергосистемою та збільшення експорту електроенергії прийнято такі напрямки розвитку гідроенергетики України: завершення будівництва Дністровської, Канівської та Ташлицької ГАЕС (сьогодні встановлена потужність Ташлицької ГАЕС становить 300 МВт у генераторному режимі); продовження реконструкції ГЕС Дніпровського каскаду та Дністровської ГЕС; спорудження ГЕС на річках Тисі і Дністрі та їх притоках; відбудова існуючих та спорудження нових ГЕС на малих річках і водостоках.

На території України нараховується 63 тисячі малих річок та водотоків загальною довжиною ~ 135 тисяч кілометрів. У 1950-х роках в Україні працювало більше 950 малих ГЕС загальною потужністю 30 МВт. На даний час експлуатується всього 60.

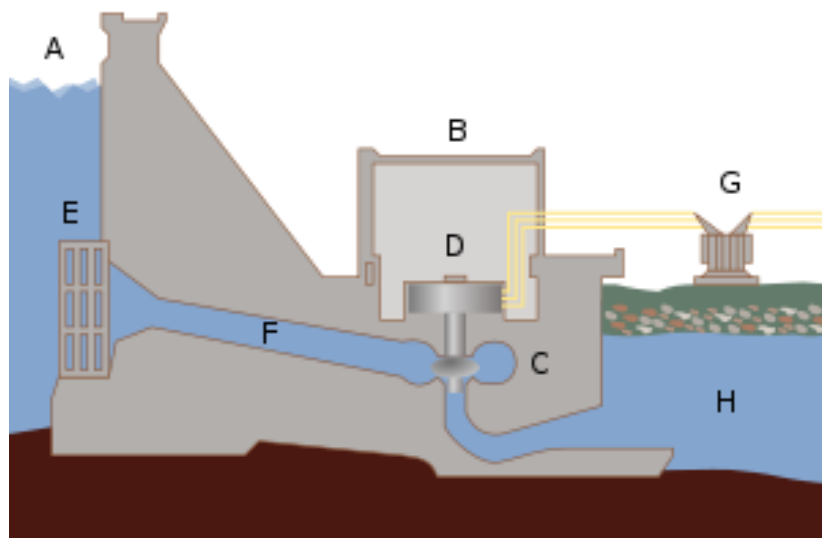


Рис.4.1. Дамба гідроелектростанції А — водосховище, В — електростанція, С — турбіна, D — генератор, E — водозабірна труба, F — напірний трубопровід, G — міжміські лінії електропередач, H — річка.

2. Генеруючі агрегати і станції.

Гідротурбіни перетворюють енергію водного потоку в механічну енергію обертання вала, що призводить до обертання ротора гідрогенератора,

де механічна енергія перетворюється на електричну. Вибір типу гідротурбіни залежить від умов їх експлуатації, таких як напір, енергетичні та кавітаційні показники, а також забезпечення високих значень коефіцієнта корисної дії в заданому діапазоні напорів і навантажень.

Різноманітність природних умов призводить до того, що напори на гідроелектростанціях (ГЕС) змінюються від декількох метрів до 1000 м і більше, а потужність гідроагрегатів може досягати 700 МВт і більше.

Гідротурбіни поділяються на реактивні й активні за принципом дії. Основним робочим органом турбіни є робоче колесо, в якому відбувається конвертація енергії. В реактивних турбінах вода подається до робочого колеса через напрямний апарат, у той час як в активних - через сопла. У реактивних турбінах тиск води перед робочим колесом перевищує атмосферний, а за ним може бути як більше, так і менше атмосферного тиску. У активних турбінах тиск води перед і після робочого колеса рівний атмосферному.

Основним параметром турбіни є діаметр робочого колеса D_1 , який визначає параметри проточного тракту. Існує велика кількість різних видів турбін, але у практиці гідроенергетичного будівництва найчастіше використовуються чотири види: осьові, діагональні, радіально-осьові, які відносяться до реактивних, і ковшові активні турбіни.

Залежно від напору та інших умов, області застосування різних видів турбін показані на рисунку 4.2. Іноді області застосування різних видів турбін можуть перетинатися. Наприклад, при напорах 50–70 м можуть використовуватися як осьові, так і діагональні, а також радіально-осьові турбіни.

Оптимальний тип турбіни вибирається на основі техніко-економічних порівнянь різних варіантів.

Горизонтальні капсульні осьові турбіни використовуються переважно при напорах до 25 м; вертикальні турбіни Каплана використовуються при напорах до 60 м; пропелерні турбіни також при напорах до 60 м.

Робоче колесо осьової турбіни складається з лопатей, закріплених у корпусі з обтічником, і з'єднане з валом. Кількість лопатей зазвичай становить від 4 до 8 і збільшується зі зростанням напору. Робоче колесо разом з валом утворюють обертову частину турбіни.

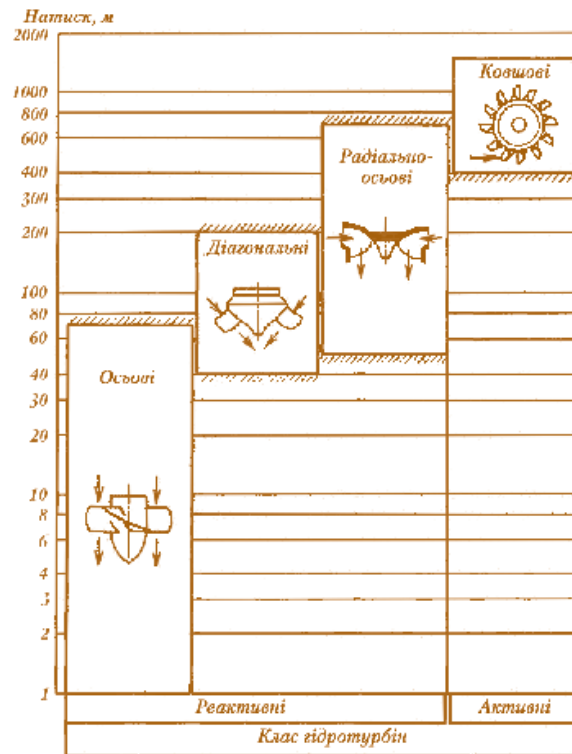


Рис. 4.2. Области застосування турбін різних видів.

Турбінна спіральна камера переважно виготовляється з бетону й має трапецієподібний поперечний переріз. Металеві турбінні камери круглого поперечного перерізу застосовуються тільки при високих напорах, зазвичай понад 50 м.

Колони статора турбіни служать для передачі навантаження від верхнього опорного пояса статора до нижнього. Щоб зменшити гідравлічні втрати, колони статора мають стійку обтічну форму.

Напрямний апарат складається з 20–32 напрямних лопаток, кількість яких залежить від діаметра розташування лопаток (D_0), що формують кільцеву решітку лопатей. Вони створюють закручення потоку перед його входом на

лопаті робочого колеса й регулюють потужність турбіни. Кожна лопатка може повертатися на осі для зміни відкриття, що змінює витрату і потужність гідротурбіни.

Вода відводиться від робочого колеса за допомогою відсмоктувальної труби, що являє собою розширену трубу, яка знижує швидкість потоку до виходу в нижню б'єф, зменшуючи кінетичну енергію потоку при виході з турбіни й підвищуючи коефіцієнт корисної дії. Відсмоктувальна труба великих турбін завжди виготовляється з бетону.

Поперечний розріз будівлі ГЕС з гідроагрегатом з осьовою турбіною показаний на малюнку 3.

Капсульні гідротурбіни з генератором у капсулі, утворюючи разом капсульний гідроагрегат, застосовуються при низьких напорах і великих витратах води, досягають потужності 70 МВт і вище при діаметрі робочих коліс 8 м і більше.

Ці турбіни мають підвищені енергетичні показники (пропускну здатність і коефіцієнт корисної дії) завдяки прямому тракту і характеризуються зменшеними габаритами агрегатного блоку ГЕС, що дозволяє знизити вартість будівництва. Максимальний коефіцієнт корисної дії таких турбін досягає 94–95%.

При використанні капсульних агрегатів потік має мінімальні повороти по довжині проточного тракту й прямолінійний рух без повороту у відсмоктувальній трубі. Це призводить до зменшення гідравлічних втрат і збільшення коефіцієнта корисної дії турбіни, особливо при великих витратах води. Такі турбіни розвивають на 20–35% більшу потужність, ніж вертикальні турбіни того ж розміру.

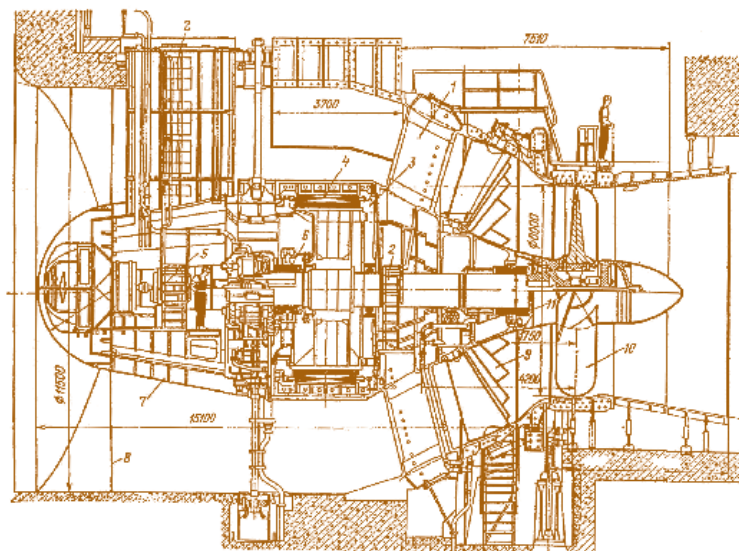


Рис. 4.3. Капсульний агрегат Київської ГЕС: 1 – колони статора; 2 – шахта; 3 і 4 – ротор і статор генератора; 5 – масловодоприймач; 6 – під'ятник; 7 – капсула; 8 – бичок; 9 – напрямний апарат; 10 – робоче колесо турбіни; 11 – турбінний підшипник

У капсульному агрегаті (зображено на рис. 4.3), металева герметична капсула, де розміщується генератор, зазвичай розташовується з боку верхнього б'єфа, що забезпечує оптимальні гідравлічні умови в проточному тракті. Капсула опирається на залізобетонний бичок та порожні статорні колони, через які проходять масло-і шинопроводи. Регулююче кільце кінцевого напрямного апарата та сервомотори розташовані ззовні капсули. Доступ до капсули з машинного залу передбачений через вертикальну герметизовану металеву шахту.

Україна виробляє горизонтальні капсульні гідротурбіни на ВАТ "Турбоатом". Такі гідротурбіни мають потужність 21 МВт при напорі 7,7 м на Київській ГЕС, 23 МВт при напорі 7,4 м на Канівській ГЕС та 38,7 МВт при напорі 16 м на Єникидській ГЕС в Азербайджані, а також на ГЕС Пурнарі II в Греції і на ГЕС Клостерфос в Норвегії.

Капсульні гідротурбіни, виготовлені на ВАТ "Силові машини – ЛМЗ" в Росії, встановлені на Саратовській ГЕС з потужністю 47,3 МВт та напором

10,6 м, на ГЕС Дженмеґ в Канаді з потужністю 29 МВт та напором 7,3 м, а також на ГЕС Джердап в Сербії з потужністю 29 МВт та напором 7,45 м.

Найбільші капсульні агрегати встановлені на ГЕС Tadami в Японії з потужністю 65,8 МВт та напором 20,7 м, на ГЕС Hangjiang в Китаї з потужністю 48,2 МВт та напором 27,3 м. У Бразилії, на річці Мадейра, будуються ГЕС Санто-Антоніо з встановленою потужністю 3,15 млн. кВт і ГЕС Джирау з встановленою потужністю 3,3 млн. кВт. Тут передбачається встановлення капсульних агрегатів з потужністю 73,5 і 76,5 МВт відповідно при напорі 13,9 і 15,1 м.

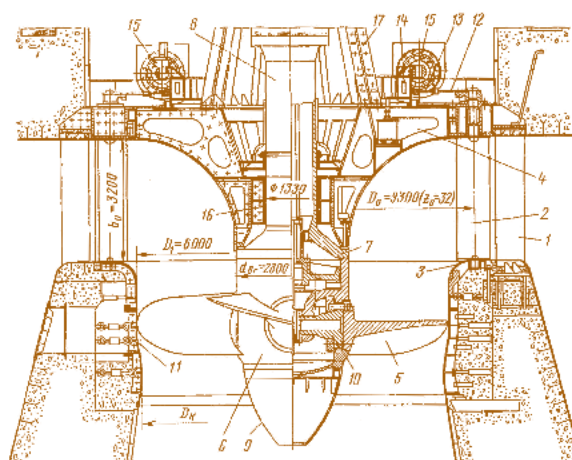


Рис. 4.4. Розріз по поворотно-лопатевій турбіні Кременчуцької ГЕС: 1 – колони статора; 2 – напрямні лопатки; 3 – нижнє кільце; 4 – кришка турбіни; 5 – лопаті робочого колеса; 6 – корпус робочого колеса; 7 – фланець вала; 8 – вал; 9 – обтічник робочого колеса; 10 – камера робочого колеса; 11 – висувний сегмент; 12 – важіль напрямної лопатки; 13 – серга; 14 – регулююче кільце; 15 – сервомотори; 16 – підшипник; 17 – опорна конструкція під'ятника генератора

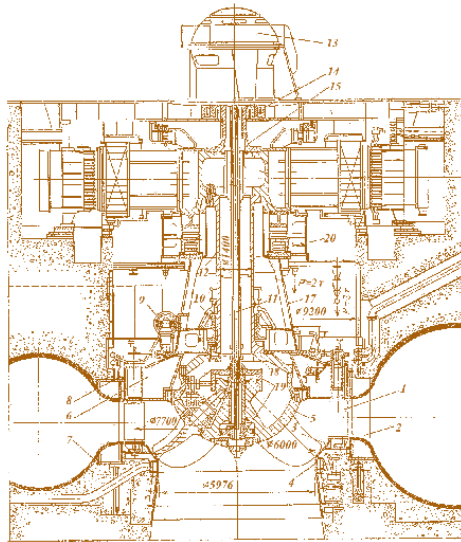


Рис. 4.5. Розріз по гідроагрегаті Зейської ГЕС із діагональною поворотлопатевою турбіною й зонтичним генератором: 1 – лопатки напрямного апарата; 2 – колони статора; 3 – сферична частина камери робочого колеса; 4 – нижній пояс камери робочого колеса; 5 – робоче колесо турбіни; 6 – кришка турбіни; 7 – спіральна камера; 8 – опорний фланець; 9 – сервомотор напрямного апарата; 10 – турбінний підшипник; 11 – мастилопроводи до сервомотора робочого колеса; 12 – вал; 13 – маслоприймач; 14 – генераторний підшипник; 15 – надставка вала; 16 – маточина ротора генератора; 17 – опорний конус; 18 – кришка робочого колеса; 19 – сервомотор робочого колеса; 20 – підп'ятник

Вертикальні гідротурбіни з поворотними лопатями (так звані турбіни Каплана) займають друге місце за використанням у світовій практиці, відстаючи лише від радіально-осьових гідротурбін. Ці турбіни володіють лопатями, які можуть обертатися, що дозволяє змінювати їх кут установки в залежності від умов роботи, таких як навантаження і напір, що дозволяє отримувати більш високі енергетичні показники.

Такі турбіни встановлені на Дніпровських ГЕС (Каховська, Дніпродзержинська, Кременчуцька), Волзьких ГЕС (Рибинська, Горьківська, Волзька, Саратовська) та інших.

Найпотужніші турбіни такого типу, виробництва ВАТ "Турбоатом", встановлені на ГЕС Сальто Гранде (Аргентина–Уругвай) — 138 МВт, Шамхорська ГЕС (Азербайджан) — 195 МВт, Шульбинська ГЕС (Казахстан) — 230 МВт, Дністровська ГЕС-1 (Україна) — 120 МВт,— 113 МВт, а також виробництва ВАТ "Силові машини – ЛМЗ", Джердап — 175 МВт (Сербія–Румунія), Саратовській ГЕС — 60 МВт при розрахунковому напорі 9,7 м.

Конструкція вертикальної гідротурбіни з поворотними лопатями зображена на рис. 4.4 на прикладі турбіни Кременчуцької ГЕС (діапазон напорів 9,6–16,9 м, потужність 58 МВт, діаметр робочого колеса $D_1=8,0$ м).

Пропелерні гідротурбіни, де лопаті жорстко закріплені, використовуються при незначних коливаннях напору на ГЕС. Ці турбіни, не маючи механізму повороту лопатей робочого колеса, мають менший діаметр втулки, що дозволяє збільшити витрату через турбіну й підвищити її потужність.

Діагональні гідротурбіни використовуються при високих напорах, щоб скористатися перевагами поворотних лопатей. Вони мають лопаті робочого колеса з нахилом до осі обертання (кут $45-60^\circ$), що дозволяє їм працювати в області більш високих напорів і конкурувати з радіально-осьовими турбінами завдяки ширшому регулюванню з урахуванням напору й витрати, що підвищує середньоексплуатаційний к.к.д.

Найбільші діагональні турбіни виробництва ВАТ "Силові машини – ЛМЗ" встановлені на Зейській ГЕС потужністю 220 МВт при напорах 74,5–97,3 м, діаметрі робочого колеса 6,0 м (рис. 4.5).

Радіально-осьові гідротурбіни (Френсіса) широко використовуються в гідроенергетиці, працюючи при напорах від 40 до 700 м (рис. 4.6).

У таких турбінах потік води входить у робоче колесо радіально, а виходить із нього осьова, що дозволяє їм називатися радіально-осьовими.

Робоче колесо радіально-осьової турбіни складається з 12–17 лопатей, які утворюють кругову решітку. Лопаті міцно закріплені в маточині й обіді,

що забезпечує необхідну міцність і твердість. Робоче колесо з'єднане із фланцем вала.

Спіральна камера зазвичай має металеву конструкцію з круглим поперечним перерізом для кращого сприйняття значного внутрішнього тиску води.

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

Турбіни виробництва ВАТ "Силові машини – ЛМЗ" встановлені на Красноярській ГЕС з потужністю гідроагрегата 500 МВт, максимальним напором 101 м, розрахунковим 93 м, $D_1=7,5$ м; на Саяно-Шушенській ГЕС з потужністю 640 МВт, максимальним напором 220 м, розрахунковим 194 м з робочим колесом ($D_1=7,7$ м) з 16 лопатями, а також на Бурейській ГЕС з потужністю 330 МВт, напором 120 м; на ГЕС Уїтес з потужністю 211 МВт, напором 118 м (Мексика); ГЕС Ялі з потужністю 188,5 МВт, напором 208 м (В'єтнам) та інші.

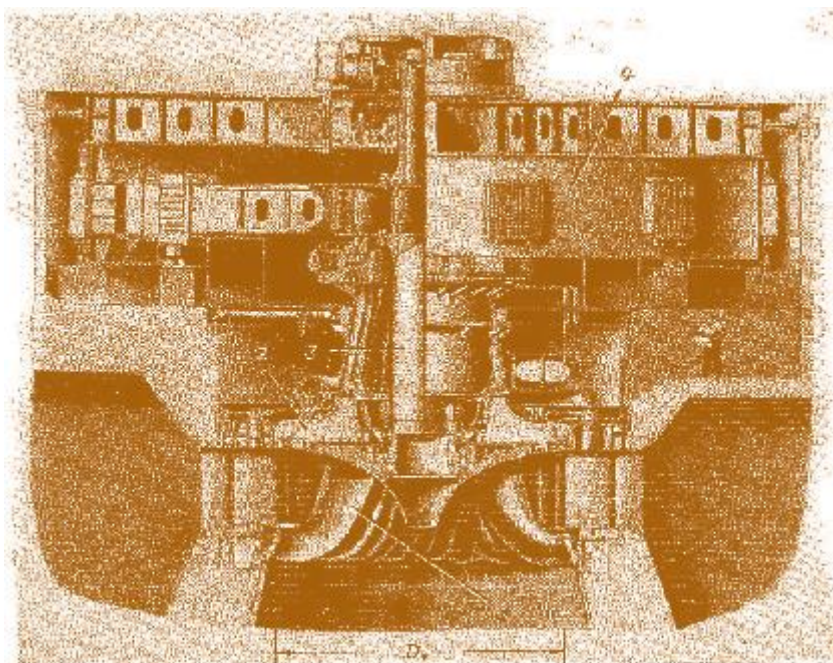


Рис. 4.6. Розріз по гідроагрегату з високонапірною радіально-осьовою турбіною: 1 – робоче колесо турбіни; 2 – кришка турбіни; 3 – вал; 4 – генератор

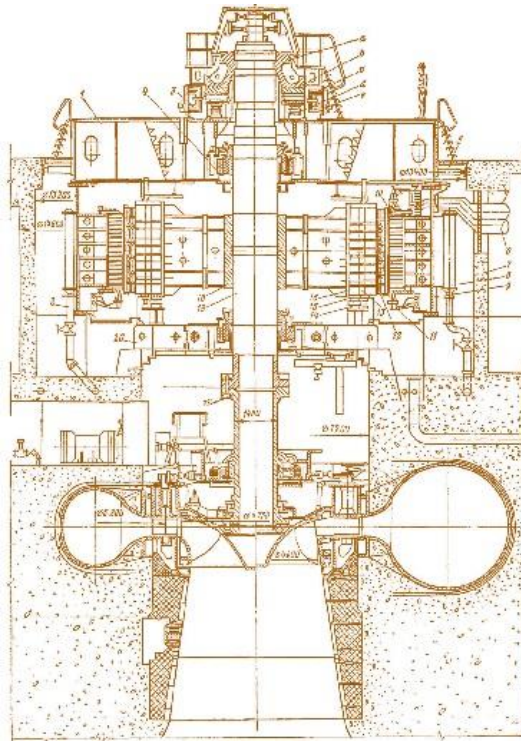


Рис. 4.7. Розріз по гідроагрегаті Нурекської ГЕС із радіальноосьовою турбіною й підвісним генератором: 1 – верхня хрестовина опорної конструкції ротора; 2 – охолоджувачі; 3 – під'ятник (упорний підшипник); 4 – радіальні підшипники; 5 – розпірні домкрати; 6 – шини; 7 – кожух; 8 – охолоджувачі; 9 – корпус статора; 10 – сердечник статора; 11 – обмотка змінного струму статора; 12 – полюси ротора; 13 – обід ротора; 14 – колодки гальм; 15 – гальмове кільце ротора; 16 – остов ротора; 17 – фланець вала; 18 – маточина ротора; 19 – вал ротора; 20 – нижня хрестовина опорної конструкції ротора

Значні гідротурбіни виготовлені ВАТ "Турбоатом" розташовані на різних ГЕС у різних країнах світу. Наприклад, на Нурекській ГЕС (рис. 4.6) у Таджикистані встановлені турбіни потужністю 300 МВт, з максимальним напором 275 м та розрахунковим 223 м; на Чиркейській ГЕС - 250 МВт, 207 м, та 170 м відповідно; на Інгурській ГЕС у Грузії - 260 МВт, 404 м, та 325 м; і на ГЕС Пьєра дель Агіла в Аргентині - 356 МВт, 108 м, або на ГЕС Агуа-Мільпа в Мексиці - 325 МВт, 145 м; ГЕС Тері в Індії - 255 МВт, 188 м; ГЕС Ель-Кахон в Мексиці - 380 МВт, 156,5 м; та ГЕС Ла Йєска в Мексиці - 426 МВт, 186,7 м.

Ці турбіни мають вбудований кільцевий затвор і відзначаються високим коефіцієнтом корисної дії, який може досягати 96%.

Найбільші радіально-осьові турбіни включають в себе турбіни ГЕС Гренд-Кулі-3 у США з потужністю 820 МВт, напором 87 м та діаметром робочого колеса 9,7 м; ГЕС Ітайпу в Бразилії та Парагваї з потужністю 800 МВт, напором 118,4 м; та "Три ущелини" в Китаї з потужністю гідроагрегата 700 МВт та різними напорами. Вони виробляються фірмами "Alstom Power" і "GE Hydro".

Крім ВАТ "Турбоатом", великі сучасні гідротурбіни також виробляються фірмами "Voith Siemens", "Tech Hydro", "Toshiba" і іншими.

Гідротурбіни типу ковша застосовуються на гідроелектростанціях при високих напорах (понад 300 м) або на малих ГЕС, де вимагається робота турбіни при дуже низьких витратах води (0,3–0,7 м³/с) і напорах 100 м і вище. Основними компонентами ковшової турбіни є сопла і робоче колесо, яке має форму диска з лопатями, схожими на ковші (отже, назва "ковшова"). Загальна кількість лопатей може становити від 12 до 40.

Конструкція ковшових турбін в значній мірі залежить від загальної кількості сопел, тобто кількості струменів, які потрапляють на лопаті турбіни з великою швидкістю. Збільшення кількості сопел призводить до відповідного збільшення потужності турбіни за збереженням діаметра робочого колеса.

За розташуванням вала всі турбіни розділяються на дві категорії - горизонтальні та вертикальні. У горизонтальних турбін (див. рис. 4.8) використовуються схеми з одним або двома соплами; у другому випадку потрібна спеціальна форма розгалуження водопроводу. У вертикальних турбін (див. рис. 4.9) застосовується охоплюючий спіральний водопровід, що дозволяє використовувати різну кількість сопел, наприклад, два, чотири, шість, а іноді непарну кількість.

Вода до ковшових турбін подається через напірні водопроводи.

У відміну від ковшових турбін, де потік води весь час є напірним і лопаті робочого колеса обертаються у воді, у осьових і радіально-осьових турбінах

потік води по всій довжині тракту є цільним і напірним. Ці особливості дозволяють використовувати робоче колесо всіх компонентів енергії води, що протікає: тискової енергії, потенційної енергії і кінетичної енергії.

У ковшових турбінах робоче (рис. 4.10) колесо обертається у повітрі і лише частина лопатей взаємодіє з водою у даний момент часу. Робоче колесо ковшових турбін може використовувати лише кінетичну енергію води, тобто перед входом на робоче колесо вся її енергія повинна бути перетворена в кінетичну, що здійснюється за допомогою сопла. Таким чином, швидкість води (струменя) визначає величину кінетичної енергії, яка надходить до робочого колеса. Максимальна швидкість води обмежується в основному втратами, зокрема рівнем падіння коефіцієнта корисної дії.

У останні роки найбільша високонапірна ковшова турбіна (рис. 4.11) була встановлена на ГЕС Будрон у складі гідровузла Клузон-Диксан (Швейцарія) з потужністю 400 МВт і напором понад 1800 м.

Оборотні гідромашини (насос-турбіни) отримали розвиток у зв'язку з інтенсивним будівництвом ГАЕС. У них, у нічний період, коли в енергосистемі є надлишок потужності, агрегати працюють у насосному режимі, перекачуючи воду з нижнього резервуара в верхній, а в період максимального 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 бути осьовими, діагональними і радіально-осьовими, так само як і реактивні гідротурбіни.



Рис. 4.8. Схематичне зображення спіральної камери й турбіни

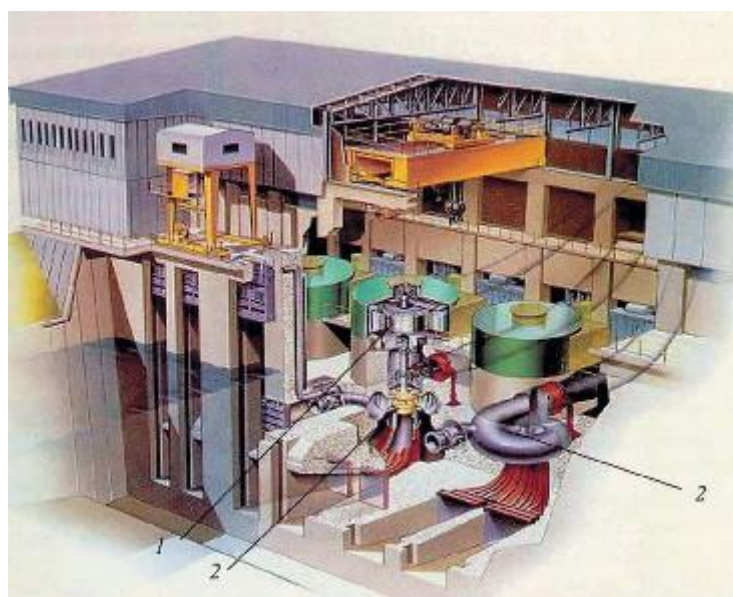


Рис.4.9. Схематичне зображення будинку ГЕС «Три ущелини»: 1 – генератор; 2 – турбіна

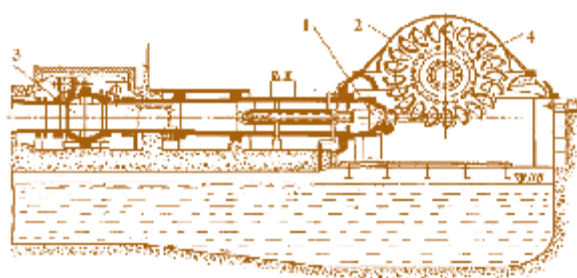


Рис. 4.10. Горизонтальна ковшова турбіна: 1 – водовід; 2 – робоче колесо турбіни; 3 – передтурбінний затвор; 4 – вал

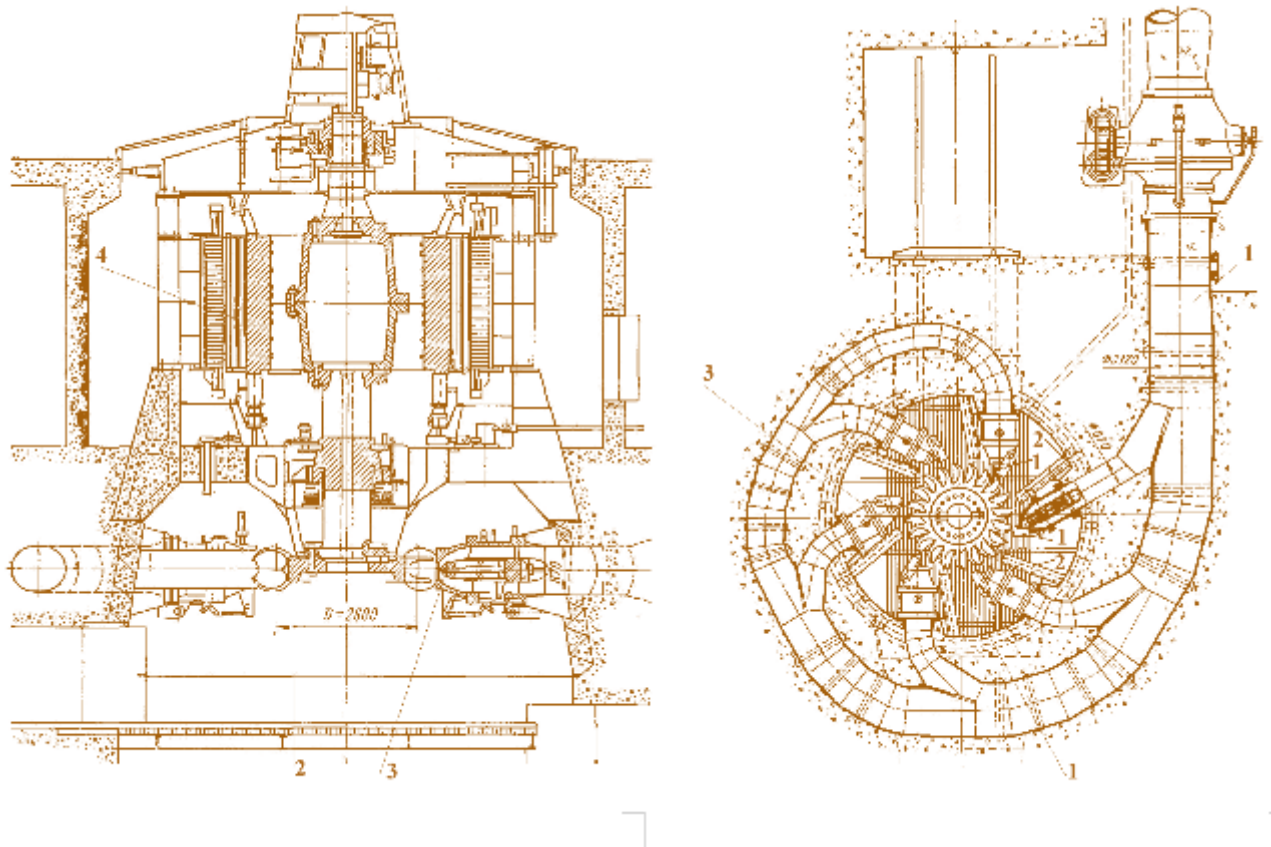


Рис. 4.11. Вертикальна ковшова турбіна: а – розріз по гідроагрегату; б – план ковшової шестисоплової турбіни; 1 – водовід; 2 – робоче колесо турбіни; 3 – сопло; 4 – генератор

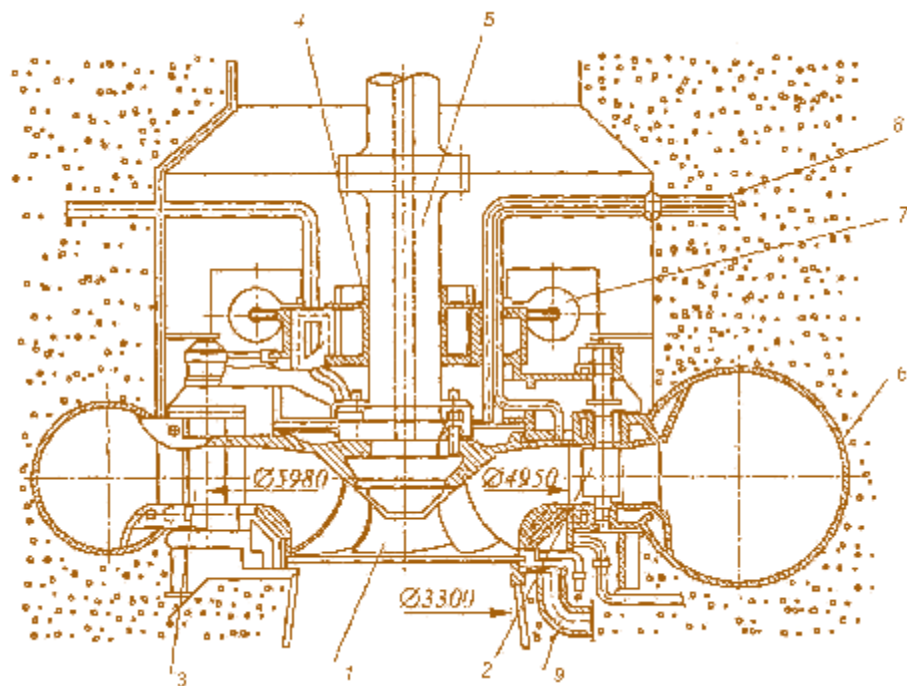


Рис. 4.12. Розріз по насос-турбіні ГАЕС Реккун-Маунтін: 1 – робоче колесо; 2 – лопатки напрямного апарата; 3 – колони статора; 4 – напрямний підшипник; 5 – вал; 6 – спіральна камера; 7 – сервомотор; 8 – трубопровід стисненого повітря для віджимання води з порожнини робочого колеса; 9 – трубопровід для відводу води з камери робочого колеса

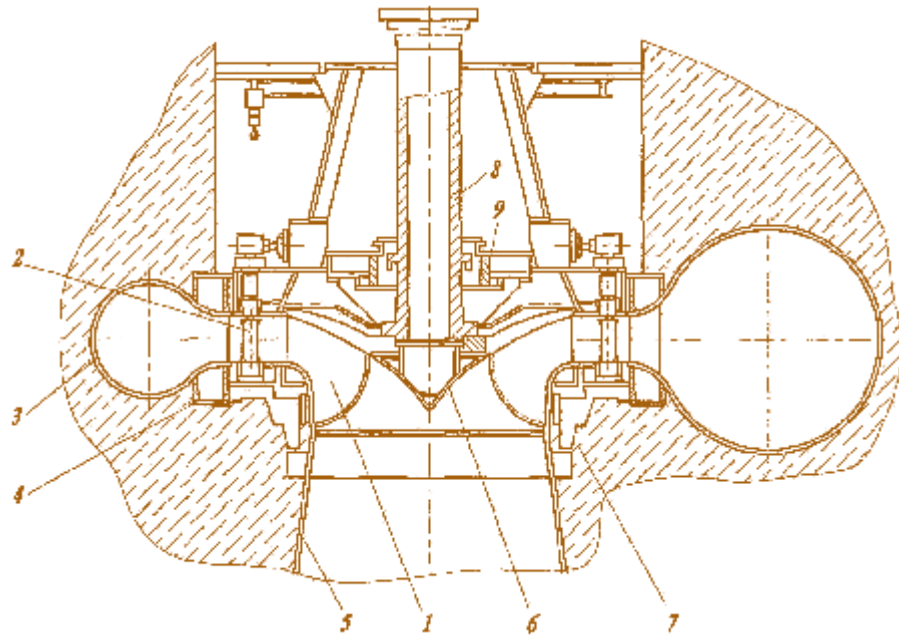


Рис. 4.13. Розріз по насос-турбіні Загорської ГАЕС: 1 – робоче колесо; 2 – лопатки напрямного апарата; 3 – спіральна камера; 4 – статор; 5 – відсмоктувальна труба; 6 – конус робочого колеса; 7 – колектор; 8 – вал; 9 – напрямний підшипник

Застосування оборотних гідромашин з однією або багатоступінчастими насос-турбінами постійно розширюється в напрямку більш високих напорів.

Для напорів до 15 м на гідроелектростанціях можуть бути використані горизонтальні капсульні оборотні агрегати.

При напорах до 150 м можна використовувати діагональні насос-турбіни, які, наприклад, встановлені на японських гідроелектростанціях Синкан і Такане 1.

Для напорів від 60 до 600–700 м найбільш поширеними в світі є вертикальні радіально-осьові насос-турбіни.

Найпотужніші оборотні гідроагрегати з радіально-осьовими насос-турбінами, що відзначаються високими показниками ефективності, встановлені в США на гідроелектростанціях Рекун-Маунтін (рис. 4.12) з потужністю в турбінному режимі 360–400 МВт, розрахунковим напором 297 м (максимальним — 305 м), частотою обертання 300 об/хв., діаметром робочого колеса $D_1=4,95$ м, і Бас Каунті – 360 –500 МВт, розрахунковим напором 329 м (384 м), частотою обертання 257,1 об/хв., діаметром робочого колеса $D_1=6,4$ м, максимальними коефіцієнтами корисної дії у насосному й турбінному режимах 92,7 і 92%; в Японії на гідроелектростанціях Kazunogawa – 400 МВт, напором 714 м, і Kannagawa – 470 МВт, напором 653 м.

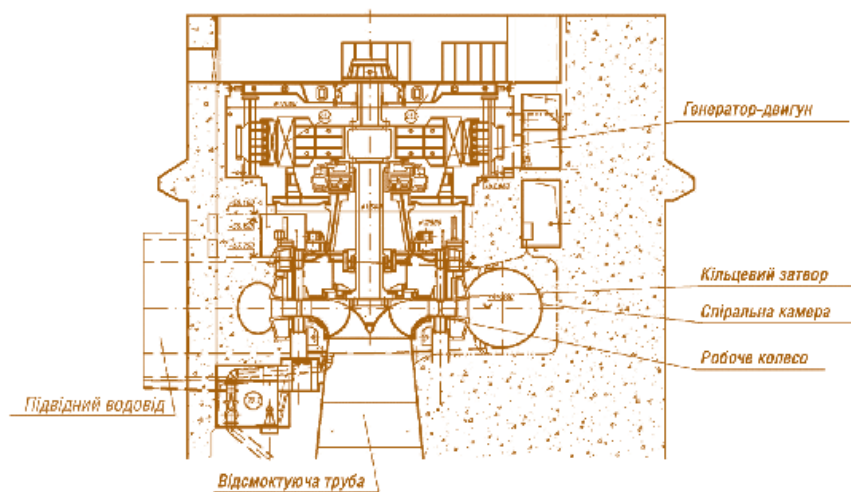


Рис. 4.14. Розріз по оборотному агрегату Дністровської ГАЕС

При напорах більше 700 м одержали поширення компактні багатоступінчасті насос-турбіни, на валу яких встановлено два й більше робочих коліс.

У Франції й Італії побудовані кілька ГАЕС із такими агрегатами потужністю по 130–150 МВт при напорах 700–1300 м.

Великі сучасні оборотні гідромашини виготовляють фірми «Voith Siemens», «Toshiba», «Tech Hydro», «GE Hydro», ВАТ «Силові машини – ЛМЗ», ВАТ «Турбоатом» та ін.

Оборотні гідромашини виробництва ВАТ «Силові машини – ЛМЗ» встановлені на Загорській ГАЕС (рис. 4.13) і Круонісській (Кайшадорській) (Литва) з потужністю гідроагрегата в турбінному режимі 200 МВт, розрахунковий напір 100 м, $D_1=6,3$ м, максимальні к.к.д. у насосному й турбінному режимах 92,0 і 92,5% (мал. 5.16); на Ташлицькій ГАЕС (Україна) потужністю 161 МВт, напір 73 м, $D_1=6,3$ м.

Найбільш потужні в Європі оборотні гідромашини виробництва ВАТ «Турбоатом» встановлюються на Дністровській ГАЕС (Україна) з потужністю гідроагрегата в турбінному режимі 380 МВт, напір 135 м, $D_1=7,3$ м, максимальний к.к.д. у насосному й турбінному режимах 92,8 і 93,5% відповідно (рис. 3.14).

Завдяки вдосконаленню конструкції і технології виготовлення оборотних гідромашин зросли надійність їх роботи, к.к.д., коефіцієнт готовності до роботи, що важливо з огляду на їх інтенсивне використання в різних режимах.

ЛЕКЦІЯ №5 «ГІДРОГЕНЕРАТОРИ»

1. Використання трифазних синхронних генераторів.

На новітніх електростанціях використовують трифазні синхронні генератори змінного струму, які мають частоту 50 Гц. Їх основне призначення - перетворювати механічну енергію первинного двигуна на електричну енергію. Ці генератори безпосередньо з'єднані з первинними двигунами електростанції, які зазвичай є паровими, газовими або гідравлічними турбінами. У випадку з паровими та газовими турбінами вони відомі як турбогенератори, а з гідравлічними - як гідрогенератори. Разом з первинними двигунами вони утворюють турбоагрегати або гідроагрегати відповідно.

Турбоагрегати мають найкращі техніко-економічні показники, особливо якщо частота обертання парових або газових турбін є достатньо великою. Тому є потреба в підвищенні швидкодії турбогенераторів.

Існує зв'язок між швидкістю обертання ротора синхронного генератора (СГ), вираженою у обертах на хвилину, та частотою струму в електричній мережі.

$$n = \frac{60 \cdot f}{p};$$

де p - кількість пар полюсів генератора.

Генератори теплових електростанцій (ТЕС), як правило, мають швидкість обертання 3000 оборотів на хвилину, щоб бути безпосередньо з'єднаними з паровими або газовими турбінами. У деяких випадках, таких як атомні електростанції (АЕС), частота обертання турбоагрегату визначається турбіною і зазвичай становить менше 3000 оборотів на хвилину.

Щодо гідроагрегатів, частоту обертання прийнято збігати з оптимальною швидкістю обертання гідротурбіни, яка відповідає найкращим гідравлічним характеристикам турбіни та залежить від напору та витрати води. Гідрогенератори є машинами з низькою швидкістю обертання, і оскільки умови напору та витрати води можуть значно змінюватись на різних гідроелектростанціях, частота обертання гідрогенераторів може змінюватись від 50 до 750 оборотів на хвилину.

2. Гідрогенератор.

Гідрогенератори, які встановлюються на гідроелектростанціях (ГЕС) України, відносяться до багатополюсних машин і, отже, мають відносно низьку швидкість обертання. Їх частота обертання може варіюватись в залежності від напору та витрати води у річковому руслі. Оскільки умови на різних гідроелектростанціях значно відрізняються, частота обертання гідрогенераторів коливається в межах від 50 до 750 обертів на хвилину.

Гідрогенератори розрізняються за розташуванням вала на горизонтальні та вертикальні. Гідрогенератори середньої і великої потужностей мають вертикальне розташування вала, тоді як гідрогенератори малої потужності зазвичай мають горизонтальне розташування. У вертикальних гідрогенераторів є лише один опорний підшипник, який приймає великі навантаження від ротора генератора і робочого колеса турбіни, а також вертикальну реакцію води, і передає її хрестовині.

Залежно від розташування опорного підшипника розрізняють гідрогенератори підвісного і зонтикового типів.

У гідрогенераторах підвісного типу, опорний підшипник розміщений над ротором, тоді як у гідрогенераторів зонтикового типу - під ротором, у нижній опорній хрестовині.

Гідрогенератори підвісного типу (див. рис. 5.1, а) мають більшу механічну стійкість і забезпечують більший доступ до опорного підшипника та інших елементів агрегату.

Зонтикове виконання гідрогенератора (див. рис. 5.2, б) дозволяє зменшити масу агрегату, знизити його висоту, а відповідно й висоту всієї будівлі гідроелектростанції. Гідрогенератори з великими навантаженнями зазвичай мають зонтикове виконання.

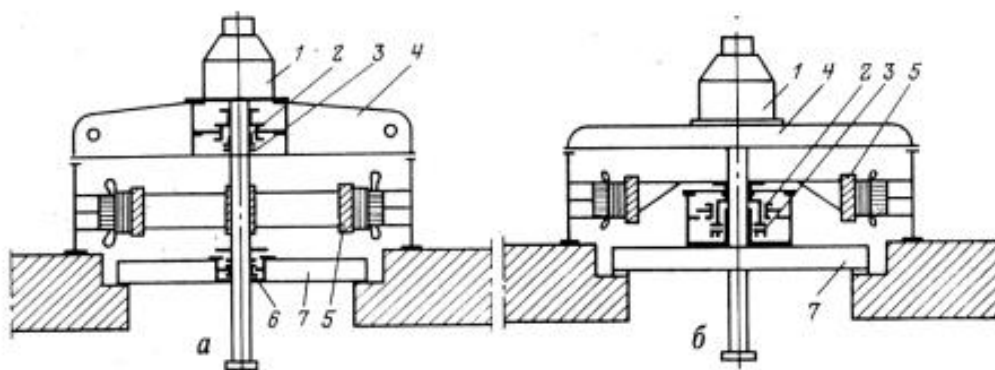


Рис. 5.1. – Принципові схеми конструкції гідрогенераторів:
а – підвісний тип; б – зонтиковий тип;

1 – збуджувач; 2 – верхній напрямний підшипник; 3 – підп’ятник; 4 – верхня хрестовина; 5 – ротор; 6 – нижній напрямний підшипник; 7 – нижня хрестовина

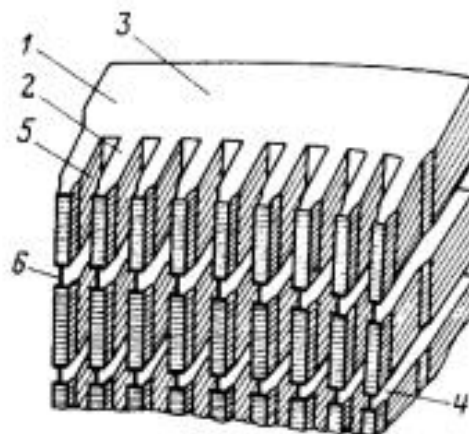


Рис. 5.2. – Сегментний пакет сердечника статора гідрогенератора:
1 – сегмент; 2 – зубець сегмента; 3 – спинка сегмента; 4 – радіальний канал; 5 – паз статора; 6 – розпірка

Як і в турбогенераторах, сердечник статора гідрогенератора складається з окремих пакетів (див. рис. 5.2), що для потужних гідрогенераторів зазвичай складаються з листів холоднокатаної сталі і розділяються вентиляційними каналами. У великих гідрогенераторах застосовується стрижнева обмотка статора, яка складається з окремих елементарних провідників (див. рис. 5.1, а), тоді як в гідрогенераторах малої потужності використовується котушкова обмотка статора.

Оскільки частоти обертання гідрогенераторів і турбогенераторів відрізняються значно, то це призводить до принципової відмінності у конструкції їх роторів.

Гідрогенератори мають ротор з виразно вираженими полюсами (див. рис. 3), що представляє собою колесо великого діаметра. Це колесо складається з внутрішньої частини, яка є остовом, що монтується на валу за допомогою втулки, і зовнішньої частини, яка є ободом, що складається з

окремих сегментів. Полюси з обмоткою збудження розташовуються на ободі. Діаметр ротора гідрогенератора зазвичай збільшується зі зменшенням номінальної частоти обертання і зі збільшенням потужності гідрогенератора.

У гідрогенераторах з великим діаметром ротора можуть виникати значні механічні напруження, вібрації і зміщення центра мас ротора, особливо в разі різкого зменшення навантаження або відмови системи регулювання швидкості.

Поліус ротора складається з сердечника, який збирається з листів сталі, і котушки обмотки збудження, яка намотується мідними провідниками прямокутного перерізу. У потужних гідрогенераторах часто використовують порожнисті провідники для прямого охолодження ротора водою або повітрям.

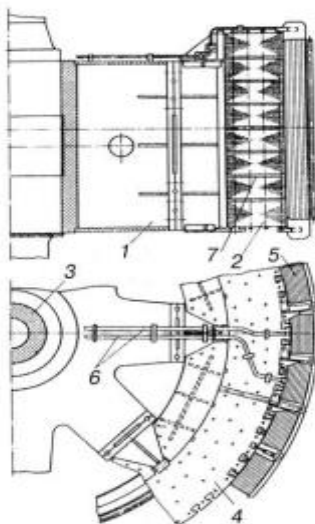


Рис. 5.3 – Ротор гідрогенератора зі спицьовим остовом:

1 – остов; 2 – обод; 3 – вал; 4 – сегмент обода; 5 – полюс з котушкою обмотки збудження; 6 – струмопровід, який з'єднує обмотку збудження з контактними кільцями; 7 – вентиляційний радіальний канал.

Більшість гідрогенераторів мають демпферну обмотку для полюсів, яка складається з масивних стрижнів з латуні або бронзи. Ці стрижні вбудовані у полюси ротора і з'єднані між собою короткими шинами.

3. Синхронні компенсатори

Синхронні компенсатори є спеціальними пристроями, що використовують ненавантажені синхронні двигуни для вироблення або споживання реактивної потужності в залежності від режиму роботи (перезбудження або недозбудження).

Типові синхронні компенсатори мають явнополюсний ротор і конструктивно подібні до гідрогенераторів, але у всіх синхронних компенсаторах вал розташований горизонтально. Великі розміри валів синхронних компенсаторів сприяють збільшенню моменту інерції та підвищенню стійкості паралельної роботи таких пристроїв. В сучасних енергосистемах встановлені синхронні компенсатори з потужністю від 10 до 320 МВ·А і частотою обертання 750 і 1000 об/хв.

Пускова обмотка, яка складається зі стрижнів, виготовлених зі сплавів з підвищеним активним опором, використовується для полегшення пуску явнополюсного синхронного компенсатора (рис. 5.4). Ці стрижні розташовані в напівзакритих пазах на полюсах ротора і з'єднуються накоротко мідними або латунними сегментами на торцях полюсів.

Поперечний переріз стрижнів і сегментів вибирається з урахуванням значень пускових струмів та тривалості пуску для забезпечення надійності та ефективності роботи синхронного компенсатора.

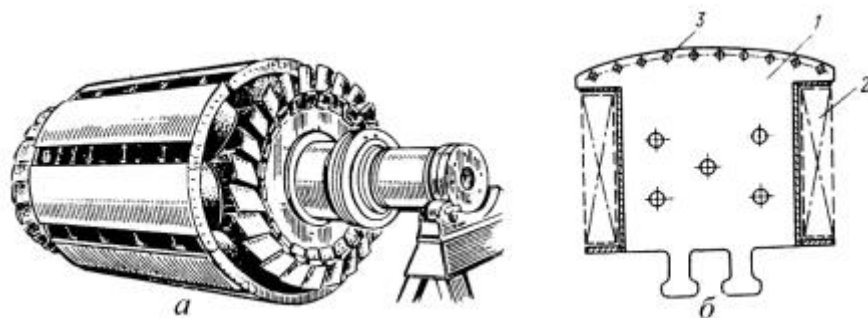


Рис. 5.4. – Ротор синхронного компенсатора:

а – зовнішній вигляд ротора; б – розріз полюса ротора;

1 – сердечник; 2 – котушка обмотки збудження;

3 – демпферна (пускова) обмотка

ЛЕКЦІЯ №6. «ТЕПЛОВІ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ»

1. Загальна характеристика теплоенергетично комплексу.

Електроенергетика є базовою галуззю господарського комплексу України. Від рівня її розвитку залежить функціонування всіх інших галузей господарства. Найбільшими споживачами електроенергії в Україні є промисловість, населення (побутові потреби), сільське господарство, транспорт. Електростанція (електрична станція) — промислове підприємство або комплект обладнання для вироблення електроенергії з різних форм первісної енергії. На електростанціях первинне джерело енергії надходить у перетворювач енергії, на виході якого отримують електроенергію, або електричну і теплову енергію. Залежно від виду первісної енергії, електростанції поділяються на: - класичні теплові – використовують енергію від спалювання різних видів органічного палива; - атомні теплові – використовують енергію від розщеплення ядер радіоактивних ізотопів, яке супроводжується виділенням великої кількості тепла; - гідроелектростанції – використовують перетворення механічної енергії руху води річок в електричну; - геотермальні - як первісну енергію використовують тепло надр Землі; - сонячні – використовують сонячну енергію; - вітрові - використовують кінетичну енергію вітру.

Поки що широкого розповсюдження не набули електростанції, які використовують різницю температури різних шарів морської води, енергію морських хвиль і припливів. Понад 60% світової електроенергії виробляють класичні теплові електростанції, близько 17% - атомні і близько 20% — гідроелектростанції. Електрична підстанція — електроустановка, призначена для перетворення електричної енергії однієї напруги (частоти) в електричну енергію іншої напруги (частоти) та її розподілу. В залежності від призначення можуть бути трансформаторними (ТП) або перетворювальними (ПП). Основою електроенергетики України є Об'єднана електроенергетична система

(ОЕС), яка здійснює централізоване електрозабезпечення внутрішніх споживачів. Електроенергетична система (ЕЕС) – сукупність електричних станцій, підстанцій, електричних і теплових мереж, які пов’язані спільністю процесу виробництва, перетворення, розподілу і споживання електричної і теплової енергії. Електричну частину ЕЕС називають електричною системою.

До складу її входять: генератори, трансформаторні підстанції, перетворювальні установки, лінії електропередач (ЛЕП), струмоприймачі. Сукупність приймачів електроенергії складає навантаження електричної системи. ОЕС взаємодіє з енергосистемами сусідніх держав, забезпечує експорт та імпорт електроенергії. До її складу входять вісім регіональних електроенергетичних систем: Дніпровська, Донбаська, Західна, Південна, Південно-Західна, Північна, Центральна, які зв’язані між собою системоутворюючими і міждержавними лініями електропередачі напругою 330–500 кВ і 750 кВ. Робота електростанцій в ОЕС забезпечує такі переваги: - за рахунок резервування джерел підвищується надійність електропостачання споживачів; - зменшується необхідний резерв потужності в системі; - створюються умови для вирівнювання графіка навантаження ЕЕС, зниження його максимуму і підвищення ТЕП показників; 9 - створюються умови для оптимального керування розвитком і поточними режимами ЕЕС у цілому.

Централізоване виробництво електричної енергії в ОЕС здійснюють 14 найпотужніших теплових і вісім гідравлічних електростанцій, які входять до складу шести державних та приватних акціонерних енергогенеруючих компаній: Західенерго, Центренерго, Дніпроенерго, Київенерго, Донбасенерго підпорядкованих Мінпаливенерго України, та чотири АЕС, які входять до складу Національної атомної енергогенеруючої компанії «Енергоатом». Розподіл електроенергії в ОЕС здійснюють акціонерні енергопостачальні компанії: 24 обласні, м. Київ. Транспортування електричної енергії від енергогенеруючих до енергопостачальних компаній магістральними і розподільними електричними мережами країни забезпечує Національна енергетична компанія «Укренерго», до складу якої входять вісім згаданих вище

регіональних електроенергетичних систем. Географічна структура споживання електроенергії в Україні неоднорідна. Найбільше споживання електроенергії в областях, де розвинена гірничо-металургійна промисловість.

Найбільші ТЕС розташовані в Донбасі (Вуглегірська, Старобешівська, Миронівська, Курахівська й ін.), на Придніпров'ї (Придніпровська, Криворізька), у Харківській (Зміївська), Київській (Трипільська), Івано-Франківській (Бурштинська), Львівській (Добротвір) областях, у Запоріжжі, Одесі й ін. Більшість цих електростанцій виробляє й тепло (ТЕЦ). В розвитку гідроенергетики особливе значення у ХХ ст. відіграв каскад ГЕС на Дніпрі: Дніпрогес, Каховська, Дніпродзержинська, Кременчуцька, Київська, Канівська. Побудовані ГЕС на Дністрі (Дністровська), Росі, у Закарпатській області (Теребле-Ріцька). Державне підприємство «Національна атомна енергогенеруюча компанія «Енергоатом» має у своєму складі чотири атомні електростанції: Запорізьку (м. Енергодар, Запорізької обл.), Рівненську (м. Вараш, Рівненської обл.), Хмельницьку (м. Нетішин, Хмельницької обл.) та Южно-Українську (м. Южноукраїнськ, Миколаївської обл.), які є відокремленими підрозділами (структурними одиницями) підприємства.

В експлуатації на АЕС перебуває 15 енергоблоків, з них 13 – з реакторами типу ВВЕР-1000, 2 – з реакторами ВВЕР-440. Сумарна встановлена електрична потужність атомних станцій складає 13 835 МВт. До складу ДП «НАЕК «Енергоатом» крім АЕС входять такі відокремлені підрозділи: Атомремонтсервіс, Атомкомплект, Автоматика та машинобудування, Науково-технічний центр, Атоменергомаш, Аварійно-технічний центр, Атомпроектінжиніринг, Складське господарство, КБ Атомприлад, Управління справами. Крім того, до складу Компанії входить каскад ГЕС-ГАЕС (Олександрівська ГЕС та Ташлицька ГАЕС), для якого тариф на електроенергію розраховуються та затверджуються НКРЕКП окремо.

Вся електроенергія, що виробляється ДП «НАЕК «Енергоатом», продається в ДП «Енергоринок». Західна електроенергетична система (ЕС) –

відокремлений підрозділ ДП "НЕК "Укренерго", до складу якої входять акціонерні енергопостачальні компанії Волинської, Закарпатської, Івано-Франківської, Львівської та Рівненської областей, як складової Об'єднаної енергосистеми (ОЕС) України. Центральна диспетчерська знаходиться у Львові, диспетчерські пункти високої напруги у кожному обласному центрі регіону. Основними завданнями Західної ЕС є: - здійснення оперативно-технологічного управління регіональною енергосистемою, включаючи Рівненську атомну електростанцію (АЕС), теплові електростанції (ТЕС) енергогенеруючої компанії ВАТ "Західенерго" – Бурштинську (ТЕС) і Добротвірську 10 (ГЕС) та системоутворюючу мережу 110кВ обласних енергопостачальних компаній; - забезпечення надійної роботи магістральних і міждержавних електромереж напругою 35, 220, 330, 400 і 750 кВ. На Волині електромережі напругою 220кВ і вище області експлуатують Волинські магістральні електромережі. В зоні обслуговування Волинських МЕМ розташовані чотири ПС 220 і 330кВ загальною потужністю силових трансформаторів 1390 МВА та 445,6 км ЛЕП - 220 і 330 кВ, в тому числі: - три ПС - 330кВ ("Нововолинськ", "Ковель", "Луцьк північна") загальною потужністю транс-форматорів 1140 МВА; - одна ПС - 220 кВ ("Луцьк південна") загальною потужністю трансформаторів 250 МВА; - ЛЕП - 330 кВ протяжністю 220,5 км; - ЛЕП - 220 кВ протяжністю 212,2 км. Підстанції з'єднані з Рівненською атомною електростанцією і Добротвірською ТЕС (Львівська область). Спеціальна автоматика контролює весь процес передачі електроенергії. Електромережі Волинських МЕМ забезпечують зовнішнє електропостачання обласного центру та відповідальних споживачів області. У 2003 році було Завершене будівництво електролінії (ПЛ) 330кВ Рівненська АЕС – електростанція (ПС) „Луцьк Північна” довжиною 88,4 км і переведення ПС 220кВ „Луцьк Північна” на напругу 330кВ з встановленням автотрансформатора 330/220/110/10 кВ потужністю 200 тис. кВА. Виробнича база Волинських МЕМ розташована в м. Луцьку, була збудована у 2009 році і відповідає сучасним вимогам. ПрАТ «Волиньобленерго» — одне з передових

товариств регіону, що динамічно розвивається та повноцінно виконує свою діяльність з передачі електроенергії магістральними та розподільчими мережами з метою задоволення потреб юридичних та фізичних споживачів.

Воно є середнім енергопостачальним товариством з точки зору об'ємів продажу електроенергії та інших валових показників, і займає монопольне становище з передачі електроенергії у Волинській області. Загальна довжина ліній електропередач — 25 713 км (24407 км – повітряні лінії, 1306 км – кабельні), кількість підстанцій — 5 999, загальна потужність трансформаторів — 2321 МВА (з них 112 – напругою 35кВ і 110кВ), площа постачання — 20,2 тис. кв. км. 11 2.

2. Теплові електричні станції

2.1. Теплові електричні станції.

Загальні положення Сукупність установок, які перетворюють хімічну енергію органічного палива на теплову та електричну, мають назву теплова електрична станція (ТЕС). Основне призначення електричних станцій – забезпечення електричною енергією підприємств промислового і сільськогосподарського виробництва, комунального господарства і транспорту. Електростанції можуть також забезпечувати підприємства і житлові будинки водяною парою і гарячою водою. Електростанції, призначені тільки для виробництва електроенергії, називають конденсаційні (КЕС). На них установлюють парові турбіни з глибоким вакуумом. Це пов'язано з тим, що чим нижчий тиск пари на виході з турбіни, тим більша частина теплової енергії робочого тіла (водяної пари) може перетворитися на електричну енергію. При цьому основний потік пари конденсується в конденсаторі. Електростанції, призначені для комбінованого виробництва електричної і теплової енергії, мають назву теплоелектроцентралі (ТЕЦ).

На них установлюють парові турбіни з проміжними відборами пари або з протитиском. На таких установках теплоту відпрацьованої пари частково або навіть повністю використовують для теплопостачання, унаслідок чого втрати теплоти з охолоджувальною водою в конденсаторі скорочуються або їх взагалі

немає. Однак частка енергії, перетвореної з хімічної на електричну, при тих самих початкових параметрах пари на установках з теплофікаційними турбінами нижча, ніж на установках з конденсаційними турбінами. Зазвичай ТЕЦ будують поблизу споживачів теплової енергії – біля промислових підприємств або житлових масивів.

Якщо для виробництва електроенергії використовують конденсаційні установки, а теплову енергію для теплопостачання виробляють в окремій котельній установці, то таке виробництво електричної і теплової енергії називають роздільне. Сучасна ТЕС – це складне підприємство, яке включає в себе велику кількість різного устаткування (теплових, електричного, електронного тощо) і будівельних конструкцій. Основним устаткуванням ТЕС є котельня і теплових установка. За типом теплових установки (теплових двигуна) теплові електричні станції бувають: паротурбінні (основний вид електростанцій), газотурбінні і парогазові ТЕС, а також електростанції з двигунами внутрішнього згорання (ДВЗ). За призначенням ТЕС бувають районні (загального користування), які забезпечують усіх споживачів тепловою та електричною енергією в цьому районі місцевості і є самостійними виробничими підприємствами, і промислові електростанції, які входять до складу виробничих об'єктів і призначені переважно для їх енергопостачання, а також міських і сільських районів, що прилягають до них. Найпоширеніші в енергетиці паротурбінні електростанції поділяють за рівнем теплової потужності агрегатів: малої потужності (з агрегатами до 25МВт), середньої потужності (з агрегатами до 50...100МВт), великої потужності (з агрегатами більше 100МВт); а також за початковими параметрами водяної пари: низького (до 3МПа), середнього (3...5МПа), високого (9...17МПа) і понадкритичного тиску (більше 24МПа). Класифікація ТЕС за рівнем потужності і тиску умовна, тому що ці показники мають тенденцію до зростання. Теплові електростанції України Найбільші ТЕС в Україні - Запорізька, Криворізька-2, Зміївська (Харківська область), Бурштинська (Івано-Франківська область), Ладижинська (Вінницька область),

Придніпровська (Дніпропетровська область), Старобешівська (Донецька область), Трипільська (Київська область). Бурштинська ТЕС $\rightarrow 12 \times 200 = 2400$ МВт Вуглегірська ТЕС $\rightarrow 4 \times 300 + 3 \times 800 = 3600$ МВт Добровірська ТЕС $\rightarrow 3 \times 100 + 2 \times 150 = 600$ МВт Запорізька ТЕС $\rightarrow 4 \times 300 + 3 \times 800 = 3600$ МВт Зуївська ТЕС $\rightarrow 4 \times 300 = 1200$ МВт 12 Зміївська ТЕС $\rightarrow 6 \times 200 + 4 \times 300 = 2400$ МВт Курахівська ТЕС $\rightarrow 7 \times 200 = 1400$ МВт Криворізька ТЕС $\rightarrow 10 \times 300 = 3000$ МВт Ладижинська ТЕС Луганська ТЕС Придніпровська ТЕС Слов'янська ТЕС Старобешівська ТЕС Трипільська ТЕС Штерівська ДРЕС. 2.2. Типові схеми ТЕС За способом компонування котлів і парових турбін ТЕС бувають з поперечними зв'язками і з блочним компонуванням. Принципову теплову схему ТЕС з поперечними зв'язками показано на рис. 6.1.

У котли 1 живильну воду подають із загальної магістралі 6, а свіжа пара збирається в загальному головному трубопроводі 5. У цій схемі всі котли ТЕС з'єднано трубопроводами води і пари. З об'єднаного паропроводу водяну пару подають до всіх працюючих турбін. У схемах ТЕС з блочним компонуванням паровий котел з'єднують тільки з однією паровою турбіною і, отже, він являє собою автономний енергетичний блок. Для надійності можна встановлювати по два котли на загальну турбіну – це так звані дубль-блоки. При цьому котли можуть мати як однакові (симетричні дубль-блоки), так і різні поверхні нагріву (несиметричні дубль-блоки).

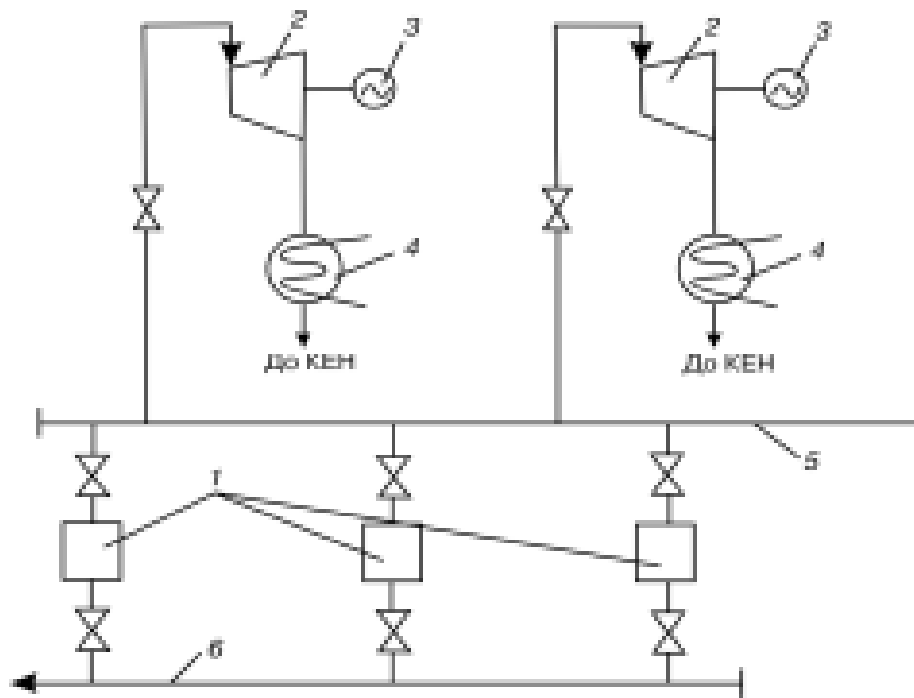


Рис. 6.1 - Принципова схема ТЕС з поперечними зв'язками: 1 – котел; 2 – турбіна; 3 – електричний генератор; 4 – конденсатор; 5 – головний паропровід; 6 – живильна магістраль; КЕН – конденсатний електричний насос.

У потужних моноблочних установках (300, 500 і 800МВт) з кожною турбіною працює однокорпусний котел. Через нерівномірність використання електроенергії протягом доби виникає потреба в частих зупинках і наступних пусках енергоблоків. Зупинивши енергоблок і вимкнувши генератор 3 (рис. 6.2) і турбіну 2, надлишок пари, що є в котлі 1, треба скидати, минаючи турбіну 2 (через байпас), в конденсатор 4. Якщо в котлі є проміжний перегрівник 7, установлений в зоні високих температур, то байпасується циліндр високого тиску (ЦВТ) турбіни і пару направляють через редуційноохолоджувальну установку (РОУ) 6 на охолодження проміжного перегрівника. Потім вона надходить у конденсатор 4 через РОУ 5. Енергоблоки з такою схемою байпасування турбіни називають двобайпасні. Останнім часом отримала поширення одnobайпасна схема енергоблоку. У цій схемі пара, минаючи обидва циліндри турбіни і проміжний перегрівник, безпосередньо скидається в конденсатор. 13

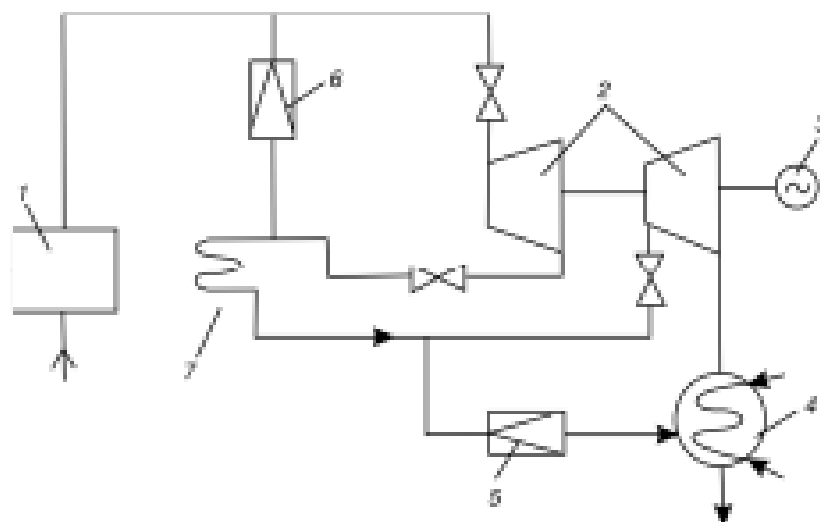


Рис. 6.2 - Двобайпасна схема енергоблоку ТЕС: 1 – котел; 2 – турбіна; 3 – електричний генератор; 4 – конденсатор; 5 – редукційноохолоджуюча установка (РОУ) скидання пари в конденсатор; 6 – РОУ охолодження проміжного підігрівника; 7 – проміжний перегрівник.

Сучасна електростанція – це складне підприємство з великою кількістю різних видів устаткування. Послідовність одержання і використання водяної пари і перетворення одних видів енергії на інші можна простежити на прикладі технологічної схеми ТЕС, яка працює на твердому паливі (рис. 6.3). Паливо (вугілля), яке надходить на ТЕС, вивантажують з вагонів 14 розвантажувальними пристроями 15 і подають крізь дробильне приміщення 12 конвеєрами 16 в бункер сирого палива або до складу 13 резервного палива. Вугілля розмелюють у млинах 22. Вугільний пил через сепаратор 7 і циклон 8 з пилових бункерів 6 разом з гарячим повітрям, що подають вентилятором 20, надходить у топку 21 котла 9. Високотемпературні продукти згорання, які утворюються в топці, рухаючись по газоходах, нагрівають воду в теплообмінниках 10 (поверхні нагріву) котла до стану перегрітої пари. Пара, розширюючись на ступенях турбіни 2, обертає ротор турбіни і з'єднаний з ним

ротор електричного генератора 1, у якому збуджується електричний струм. Вироблена електроенергія за допомогою підвищувальних трансформаторів 30 перетворюється на струм високої напруги і передається споживачам. У турбіні пара розширюється і охолоджується. Після турбіни пара надходить до конденсатора 28, у якому підтримують вакуум. Воду в конденсатор подають з природного або штучного джерела 24 циркуляційними насосами 25, розміщеними в насосній станції 23. Отриманий конденсат насосами 32 перекачують через установку знесолування і підігрівники низького тиску (ПНТ) 31 в деаератор 4. Тут при температурі, близькій до температури насичення, видаляються розчинені у воді гази, що спричинюють корозію обладнання, і вода підігрівається до температури насичення. Втрати конденсату (витікання через неякісні ущільнення в трубопроводах станції або в лініях споживачів) поновлюють за рахунок хімічно очищеної в спеціальних установках 29 води, що додають у деаератор. Дегазовану і підігріту воду (живильну воду) подають живильними насосами 27 в регенеративні підігрівники високого тиску (ПВТ) 26, а потім у котел. Цикл перетворення робочого тіла повторюється. Під робочим тілом розуміють пару і воду, яку одержують спеціальною обробкою. Охолоджені в теплообмінниках 10 продукти згорання очищують від золи в зололовлювачах 19 і димососом 17 через димову трубу 11 викидають в атмосферу. Уловлену золу і шлак по каналах 18 гідрозоловиведення направляють на золовідвал. Роботу ТЕС контролюють з пульта керування 3. Підвищення потужності і параметрів (тиску, температури) робочого тіла можливе завдяки застосуванню проміжної перегрітої пари. 14

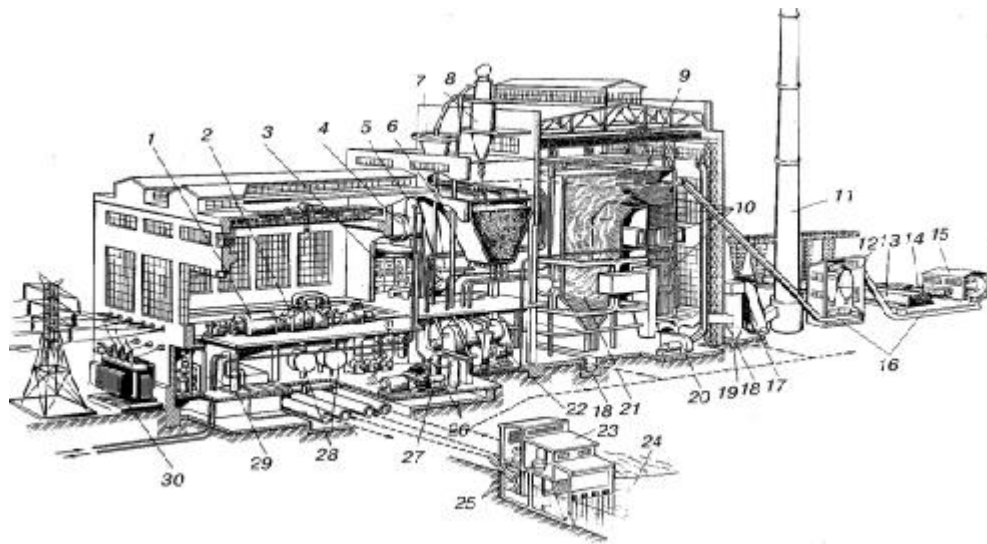


Рис. 6.3 - Теплова електрична станція: 1 – електричний генератор; 2 – парова турбіна; 3 – пульт керування; 4 і 5 – деаератори; 6 – пиловий бункер; 7 – сепаратор; 8 – циклон; 9 – котел; 10 – поверхні нагрівання (теплообмінники); 11 – димова труба; 12 – дробильне приміщення; 13 – склад резервного палива; 14 – вагон; 15 – розвантажувальний пристрій; 16 – конвеєр; 17 – димосос; 18 – канал; 19 – золоуловлювач; 20 – вентилятор; 21 – топка; 22 – млин; 23 – насосна станція; 24 – джерело води; 25 – циркуляційний насос; 26 – регенеративний підігрівник високого тиску; 27 – живильний насос; 28 – конденсатор; 29 – установка хімічної очистки води; 30 – підвищувальний трансформатор; 31 – регенеративний підігрівник низького тиску; 32 – конденсатний насос.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

Основні

1. Вітрогенератори: типи, принцип роботи, ефективність.
URL: <https://comfortsellers.com.ua/vitroheneratory-tyпу-pryntsyp-roboty/>
2. Гаряжа В., Карюк А. Електрична частина станцій та підстанцій : конспект лекцій. Частина 1. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова., 2018. 149 с.
3. Костишин В., Федорів М., Бацала Я. Електрична частина станцій та підстанцій : навчальний посібник. Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2017. 243 с.
4. Маляренко В. Енергетичні установки. Загальний курс: навчальний посібник. Харків : Вид-во САГА, 2018. 320 с.
5. Остапчук О., Денисюк П., Матеєнко Ю. Електрична частина станцій та підстанцій : навчальний посібник для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Київ : КПІ ім Ігоря Сікорського, 2022. 183 с.
6. Mcdonald J. D. Electric power substations engineering. *CRC press*. 2016.

Додаткові

1. Контрольно-вимірювальні прилади з основами метрології : методичні рекомендації до виконання практичних робіт з дисципліни для здобувачів вищої освіти денної форми навчання ОПП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / уклад. В. А. Мардзявко, А. Ю. Руденко. Миколаїв : МНАУ, 2024. 71 с. URL: <https://dspace.mnau.edu.ua/jsui/handle/123456789/17168>
2. Електричне освітлення : методичні рекомендації для підготовки до лекційних робіт здобувачами за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти ОПП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» денної форми

здобуття вищої освіти / уклад. В. А. Мардзявко. Миколаїв : МНАУ, 2024. 155 с. URL: <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/17023>

3. Електротехнічні системи та комплекси : методичні рекомендації для підготовки до лекційних робіт для здобувачів початкового рівня (короткий цикл) вищої освіти ОПП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» денної форми здобуття вищої освіти / уклад. В. А. Мардзявко, А. Ю. Руденко. . Миколаїв : МНАУ, 2024. 250 с. URL: <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/17025>

Навчальне видання

Генеруючі агрегати і станції

ЧАСТИНА I

Конспект лекції

Укладачі: **Руденко Андрій Юрійович**

Мардзявко Віталій Анатолійович

Чурило Руслан Євгенійович

Формат 60x84 1/16. Ум. друк. арк. 3,8.

Тираж 20 прим. Зам. № _____

Надруковано у видавничому відділі
Миколаївського національного університету
54020, м. Миколаїв, вул. Георгія Гонгадзе, 9

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4490 від 20.02.2013 р.