

## ТЕМА 5. Загальні відомості про електричні установки (8 год)

### Урок №15. Електроустановки. Виробництво, перетворення, розподіл і споживання електричної енергії.

Електроустановки, їх класифікація та призначення.

Виробництво, перетворення, розподіл і споживання електричної енергії. Електростанція, підстанція, лінія електропередачі, характеристика і класифікація ліній електропередачі.

Організація електропостачання. Принципова схема розподілу електроенергії і передачі до споживача.

#### **Виробництво, перетворення, розподіл та споживання електричної енергії.**

Особливістю процесу виробництва, передачі і споживання електроенергії є його безперервність. Процес виробництва електроенергії співпадає за часом з процесом її споживання, тому електростанції, електричні мережі і електроприймачі споживачів зв'язані спільністю режиму. Спільність режиму викликає необхідність організації енергетичних систем.

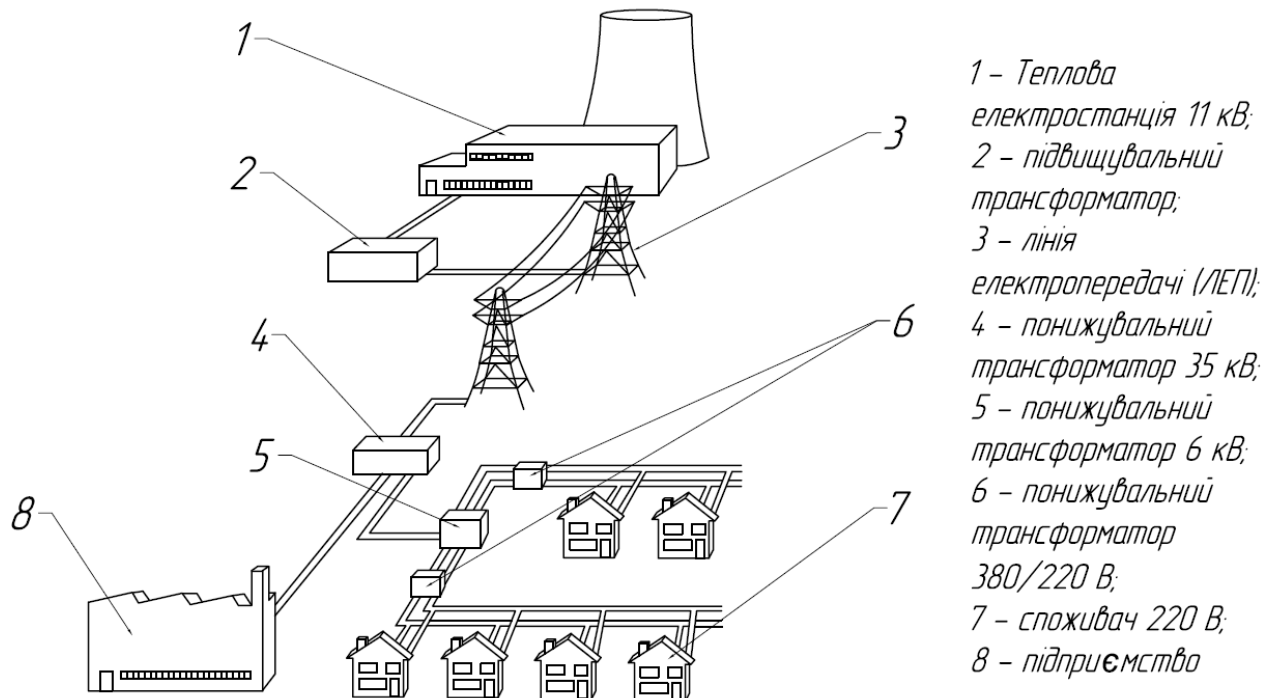
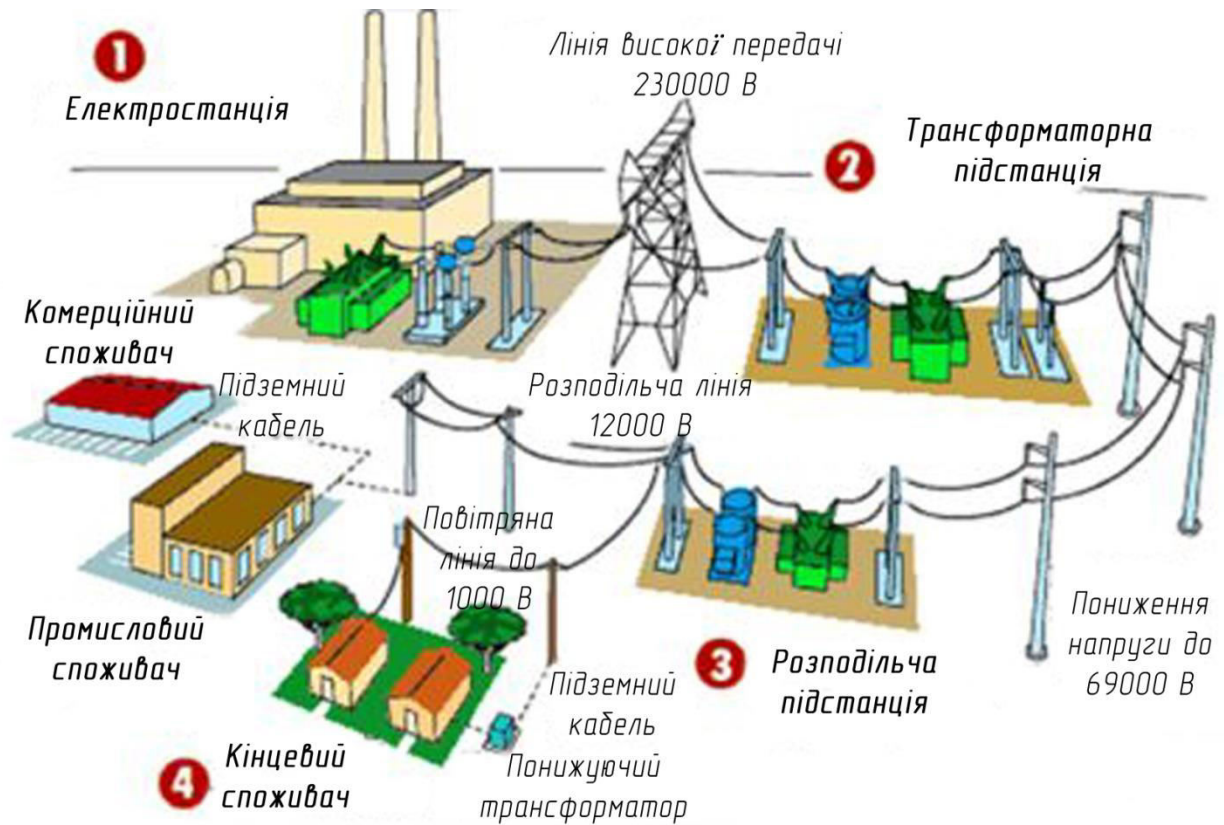
*Енергетична система (енергосистема) є сукупністю електростанцій, ліній електропередачі, підстанцій і теплових мереж, зв'язаних в одне ціле спільністю режиму і безперервністю процесу виробництва і розподілу електричної і теплової енергії. Частиною енергетичної системи є електрична система, що складається з генераторів, розподільних пристроїв, електричних мереж і електроприймачів.*

*Електрична мережа - це сукупність підстанцій, кабельних і повітряних ліній електропередачі.*

*Електроустановки - це спеціальні електротехнічні пристрої, в яких проводиться, перетворюється, розподіляється і споживається електроенергія і, які діляться залежно від робочої напруги на електроустановки напругою до 1000 В і електроустановки напругою вище 1000 В.*

*Розподільним пристроєм (РП) є електроустановка, що слугує для прийому і розподілу електроенергії без перетворення і трансформації (на одній напрузі) і містить комутаційні апарати, пристрої захисту, автоматики і телемеханіки, вимірювальні прилади, збірні шини і допоміжне устаткування. Розподільні пристрої поділяються на відкриті (розташовані на відкритому повітрі) і закриті (у будівлі). У міських умовах в більшості випадків застосовуються закриті розподільні пристрої.*

*Підстанція - це електроустановка, що слугує для перетворення і розподілу електричної енергії і складається з РП, силових трансформаторів або інших перетворювачів електроенергії і допоміжних пристроїв.*



Мал. 15.1. Схеми електропостачання

Електричну енергію виробляють на електростанціях машини-генератори змінного і

постійного струму. На теплових електростанціях генератори приводяться в дію паровими або газовими турбінами, на гідроелектростанціях - гідротурбінами. Теплові електростанції розташовують поблизу джерел палива (вугілля, торф). Гідровисхідні електростанції будують на річках, використовуючи натиск води. У містах розміщують теплоелектроцентралі (ТЕЦ), призначення яких, вироблення електричної енергії і постачання тепловою енергією прилеглих районів міста.

Сучасні атомні електростанції (АЕС) по суті є тепловими, в яких котел замінений ядерним реактором і парогенератором.

До електростанцій невеликої потужності відносяться дизельні електростанції, генератори яких приводяться в дію дизелями. Такі електростанції вмонтовують в невеликих міських селищах, в сільській місцевості, а також виконують пересувними (ПЕС) для потреб будівництва.

На мал. 15.1 показані схеми електропостачання. Генератори електростанції виробляють електроенергію напругою 6, 10 або 15 кВ. При такій напрузі передавати електроенергію на велику відстань (більше 4-6 км) недоцільно, оскільки падіння напруги і втрати електроенергії в лініях перевищать допустимі норми. Справа в тому, що, проходячи по лініях електропередачі, струм нагріває їх. Відповідно до закону Джоуля — Ленца, енергія, що витрачається на нагрівання проводів лінії, визначається формулою:  $Q=I^2Rt$ , де  $R$  — опір лінії

При великій довжині лінії передача енергії може стати взагалі економічно не вигідною. Для зменшення втрат можна, звичайно, йти по шляху зменшення опору  $R$  лінії за допомогою збільшення площі поперечного перерізу проводів. Але для зменшення  $R$ , приміром, у 100 разів потрібно збільшити масу проводу також у 100 разів. Зрозуміло, що не можна допустити такої великої витрати дорогого кольорового металу, не говорячи вже про труднощі закріплення важких проводів на високих щоглах і т.п. Тому втрати енергії в лінії знижують іншим шляхом: зменшенням струму в лінії. Наприклад, зменшення струму в 10 разів зменшує кількість тепла, що виділилося в провідниках, у 100 разів, тобто досягається той же ефект, що і від сторазового обваження проводу.

$$P = \frac{A}{\Delta t} = IU = I^2R = \frac{U^2}{R}$$

Тому що потужність струму пропорційна добутку сили струму на напругу, то для збереження переданої потужності потрібно підвищити напругу в лінії передачі. Причому, чим довша лінія передачі, тим вигідніше використовувати більш високу напругу.

Тому при електростанціях будують підвищувальні силові трансформатори, які підвищують напругу до розрахункової (35, 110, 150, 220, 330-500, 750 кВ), і при цій напрузі електроенергія передається на великі відстані. На електричних понижувальних підстанціях

за межами міста напруга понижується до 110-35 кВ. На електричних понижувальних підстанціях, розташованих в межах міста, напруга знижується до 6-10 кВ. Понижувальна підстанція зазвичай складається з двох частин: відкритої частини напругою 110-35 кВ і закритої частини, в якій є розподільний пристрій напругою 6-10 кВ. Від трансформаторних підстанцій безпосередньо до споживачів відходять повітряні лінії або розподільні кабелі напругою до 1000 В. Ці кабелі прокладені до ввідних розподільних пристроїв (вводів) або розподільних щитів, що знаходяться в будівлях споживачів. Від вводів або розподільних щитів в будинках прокладені магістралі (стояки), від яких у свою чергу відходять відпаювання по квартирах.

***Центром живлення (ЦП) є розподільний пристрій генераторної напруги електростанції або розподільний пристрій вторинної напруги понижувальної підстанції енергосистеми, що має пристрій для регулювання напруги, до якої приєднані електричні мережі даного району.***

Живлячі кабельні лінії можуть бути прокладені від центру живлення не тільки в розподільний пункт, де немає трансформаторів, але і в головні понижувальні підстанції заводів, де електроенергія розподіляється по розподільних кабельних лініях і перетворюється за допомогою силових трансформаторів в електроенергію напругою до 1000 В. В цьому випадку на головній понижувальній підстанції заводу встановлюють силові трансформатори і розподільний щит напругою до 1000 В від якого електроенергія по кабельних лініях передається безпосередньо в цехи і далі до електроприймачів.

***Міська електрична мережа - це електрична мережа, розташована на території даного міста і сукупність живлячих ліній від центрів живлення, розподільних пунктів і трансформаторних підстанцій, розподільних ліній напругою 6-10 кВ і до 1000 В і ввідних пристроїв у споживачів.***

#### **Влаштування та робота електричних станцій та підстанцій.**

***Залежно від виду використовуваних енергоносіїв сучасні електричні станції діляться на теплові, атомні, гідравлічні, вітряні, сонячні, геотермічні і ін. Найширше поширені теплові (ТЕС) і гідравлічні (ГЕС) станції.***

**Тепловими** називають такі електростанції, де теплову і електричну енергію отримують завдяки спалюванню в топках котлів або самих двигунах твердого, рідкого або газоподібного палива. Тому розрізняють електростанції вугільні (де спалюють кускове або перероблене у вугільний пил вугілля), торф'яні, сланцеві, дизельні, такі, що працюють на рідкому паливі, а також електростанції, де в топках котлів спалюється мазут або газ, і газотурбінні, де газ згорає не в топках котлів, а в турбіні.

Серед теплових значну частину складають конденсаційні електростанції (КЕС),

призначені в основному для вироблення тільки електричної енергії і постачання нею споживачів. На них широко застосовують агрегати з одиничними потужностями 200, 300, 500, 800 МВт і більш. Коефіцієнт корисної дії (ККД) сучасних КЕС досягає 40-42%. Серед теплових станцій вони є найбільш потужними (2400-4800 МВт і вище).

Наступною значною групою серед теплових станцій є теплоелектроцентралі (ТЕЦ), які призначені для комбінованого вироблення теплової (пари і гарячої води) і електричної енергії. Комбіноване вироблення енергії підвищує ККД сучасних ТЕЦ до 65-70%.

Схема технологічного процесу **теплової конденсаційної електростанції (КЕС)** показана на мал. 15.2. Вона, зокрема, дає уявлення про власні потреби теплових електростанцій, що працюють на вугільному пилу.

Кускове вугілля через стрічкові транспортери і вугільні склади поступає в бункер, зважується на вагах для подальшого визначення питомих витрат умовного палива (на вироблений кіловат), а потім потрапляє в млин (куди підводиться гаряче повітря), де розмелюється і остаточно підсушується. Звідси вугільний пил виноситься в сепаратор, в якому звільняється від недостатньо розмолотих крупних частинок вугілля. Пилеповітряна суміш з сепаратора поступає в циклон, де відбувається відділення пилу від газів.

Отримане таким чином пилоподібне паливо подається живильниками пилу (шнеками) в пальники котельного агрегату, розпилюється і згорає в топці. У топку казана подається підігріте повітря. Випавші шлаки видаляються багерним насосом, а зола, що знаходиться у відпрацьованих газах в зваженому стані, уловлюється і віддаляється золоуловлювачем. Для створення тяги в топці і викиду відпрацьованих газів служать димосос і димар.

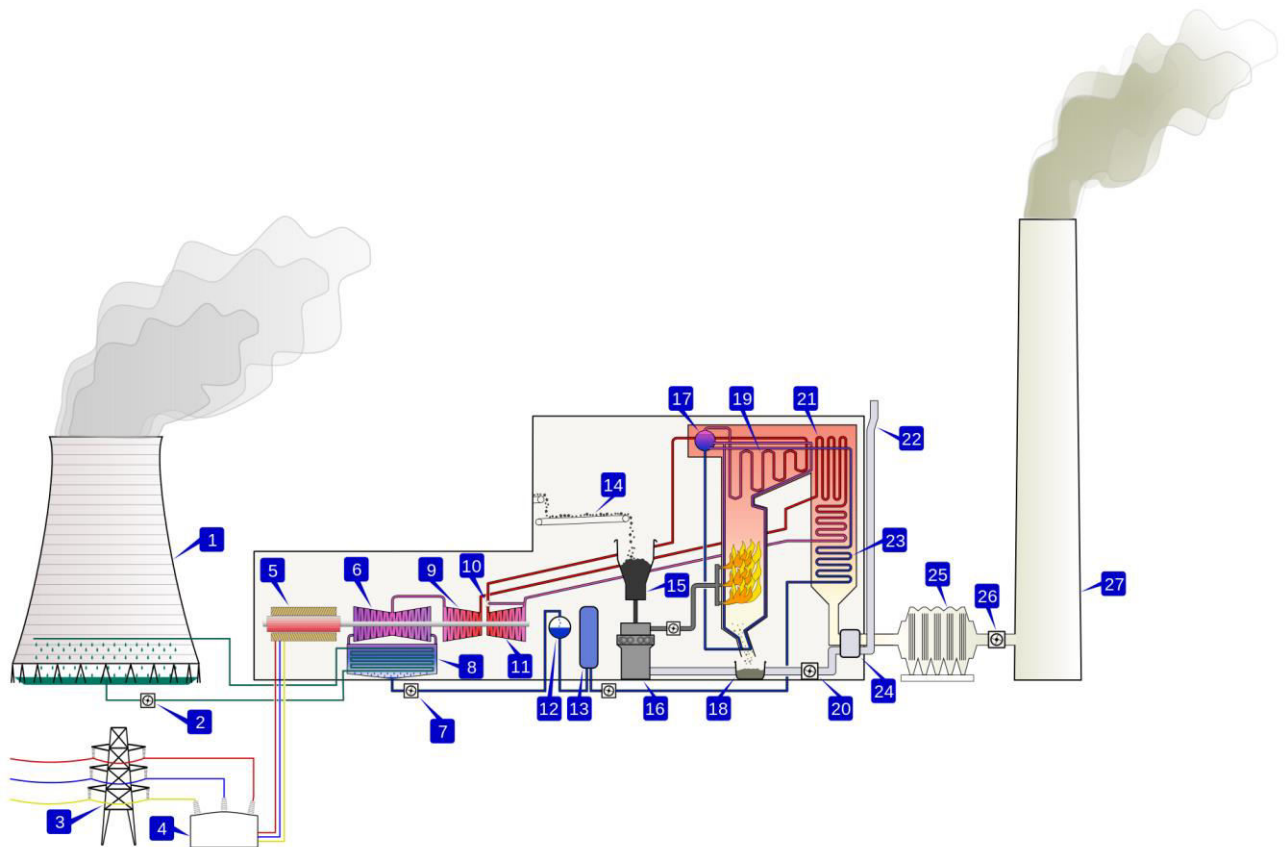
Отримана в котельному агрегаті пара поступає в турбіну, яка приводить в дію генератор. Відпрацьована в турбіні пара поступає в конденсатор, в якому створюється вакуум, пара охолоджується і перетворюється на воду (конденсат). Тепловідведення від конденсатора здійснюється водою, яка охолоджується в градирні. Конденсат подається конденсаторним насосом в деаератор, де очищається від кисню і інших газів, а потім живильним насосом в котел. Таким чином створюється постійний замкнутий пароводяний цикл. Втрати пари і теплої води заповнюються очищеною в хімоводоочистці водою.

**ТЕЦ** конструктивно влаштована як конденсаційна електростанція (КЕС). Головна відмінність ТЕЦ від КЕС полягає в можливості відібрати частину теплової енергії пари, після того, як він виробить електричну енергію. Залежно від вигляду парової турбіни, існують різні відбори пари, які дозволяють забирати з неї пару з різними параметрами. Турбіни ТЕЦ дозволяють регулювати кількість відібраної пари. Відібрана пара конденсується в мережевих підігрівачах і передає свою енергію мережевій воді, яка прямує на пікові водонагрівальні котельні і теплові пункти. На ТЕЦ є можливість перекидати теплові відбори пари, в цьому випадку ТЕЦ стає звичайною КЕС. Це дає можливість працювати ТЕЦ по двох графіках

навантаження:

тепловому - електричне навантаження сильно залежить від теплового навантаження (теплове навантаження - пріоритет)

електричному - електричне навантаження не залежить від теплового, або теплове навантаження зовсім відсутнє, наприклад, в літній період (пріоритет - електричне навантаження).

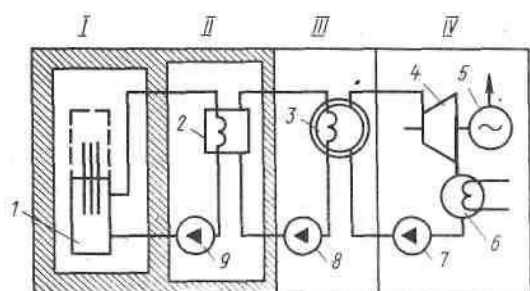


*Мал. 15.2. Схема КЕС на вугіллі: 1 - градирня; 2 - циркуляційний насос; 3 - лінія електропередачі; 4 - підвищувальний трансформатор; 5 - турбогенератор; 6 - циліндр низького тиску парової турбіни; 7 - конденсаторний насос; 8 - поверхневий конденсатор; 9 - циліндр середнього тиску парової турбіни; 10 - стопорний клапан; 11 - циліндр високого тиску парової турбіни; 12 - деаератор; 13 - регенеративний підігрівач; 14 - транспортер паливоподачі; 15 - бункер вугілля; 16 - млин вугілля; 17 - барабан котлів; 18 - система шлаковидалення; 19 - пароперегрівач; 20 - дуттєвий вентилятор; 21 - проміжний пароперегрівач; 22 - повітрязабірник; 23 - економайзер; 24 - регенеративний повітряпідігрівач; 25 - фільтр; 26 - димосос; 27 - димар.*

**Атомні електростанції (АЕС)** — електростанція, в якій атомна (ядерна) енергія перетворюється в електричну. Генератором енергії на АЕС є атомний реактор. Тепло, яке виділяється в реакторі в результаті ланцюгової реакції ділення ядер деяких важких елементів, потім так само, як і на звичайних теплових електростанціях (ТЕС), перетворюється в електроенергію. На відміну від теплоелектростанцій, що працюють на органічному паливі, АЕС працює на ядерному пальному (в основному [<sup>233</sup>U](#), [<sup>235</sup>U](#), [<sup>239</sup>Pu](#)). Пристрій, в якому

відбувається процес ділення ядер з виділенням теплоти, називають атомним реактором. На АЕС застосовують декілька видів реакторів: водоводяні енергетичні ВВЕР-440, ВВЕР-1000, РБМК-1500, а також на швидких нейтронах.

Схема атомної електростанції показана на мал. 15.3. Для регулювання швидкості процесу виділення теплоти (його уповільнення) в атомних реакторах застосовують графітові стрижні. Теплота, що виділяється при отриманні ядерної енергії, передається в реакторі 1



**Мал. 15.3. Схема атомної електростанції:**

1 - реактор, 2-проміжний теплообмінник, 3 - парогенератор, 4 - парова турбіна, 5 - турбогенератор, 6 - конденсатор, 7, 9 - живильний і реакторний насоси, 8 - насос проміжного теплоносія; I, II, III, IV - приміщення ядерного реактора, проміжного теплообмінника, парогенератора і турбогенератора

джерелами радіоактивного випромінювання, небезпечного для життя.

На атомних станціях є три зони: перша - необслуговувана (реактор, приміщення I); друга - напівобслуговувана (обмеженого обслуговування - нагляду, приміщення II); третя - постійного обслуговування (приміщення III і IV).

Для захисту обслуговуючого персоналу від опромінювання необхідна ізоляція особливо небезпечних приміщень, їх вентиляція, очищення повітря і води, що видаляються з АЕС, витягання і локалізація радіоактивних забруднень, повсюдна дозиметрична перевірка радіоактивності середовища.

Для видалення і поховання радіоактивних відходів використовують спеціальні герметичні ємності з подвійними стінками і відповідною сигналізацією при порушенні герметичності. Всі процеси на АЕС автоматизовані.

Робота **гідралічних станцій (ГЕС)** заснована на використанні водної енергії. За течією річок на окремих ділянках створюють за допомогою дамб необхідні натиски і запаси води (водосховища), що дозволяє спорудити в цих місцях ряд (каскад) гідроелектростанцій. Натиск створюється в результаті різниці рівнів верхнього і нижнього б'єфів і використовується для приводу в дію гідротурбіни.

Гідроелектростанції мають ряд переваг перед тепловими станціями: їх можна повністю автоматизувати, КПД гідроелектростанцій складає 70-80%, обслуговування вимагає незначної



кількості персоналу. Проте для будівництва ГЕС необхідні великі капітальні вкладення.



*Мал. 15.4. Хмельницька АЕС, м. Нетішин*

Серед нових джерел енергії заслуговують уваги ресурси глибинного тепла землі. Циркулюючі на великих глибинах нагріті до  $100^{\circ}\text{C}$  і вище термальні води можуть бути виведені на поверхню землі при надглибокому бурінні.

Крім того, в даний час ведуть підготовчі роботи по використанню енергії приливів.

З метою підвищення КПД електричних станцій створюють магнітогідродинамічні генератори (МГД-генератори), в яких здійснюється пряме перетворення теплової енергії в електричну; при русі в магнітному полі провідного (газоподібного) середовища в ній індукується постійний електричний струм, який перетворюється в трифазний змінний і передається звичайним способом споживачеві.

Досить значного поширення набувають сонячні та вітрові енергоустановки, які останнім часом використовуються не тільки в промисловості, а й для окремих споживачів.

Для прийому електроенергії, що виробляється електростанціями, її перетворення і електропостачання споживачів, передачі електроенергії з одного енергорайону в інший служать електричні мережі і їх підстанції. Залежно від характеру споживачів, їх розміщення та потужності електростанції в даному районі, конфігурації, довжини і напруги електричних



мереж, атмосферних і інших умов електричні підстанції мають різне призначення, і різноманітне устаткування.



*Мал. 15.5. Дніпрогес, м. Запоріжжя*

Підстанції розрізняють: підвищувальні (для передачі з електростанцій в мережу електроенергії вищої напруги); понижуючі (для енергопостачання споживачів); транзитні (для передачі енергії в суміжні ділянки мережі та інші енергосистеми); перетворювальні (для перетворення змінного струму генераторів і передачі по повітряних або кабельних лініях електричної потужності на постійному струмі); тягові (для електроживлення мереж електротяги); районні (що належать енергосистемі) або споживчі. Підстанції виконуються на всю стандартизовану напругу (від 6 до 750 кВ) і можуть бути відкритими і закритими (у містах, в місцях з незадовільними умовами навколишнього середовища), з синхронними компенсаторами і без них. Коротка характеристика деяких підстанцій приведена нижче:

- підстанції змінного струму з вищою напругою 330, 500, 750 кВ і більше, розвиненою схемою електричних з'єднань, оснащені синхронними компенсаторами 50-100 тис. кВ\*А і вище, з водневим і рідинним охолодженням, збудженням тиристора, значним трансформаторним (автотрансформаторним) господарством, великим числом повітряних

вимикачів і іншої високовольтної апаратури, розміщуються на великих площах і вимагають присутності постійного чергового персоналу високої кваліфікації і широко розвиненій дистанційній і телемеханічній інформації, що дозволяє диспетчерові і місцевому персоналу нормально вести експлуатацію; через ці підстанції, що мають транзитне значення, проходять міжсистемні зв'язки, створюючи об'єднані і Єдину енергосистему;

- підстанції постійного струму з вищою напругою 800 кВ, великою кількістю складного, такого, що вимагає безперервного нагляду за роботою, випрямного і інверторного устаткування, поки нечисленні;

- закриті підстанції глибокого введення з вищою напругою 110-220 кВ, складною схемою електричних з'єднань, будівництво яких здійснюється в густонаселених районах крупних міст, де зосереджені значні комунально-побутові і промислові навантаження (їм можуть бути виділені тільки обмежені площі), вимагають присутності постійного чергового персоналу і вживання необхідних заходів по огорожі населення від шуму, що створюється працюючими трансформаторами і іншим устаткуванням;

- підстанції 35, 110, частково 220 кВ із спрощеною схемою електричних з'єднань, комплектними розподільними пристроями 6-10 кВ (КРУ і КРУН), часто без вимикачів на вищій стороні, з апаратурою управління, захисту, сигналізації і автоматики, що працює на оперативному змінному і випрямленому струмі і не вимагає спеціального щитового приміщення, не потребують постійного чергового персоналу і обслуговуються виїзними бригадами або черговими вдома (для полегшення їх обслуговування і здійснення диспетчерського контролю підстанції оснащують відповідними пристроями зв'язку і телемеханіки);

- підстанції 6-10 кВ міського, районного і сільського призначення обслуговуються по графіку виїзними бригадами.