

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет будівництва,
транспорту та енергетики

Кафедра електротехнічних
систем та енергетичного
менеджменту

**ОСОБЛИВОСТІ ТА НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ
СУЧАСНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ**

*методичні рекомендації до виконання практичних робіт
для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі
спеціальності G3 «Електрична інженерія»*

Кропивницький
2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет будівництва,
транспорту та енергетики

Кафедра електротехнічних
систем та енергетичного
менеджменту

**ОСОБЛИВОСТІ ТА НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ
СУЧАСНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ**

*методичні рекомендації до виконання практичних робіт
для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі
спеціальності G3 «Електрична інженерія»*

Затверджено
на засіданні кафедри
електротехнічних систем та
енергетичного менеджменту
Протокол № 1 від 27.08.2025 р.

Кропивницький
2025

Особливості та напрямки розвитку сучасної енергетики України: методичні рекомендації до виконання практичних робіт для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності G3 «Електрична інженерія» / [уклад.: Л.Г. Віхрова, В.В. Зінзура, М.С.Мірошніченко], Центральноукр. нац. техн. ун-т. – Кропивницький: ЦНТУ, 2023 – 55 с.

Укладачі: Л.Г. Віхрова – проф., к.т.н., проф. каф. ЕТС та ЕМ,
В.В. Зінзура – доц., к.т.н., доц. каф. ЕТС та ЕМ,
М.С. Мірошніченко - доц, к.т.н., доц.каф. АВП

Рецензент: Ю.М. Пархоменко – доцент, к.т.н., доц. каф. АВП

© Віхрова Л.Г., Зінзура В.В.,
Мірошніченко М.С., 2025
© Центральноукраїнський
національний технічний університет,
2025

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1. ПРАКТИЧНА РОБОТА № 1. Технологія виробництва електричної енергії на теплових електростанціях.....	6
2. ПРАКТИЧНА РОБОТА № 2. Технологія виробництва електричної енергії на гідроелектростанціях.....	13
3. ПРАКТИЧНА РОБОТА № 3. Технологія виробництва електричної енергії на атомних станціях	23
4. ПРАКТИЧНА РОБОТА № 4. Альтернативні технології виробництва електричної енергії	44
ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	54

ВСТУП

Під час підготовки бакалаврів чільне місце посідають освітні компоненти, які дозволяють інтегрувати освітній процес із елементами проектування систем та окремих компонентів в електроенергетиці. Таким освітнім компонентом є дисципліна «Особливості та напрямки розвитку сучасної енергетики України», яка входить до циклу обов'язкових освітніх компонентів циклу професійної підготовки.

Зміст освітньої компоненти «Особливості та напрямки розвитку сучасної енергетики України» містить: основні поняття та принципи виробництва електроенергії; розвиток енергетики в Україні та світі, ознайомлення з принципами роботи електростанцій різного типу, шляхами підвищення їх коефіцієнту корисної дії, з заходами зниження негативного впливу енергетичних об'єктів на навколишнє середовище та людину, новітніми досягненнями в галузі нетрадиційної та поновлювальної енергетики, повітряними та кабельними лініями передачі електричної енергії.

Навчальною програмою освітньої компоненти передбачено проведення практичних робіт, основна мета яких полягає у комплексному застосуванні набутих на лекційних заняттях теоретичних знань. Під час занять здобувачі освіти повинні опанувати основні принципи роботи електростанцій різного типу та передачі енергії на відстань.

Виконання завдань з навчальної дисципліни «Особливості та напрямки розвитку сучасної енергетики України» передбачає створення у здобувачів освіти навичок виконання самостійного наукового дослідження при проектуванні систем електроенергетики та підготувати до виконання випускної кваліфікаційної роботи.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 1

Технологія виробництва електричної енергії на теплових електростанціях

Мета роботи: розглянути класифікацію теплових електростанцій, основне обладнання, технологічну схему.

Теоретичні відомості

Класифікація теплових електростанцій

Залежно від типу силової установки електростанції з тепловою установкою теплові електростанції (ТЕС) поділяються на:

- котлотурбінні електростанції;
- конденсаційні електростанції (КЕС, ГРЕС);
- теплоелектроцентралі (теплофікаційні електростанції, ТЕЦ);
- газотурбінні електростанції;
- міні ТЕЦ;
- газопоршневі електростанції;
- електростанції дизельні;
- електростанції бензинові;
- електростанції на базі парогазових і газових установок.

Обладнання теплової електростанції

На схемі, представленій на рис. 1.1, відображено основне устаткування теплової електричної станції та взаємозв'язок її систем. За цією схемою можна простежити загальну послідовність технологічних процесів, що протікають на ТЕС.

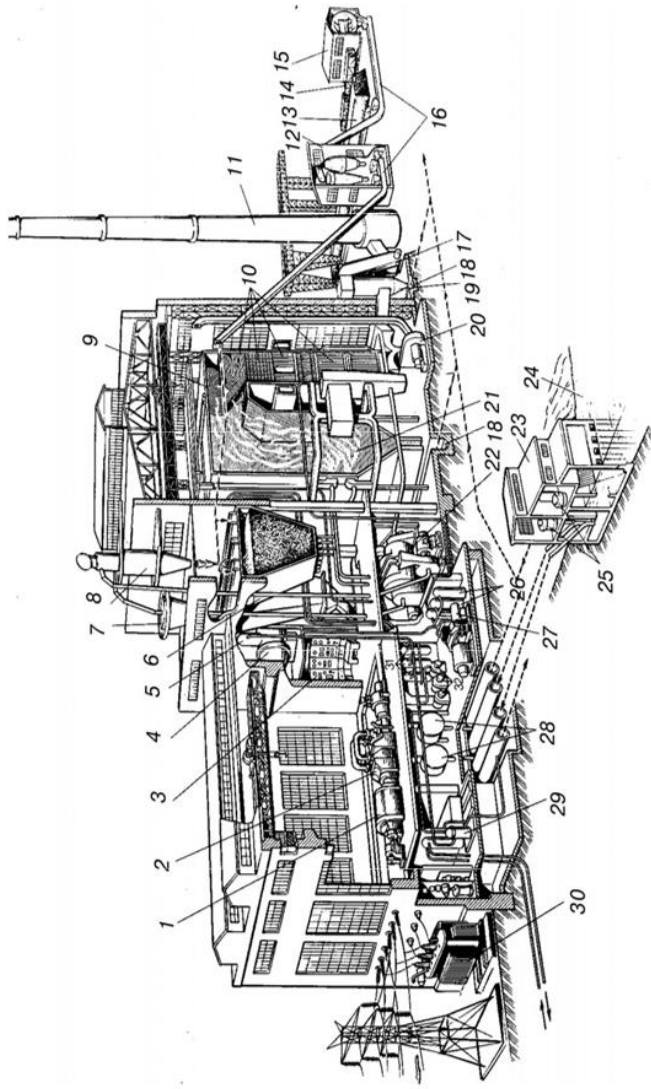


Рис.1.1. Принципова схема теплової електричної станції (ТЭС / ТЕС):

- 1 – електричний генератор; 2 – парова турбіна, 3 – пульта управління; 4 – димар; 5 і 6 – бункери; 7 – сепаратор;
- 8 – цикл он; 9 – котел; 10 – поверхня нагріву (теплообмінник); 11 – димова труба; 12 – дробильне приміщення;
- 13 – склад резервного палива; 14 – вагон; 15 – розвантажувальний пристрій; 16 – конвеєр; 17 – димосос; 18 – канал;
- 19 – золотовловлювач; 20 – вентилятор; 21 – топка; 22 – млин; 23 – насосна станція; 24 – джерело води; 25 – циркуляційний насос; 26 – регенеративний підігрівач високого тиску; 27 – живильний насос; 28 – конденсатор; 29 – установка хімічної очистки води; 30 – підвищувальний трансформатор; 31 – регенеративний підігрівач низького тиску; 32 – конденсатний насос.

Технологічна схема теплової електростанції

На рис. 1.2 наведено технологічну схему теплової електричної станції

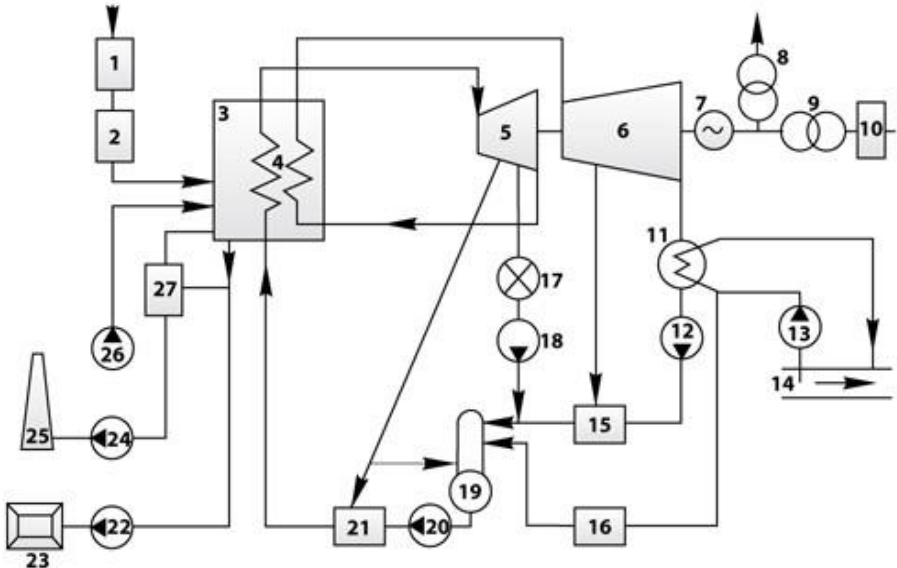


Рис. 1.2. Технологічна схема теплової електричної станції:

1 – паливне господарство; 2 – підготовка палива; 3 – котел; 4 – проміжний пароперегрівач; 5 – частина високого тиску парової турбіни (ЧВТ або ЦВТ); 6 – частина низького тиску парової турбіни (ЧНТ або ЦНТ); 7 – електричний генератор; 8 – трансформатор власних потреб; 9 – трансформатор зв'язку; 10 – головний розподільний пристрій; 11 – конденсатор; 12 – конденсатний насос; 13 – циркуляційний насос; 14 – джерело водопостачання (наприклад, річка); 15 – підігрівач низького тиску (ПНТ); 16 – водопідготовка установка (ВПУ); 17 – споживач теплової енергії; 18 – насос зворотного конденсату; 19 – деаератор; 20 – живильний насос; 21 – підігрівач високого тиску (ПВТ); 22 – шлакозоловидалення; 23 – золовідвал; 24 – димосос (ДС); 25 – димова труба; 26 – дуттьовий вентилятор (ДВ); 27 – зололовлювач.

Опис технологічної схеми ТЕС

Виходячи з рис. 1.1, 1.2, отримуємо у складі теплової електростанції таке основне обладнання (системи):

- паливне господарство і система підготовки палива;
- котельна установка: сукупність самого котла і допоміжного обладнання;
- турбінна установка: парова турбіна та її допоміжне обладнання;
- установка водопідготовки та конденсатоочищення;
- система технічного водопостачання;
- система золошлаковидалення (для ТЕС, що працюють на твердому паливі);
- електротехнічне обладнання та система управління електроустановками.

Паливне господарство, залежно від виду використаного на станції палива включає: приймально-розвантажувальний пристрій, транспортні механізми, паливні склади твердого та рідкого палива, пристрої для попередньої підготовки палива (дробильні установки для вугілля). До складу мазутного господарства входять також насоси для перекачування мазуту, підігрівачі мазуту, фільтри.

Підготовка твердого палива до спалювання складається з розмелювання і сушіння його в пилоприготувальній установці, а підготовка мазуту полягає в його підігріві, очистці від механічних домішок, іноді в обробці спецприсадками. З газовим паливом все простіше. Підготовка газового палива зводиться в основному до регулювання тиску газу перед горілками котла.

Необхідне для горіння палива повітря подається в топковий простір котла дуттьовими вентиляторами (ДВ). Продукти згорання палива – димові гази – відсмоктуються димососами (ДС) і відводяться через димові труби в атмосферу. Сукупність каналів (повітроводів і газоходів) і різних елементів обладнання, по яких проходить повітря та димові гази, утворює газоповітряний тракт теплової електростанції; димососи, димова труба і дуттьові вентилятори складають тягодуттьові установки. У зоні горіння палива, що входять до його складу негорючі (мінеральні) домішки, зазнають хіміко-фізичні перетворення і видаляються з котла частково у вигляді шлаку. Значна їх частина виноситься димовими

газами у вигляді дрібних частинок золи. Для захисту атмосферного повітря від викидів золи перед димососами встановлюють золоуловлювачі. Шлак і вловлена зола видаляються зазвичай гідравлічним способом на золовідвали. При спалюванні мазуту і газу золоуловлювачі не встановлюються. При спалюванні палива хімічно зв'язана енергія перетворюється на теплову. В результаті утворюються продукти згоряння, які в поверхнях нагріву котла віддають теплоту воді і створеному з неї пару. Сукупність обладнання, окремих його елементів, трубопроводів, по яких рухаються вода і пар, утворюють пароводяний тракт станції.

У котлі вода нагрівається до температури насичення і випаровується, а утворений з киплячої води котла насичений пар перегрівається. З котла перегріта пара направляється по трубопроводах в турбіну, де його теплова енергія перетворюється в механічну, передану на вал турбіни. Відпрацьована в турбіні пара надходить у конденсатор, віддає теплоту охолоджуючій воді і конденсується.

На сучасних ТЕС і ТЕЦ з агрегатами одиничною потужністю 200 МВт і вище застосовують проміжний перегрів пари. У цьому випадку турбіна має дві частини: частина високого і частина низького тиску. Відпрацьовавши у частині високого тиску турбіни пар направляється в проміжний перегрівач, де до нього додатково підводиться теплота. Далі пара повертається в турбіну (в частину низького тиску) і з неї надходить в конденсатор. Проміжний перегрів пари збільшує ККД турбінної установки і підвищує надійність її роботи.

З конденсатора конденсат відкачується конденсаційним насосом і, пройшовши через підігрівачі низького тиску (ПНТ), надходить в деаератор. Тут він нагрівається парою до температури насичення, при цьому з нього відокремлюються і видаляються в атмосферу кисень і вуглекислота для запобігання корозії обладнання. Деаерована вода, названа живильною, насосом подається через підігрівачі високого тиску (ПВТ) в котел.

Конденсат в ПНТ і деаераторі, а також живильна вода в ПВТ підігрівається паром, що відбирається з турбіни. Такий спосіб

підігріву означає повернення (регенерацію) теплоти в цикл і називається регенеративним підігрівом. Завдяки йому зменшується надходження пари в конденсатор, а отже, і кількість теплоти, переданої охолоджуючій воді, що призводить до підвищення ККД паротурбінної установки.

Сукупність елементів, що забезпечують конденсатори охолоджувальною водою, називається системою технічного водопостачання. До неї належать: джерело водопостачання (річка, водосховище, баштовий охолоджувач – градирня), циркуляційний насос, підвідні та відвідні водоводи. У конденсатор охолоджуваної воді передається приблизно 55% теплоти пари, що надходить у турбіну; ця частина теплоти не використовується для вироблення електроенергії і марно пропадає.

Ці втрати значно зменшуються, якщо відбирати з турбіни частково відпрацьовану пару і використовувати для технологічних потреб промислових підприємств або підігріву води на опалення та гаряче водопостачання. Таким чином, станція стає теплоелектроцентральною (ТЕЦ), що забезпечує комбіноване вироблення електричної та теплової енергії. На ТЕЦ встановлюються спеціальні турбіни з відбором пари - так звані теплофікаційні. Конденсат пари, відданого тепловому споживачу, повертається на ТЕЦ насосом зворотного конденсату.

На ТЕС існують внутрішні втрати пари і конденсату, обумовлені неповною герметичністю пароводяного тракту, а також безповоротною витратою пари і конденсату на технічні потреби станції. Вони складають приблизно 1 – 1,5% від загальної витрати пари на турбіни. На ТЕЦ можуть бути зовнішні втрати пари і конденсату, пов'язані з відпусткою теплоти промисловим споживачам. У середньому вони становлять 35 – 50%. Внутрішні і зовнішні втрати пари і конденсату поповнюються попередньо обробленою у водопідготовлюючій установці додатковою водою. Таким чином, живильна вода котлів являє собою суміш турбінного конденсату і додаткової води.

Електротехнічне господарство станції включає електричний генератор, трансформатор зв'язку, головний розподільний

пристрій, систему електропостачання власних механізмів електростанції через трансформатор власних потреб.

Система управління здійснює збір та обробку інформації про хід технологічного процесу і стан обладнання, автоматичне і дистанційне управління механізмами, регулювання основних процесів, і автоматичний захист обладнання.

Контрольні питання

1. Класифікація теплових електростанцій.
2. Визначити основне устаткування, що входить до складу теплової електростанції.
3. Що входить до паливного господарства ТЕС?
4. Як відбувається підготовка палива для ТЕС?
5. Що входить до газоповітряного тракту теплової електростанції?
6. Який пристрій встановлюють для захисту атмосферного повітря?
7. Яким способом видаляються шлак і вловлена зола?
8. Які види енергії перетворюються при спалюванні палива?
9. Що входить до пароводяного тракту станції?
10. Які процеси відбуваються у котлі?
11. Які процеси відбуваються у турбіні?
12. Що таке проміжний перегрів пари?
13. Для чого застосовують проміжний перегрів пари?
14. Що таке регенеративний підігрів?
15. Які переваги регенеративного підігріву?
16. Що належить до системи технічного водопостачання?
17. Що забезпечує ТЕЦ?
18. Які турбіни встановлюються на ТЕЦ?
19. Внутрішні втрати пари на ТЕС.
20. Зовнішні втрати пари на ТЕС.
21. Як поповнюються внутрішні та зовнішні втрати пари?
22. Яке обладнання включає в себе електротехнічне господарство ТЕС?

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 2

Технологія виробництва електричної енергії на гідроелектростанціях

Мета роботи: розглянути класифікацію гідравлічних електростанцій, основне обладнання, технологічну схему

Теоретичні відомості

Технологічний процес виробництва електроенергії на гідроелектростанціях (ГЕС)

Термін "гідроенергетика" визначає галузь енергетики, де використовується енергія потоку води, що рухається, яка перетворюється в механічну або, найчастіше, в електричну. Водяними джерелами енергії є також морські хвилі і припливи.

Гідроенергетика – найбільш розвинута галузь енергетики на поновлюваних ресурсах. Важливо відзначити, що відновлюваність гідроенергетичних ресурсів також забезпечується енергією Сонця. Дійсно, ріки являють собою потоки води, що рухаються під дією сили ваги з більш високих на поверхні Землі місць у більш низькі і зрештою, впадають у Світовий океан. Під дією сонячного випромінювання вода випаровується з поверхні Світового океану, пара її піднімається у верхні шари атмосфери, конденсується в хмари і випадає у виді дощу, поповнюючи джерела рік, що виснажуються. Таким чином, енергія рік є перетворена в механічну енергію Сонця.

В силу тих чи інших змін атмосферних умов цей кругообіг може порушитись (ріки міліють чи висихають, виникають повені та ін.). Для виключення цих обставин на ріках перед гідроелектростанціями будують греблі, формуються водоймища, за допомогою яких регулюється постійний напір і витрати води. Умови експлуатації ГЕС (рівномірний режим роботи при відсутності екстремальних температурних і інших навантажень)

сприяють їх багаторічній роботі (50 років і більше). Внаслідок цього вони працюють з високим економічним ефектом і вартість електроенергії досить низька (приблизно 4 центи США за 1 кВт) . Електроенергію, яку вироблюють ГЕС, досить легко регулювати, що важливо при її використанні в енергосистемах з великими коливаннями навантаження.

Сумарна потужність гідравлічних турбін зараз зростає в усьому світі приблизно на 5 % на рік, тобто подвоюється кожні 15 років. Потенційні можливості гідроенергетики найбільш великі в Африці, Китаї і Південній Америці, де оцінюються в $1,5 \cdot 10^6$ МВт. Потужність усіх ГЕС на кінець минулого століття складала приблизно 500 000 МВт, велика частина з яких мала потужність більш 10 МВт.

Проблемами гідроенергетики є: збиток, який наноситься навколишньому середовищу (особливо від затоплення великих площ при створенні водоймищ), заїлювання гребель, корозія гідротурбін і великі капітальні витрати на спорудження в порівнянні з тепловими електростанціями. Тому в цей час перспективним є використання гідроенергетичних ресурсів малих рік без створення штучних водоймищ.

На ГЕС для отримання електроенергії використовується енергія водних потоків. Первинними двигунами на ГЕС є гідротурбіни, які приводять в обертання синхронні генератори. Потужність, що розвивається агрегатом, пропорційна напору H і витраті води Q .

Напір H створюється різницею рівнів води за допомогою греблі (рис. 2.1).

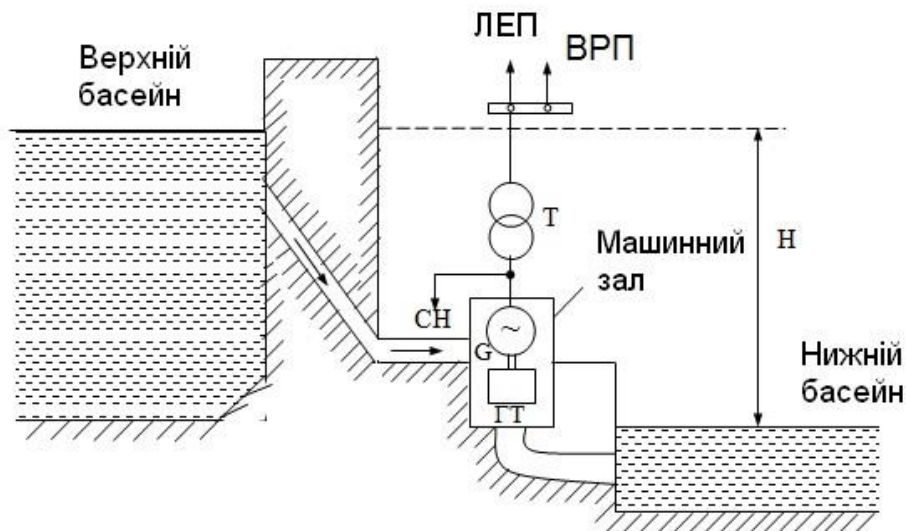


Рис. 2.1. Технологічна схема ГЕС.

В електричній частині ГЕС в чомусь подібні конденсаційним станціям. Зазвичай вони віддалені від центрів споживання енергії, тому електроенергія видається на високих і надвисоких напругах (110-500 кВ).

Відмінна особливість ГЕС - невелике споживання електроенергії на власні потреби, яке в кілька разів менше, ніж на ТЕС. Це пояснюється відсутністю на ГЕС великих механізмів власних потреб.

Інша відмінна особливість – проста технологія виробництва електроенергії, що обумовлює легку автоматизацію. Пуск агрегату ГЕС займає не більше 50 с, тому резерв потужності в енергосистемі забезпечується саме гідроелектростанціями. ККД ГЕС зазвичай становить 85-90%, а собівартість електроенергії в кілька разів менше, ніж на теплових електростанціях.

Особливу роль у сучасних енергосистемах займають гідроакumuлюючі станції (ГАЕС). Ці електростанції мають, як мінімум, два басейни – верхній і нижній з певними перепадами висот між ними. На ГАЕС встановлюються оборотні агрегати. У

години мінімуму навантаження агрегати переводять у руховий режим, а турбіни - у насосний. Споживаючи потужність з мережі, гідроагрегати перекачують воду з нижнього басейну в верхній. У години максимальних навантажень, коли в системі дефіцит потужності, ГАЕС виробляє електроенергію за рахунок перепаду рівнів води в басейнах. У цей період станція працює як звичайна ГЕС. Таким чином, застосування ГАЕС дозволяє вирівнювати графік навантажень енергосистеми, що підвищує економічність гідроелектростанцій.

Класифікація гідротурбін. Основні параметри

Гідротурбіна, гідравлічна турбіна, водяна турбіна - ротаційний двигун, що перетворює механічну енергію води (її енергію положення, тиску і швидкості) в енергію обертового вала. За принципом дії гідротурбіни діляться на активні і реактивні. Основним робочим органом гідротурбіни, в якому відбувається перетворення енергії, є робоче колесо. Вода підводиться до робочого колеса в активних гідротурбінах через сопла, в реактивних – через направляючий апарат. В активній гідротурбіні (рис. 2.2) вода перед робочим колесом і за ним має тиск, рівний атмосферному.

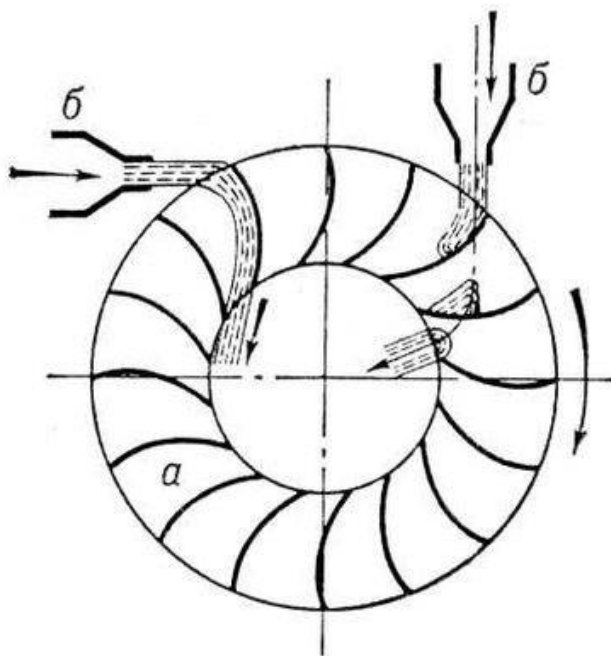


Рис. 2.2. Схема активної гідротурбіни:
а – робоче колесо; б – сопла.

У реактивної гідротурбіні (рис. 2.3) тиск води перед робочим колесом більше атмосферного, а за ним може бути як більше, так і менше атмосферного тиску.

Перша реактивна гідротурбіна, що була винайдена у 1827 французьким інженером Б. Фурнероном, мала на робочому колесі потужність 6 к. с., і через погані енергетичні властивості вже не застосовуються. У 1855 американський інженер Дж. Френсис винайшов радіально-осьове робоче колесо гідротурбіни з неповоротними лопатками, а в 1887 німецький інженер Фінк запропонував направляючий апарат з поворотними лопатками. У 1889 американський інженер А.Пелтон запатентував активно - ковшову гідротурбіну, австрійський інженер В.Каплан в 1920 отримав патент на поворотнолопатні гідротурбіни.

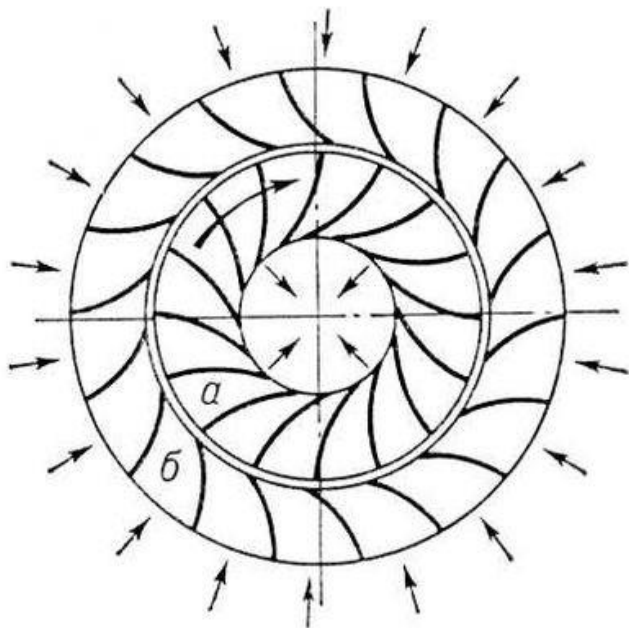


Рис. 2.3 – Схема реактивної гідротурбіни:
а) - робоче колесо; б) - направляючий апарат

Радіально-осьові, поворотнолопатні і ковшові гідротурбіни широко застосовуються для вироблення електричної енергії.

Геометричні розміри гідротурбін характеризуються номінальним діаметром D робочого колеса. Гідротурбіни різних розмірів утворюють турбінну серію, якщо володіють однотипними робочими колесами і геометричними подібними елементами проточної частини. Визначивши необхідні параметри однієї з гідротурбін даної серії, можна підрахувати, користуючись формулами подібності, ті ж параметри для будь-якої гідралічної турбіни цієї серії. Кожну турбінну серію характеризує коефіцієнт швидкохідності, чисельно рівний частоті обертання валу гідротурбіни, розвиваючої при напорі 1 м потужність 0,7355 квт (1 к.с.). Чим більше цей коефіцієнт, тим більше частота обертання валу при заданих напорі та потужності. Гідротурбіни та

електричний генератор обходяться дешевше при збільшенні частоти їх обертання, тому прагнуть будувати гідротурбіни з можливо великим коефіцієнтом швидкохідності. Проте, в реактивних гідротурбінах цьому перешкоджає явище кавітації, що викликає вібрацію агрегату, зниження ККД і руйнування матеріалу гідротурбіни.

Характеристики гідравлічних турбін

Графіки залежності величин, що характеризують гідротурбіни, називаються турбінними характеристиками. На рис. 2.4 представлені характеристики гідротурбіни при постійному напорі і частоті обертання колеса, але при різних навантаженнях і витраті води.

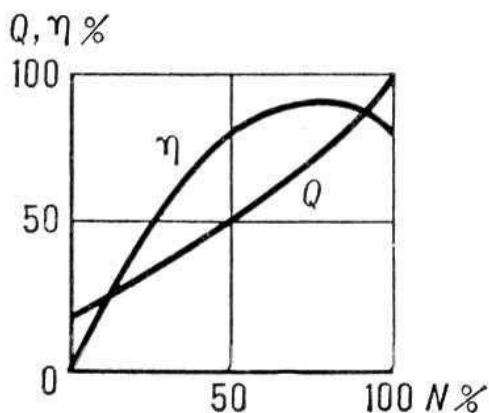


Рис. 2.4. Характеристики гідротурбіни при постійному напорі і частоті обертання колеса:

h – ККД; Q – витрата води; N – навантаження гідротурбіни

У реальних умовах гідротурбіни працюють при мінливому напорі; їх поведінка в цьому випадку зображується універсальними характеристиками для моделі і експлуатаційними характеристиками – для натурної гідротурбіни. Універсальні

характеристики будуються на підставі лабораторних досліджень моделі, проточна частина якої геометрично подібна до натурної.

Основні характеристики гідроелектростанцій

Енергетичні характеристики гідроагрегату залежать від ряду факторів, пов'язаних зі станом проточної частини гідротурбіни, а також водопідвідного і водовідвідного трактів, а для поворотно-лопатевої гідротурбіни - також і зі станом комбінаторного зв'язку. У силу мінливості у часі цих факторів енергетичні характеристики можуть змінюватися в період експлуатації. Тому вводиться поняття про нормативні енергетичні характеристики, які відповідають нормальному стану проточної частини гідротурбіни за відсутності руйнувань лопатної системи і камери робочого колеса, відсутності руйнувань і сторонніх предметів (сміття) у водопідвідних і водовідвідних трактах та оптимальної комбінаторної залежності поворотно-лопатевої гідротурбіни, а також сталому режиму роботи гідроелектростанції.

Наявність тих чи інших відхилень від нормальних умов може бути враховано у вигляді виправних коефіцієнтів, що знижують коефіцієнт корисної дії (ККД) гідроагрегату у порівнянні з нормативним значенням. Для обліку різних експлуатаційних факторів вводиться поняття розрахункового значення питомої витрати води, яке може бути використане для оцінки економічності роботи ГЕС.

До складу нормативних енергетичних характеристик включаються такі:

- експлуатаційні характеристики гідроагрегату та ГЕС;
- витратно-потужні характеристики гідроагрегату;
- характеристики питомих витрат води.

Експлуатаційні характеристики призначені для представлення величини ККД гідроагрегату (або ГЕС) у робочому діапазоні зміни навантажень і напорів при дотриманні заданих обмежень по висотах відсмоктування.

Витратно-потужнісні характеристики гідроагрегату призначені для визначення витрати води через гідротурбину залежно від навантаження агрегату та чинного напору. Характеристика питомих витрат води призначена для визначення ефективності використання енергоносія (води) в залежності від навантаження ГЕС при заданих горизонтах води у верхньому б'єфі ГЕС.

Класифікація гідротурбін наведена на рис. 2.5.

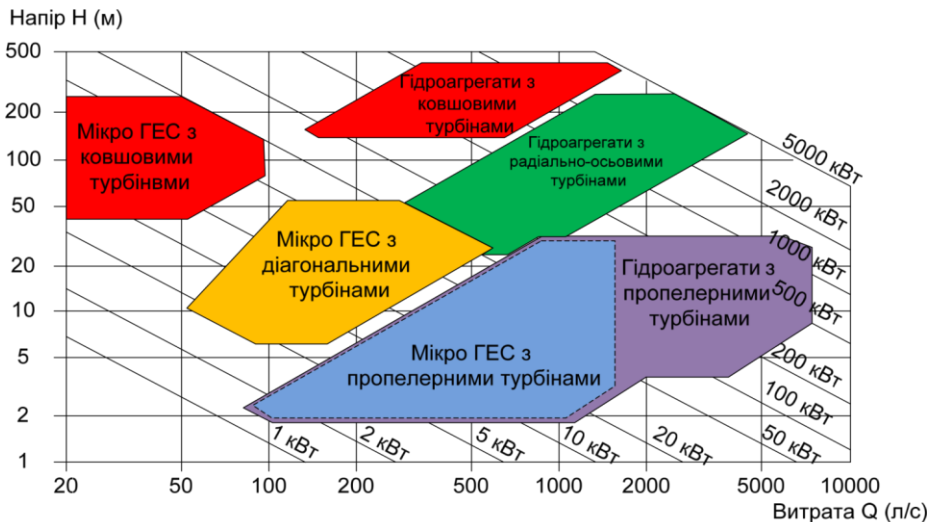


Рис. 2.5. Класифікація гідротурбін

Контрольні питання

1. Поняття гідроенергетики.
2. Умови експлуатації ГЕС.
3. Переваги гідроенергетики.
4. Перспективи розвитку гідроенергетики.
5. Недоліки гідроенергетики.
6. Від чого залежить потужність гідроагрегату?
7. Як створюється напір?

8. Електроенергія якої напруги відводиться від ГЕС?
9. Які відмітні особливості ГЕС?
10. Яка ККД ГЕС?
11. Гідроакумулюючі станції – ГАЕС.
12. Для чого використовують ГАЕС?
13. Принцип дії гідротурбіни.
14. На які види за принципом дії поділяються гідротурбіни ?
15. Активні та реактивні гідротурбіни.
16. Назвати основні тенденції розвитку гідротурбін.
17. Яким основним параметром характеризуються геометричні розміри гідротурбін?
18. Що таке турбінна серія?
19. Який параметр характеризує турбінну серію?
20. Що таке турбінні характеристики?
21. Які характеристики гідротурбін використовують у реальних умовах?
22. Як будуються універсальні характеристики гідротурбін?
23. Від яких факторів залежать енергетичні характеристики гідроагрегату?
24. Що таке нормативні енергетичні характеристики?
25. Як враховують відхилення від нормальних умов роботи гідротурбін?
26. Які характеристики входять до складу нормативних енергетичних?
27. Для чого призначені експлуатаційні характеристики?
28. Для чого призначені витратно-потужні характеристики гідроагрегату?
29. Для чого призначені характеристики питомих витрат води?
30. Класифікація гідротурбін.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 3

Технологія виробництва електричної енергії на атомних електричних станціях

Мета роботи: розглянути класифікацію атомних електростанцій, основні параметри ядерних реакторів, принципові схеми

Теоретичні відомості

Класифікація за принципом дії. Основні параметри ядерних реакторів

Ядерним реактором зветься пристрій, в якому йде регульований процес ділення ядер з перетворенням вивільненої енергії в теплоту.

Будова ядерних реакторів стала можливою після відкриття у кінці 30-х років ХХ століття різних форм ядерних перетворень, у тому числі реакції ділення урану і торію під впливом нейтронів.

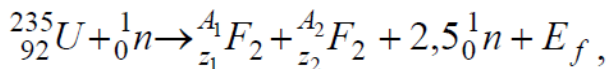
У результаті реакції ділення ядер важких елементів створюються два однойменно заряджених уламка, які становлять з себе ядра нових більш легких атомів. При цьому створюється декілька (два чи три) нових нейтронів, γ квантів, електронів і нейтрино. Так як пробіг уламків малий (близько 10 мкм), то їх енергія перетворюється в теплоту близько від міста ділення. Пробіг нейтронів і γ - квантів складає сотні міліметрів, тому їх енергія перетворюється у теплоту далеко від міста ділення. Нейтрино з речовиною не взаємодіє.

Природний уран має три ізотопи, які відрізняються кількістю нейтронів при одній і тій же кількості протонів, тобто різняться масовим числом. У природній суміші ізотопів відносна кількість їх складає: $^{238}\text{U}=99,28\%$, $^{235}\text{U}=0,714\%$, $^{234}\text{U}=0,006\%$.

Атомне ядро урана-235 менш стійке, ніж інші ізотопи. Під дією одного нейтрона воно розпадається приблизно на два

однакових уламка, наприклад, ядра кріптону і барію. Ці уламки з великими швидкостями розлітаються в різних напрямках. Так як важке ядро урану містить в собі більшу кількість нейтронів, чим потрібно для створення двох менших ядер, то при його розпаді виникає два чи три нових вільних нейтрона. Вони можуть дати початок новим реакціям ділення, а далі почнеться ланцюгова реакція, яка при відсутності управління закінчиться потужним вибухом. Тільки навчившись регулювати цей процес, люди змогли використати ядерну енергію в мирних цілях.

Реакція ділення ядра ${}_{92}^{235}\text{U}$:



де ${}_0^1n$ – символ нейтрона;

F_1, F_2 – символи уламків ділення;

Z_1, Z_2 – атомні номери уламків ділення;

A_1, A_2 – масові числа уламків ділення;

E_f – повна енергія, що виділяється в одному акті ділення.

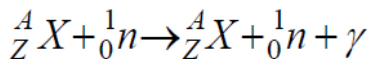
При проектуванні стаціонарних реакторів приймають $E_f = 200$ МеВ, тобто калорійність ядерного палива складає близько $0,8 \cdot 10^{14}$ Дж/кг, що в $2 \cdot 10^6$ раз більше калорійності органічного палива.

При взаємодії нейтронів, крім реакції ділення, відбуваються другі нейтроно-ядерні реакції, які мають велике практичне значення для забезпечення роботи ядерних реакторів:

- реакція пружистого розсіювання, коли зі складеного ядра (ядро плюс нейтрон) вилітає нейтрон з такою енергією, що ядро залишається в початковому енергетичному стані;

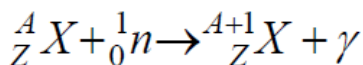
- реакція непружистого розсіювання, коли після попадання в ядро-мішень і вилітає з ядра нового нейтрона з меншою енергією, останнє залишається в збудженому стані.

Перехід ядра-мішень в початковий енергетичний стан здійснюється за рахунок випромінювання γ -кванта.

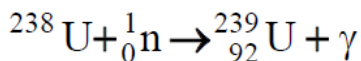


За рахунок співударяння зменшується енергія нейтронів. Можливість ділення ядер повільними (тепловими) нейтронами в сотні раз більше можливості ділення ядер швидкими нейтронами, тому активна зона реактора створюється ядерним паливом і сповільнювачем нейтронів;

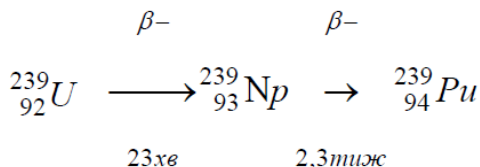
- реакція радіаційного захоплення, коли внаслідок захоплення нейтрона ядром воно буде знаходитись в збудженому стані до тих пір, поки збиток енергії не виділиться у виді одного чи декілька квантів. Внаслідок цієї реакції створюється новий ізотоп з масовим числом на одиницю більше початкового:



В цій реакції не відбувається ділення ядра, однак створюється новий вид ядерного палива, яке може використовуватися в реакторі самостійно або сумісно з основним паливом.



Таким способом одержують плутоній ${}^{239}_{94} \text{Pu}$, який використовується як в енергетичних реакторах ділення, так і в атомних бомбах:



Ядерне паливо може бути металевим (уран і його сплави), керамічним (окис урану, карбід урану) і дисперсним (суміш).

З нейтронно-фізичної точки зору, кращим паливом є металеве (максимальна концентрація ядер, мінімальні втрати нейтронів), але уран і його сплави при високих температурах значно погіршують свої механічні якості. Тому керамічне паливо знаходить все більш широке використання, особливо у високотемпературних ядерних реакторах.

Ядерне паливо розміщується в герметичних оболонках, які виконуються з алюмінію, цирконію або магнію і називаються тепловиділяючими елементами (ТВЕЛ). ТВЕЛи – основні елементи активної зони ядерного реактора; в них виділяється більше ніж до 90% енергії, звільненої в реакторі, а також накопичується штучне паливо $^{239}_{94}\text{Pu}$ і ^{233}U . Активна зона реактора збирається з сотень тисяч ТВЕЛів, завдяки чому можливо створити велику поверхню теплоз'єму і забезпечити високу щільність тепловиділення. За формою ТВЕЛи бувають циліндричними, пластинчатими та ін. ТВЕЛи збираються у тепловиділяючі збірки (ТВЗ).

Крім того, за рахунок цього організується потік теплоносія в активній зоні реактора.

Найбільш широке використання знайшли стрижневі ТВЕЛи контейнерного типу. (рис. 3.1). Оболонка 1 і затулки 6 утворюють герметичну порожнину, в якій розміщуються таблетки ядерного палива 2, частіше за все вироблені з окисних з'єднань UO_2 , PuO_2 або ThO_2 . Вони мають високу термічну, хімічну та радіаційну стійкість.

Проміжок між оболонкою і таблетками ядерного палива заповнюється середою з високою теплопровідністю (гелієм, натрієм), що зменшує температуру ядерного палива, а порожнина 4 забезпечує помірне підвищення тиску газових продуктів ділення (криптон, ксенон) під оболонкою ТВЕЛа. За допомогою кінцевих деталей 5 ТВЕЛи поєднуються у тепловиділяючі збірки.

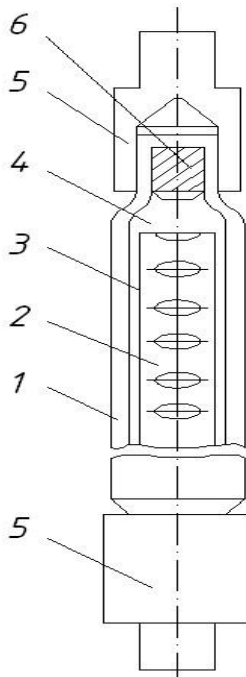


Рис. 3.1. Схема стрижневого типу:

1 – оболонка; 2 – таблетки ядерного палива; 3 – проміжок; 4 – порожність; 5 – кінцеві деталі для закріплення ТВЕЛів у збірках; 6 — заглушка, що забезпечує зручність їх кріплення, транспортування і перевантаження

Принципові схеми одно, двох, трьохконтурних електростанцій

Ядерна енергетика все більше займає міцні позиції у світовій енергетиці. Поширюються області використання ядерної енергетики: виробництво електричної енергії і теплоти, силові енергетичні установки на флоті, автономні джерела електропостачання.

Одна тонна природного урану може замінити 20-30 тис. тонн високоякісного кам'яного вугілля, що значно зменшує витрати на перевезення палива. Розвиток ядерної енергетики почався у 1954 р., коли була створена перша АЕС потужністю 5 МВт в м. Обнінську. У 1998 році в світі експлуатувалось вже понад 300

АЕС, потужністю більше 200 тис. МВт, що становило приблизно 17% світової потреби людства. У США на АЕС здобувається кожний п'ятий кВт електроенергії, а у Франції – близько 70% усієї електроенергії.

Ядерна енергетика базується на двох типах реакторів – на теплових і швидких нейтронах.

Використання реакторів на теплових нейтронах дає можливість використовувати лише частину (1-2%) потенційної енергії уранового палива. Значно ефективніше використання палива в реакторах на швидких нейтронах. Суттєвою особливістю таких реакторів є можливість відтворення палива. Активна зона оточується зоною відтворення, яка виконує водночас роль відбивача («отражателя»). Паливом в робочих каналах активної зони є сильно збагачений уран або плутоній, а робочі канали зони відтворення виконані з природного урану ^{238}U .

Класифікація АЕС проводиться за різними ознаками:

1. За кількістю контурів – одноконтурні, двоконтурні і трьохконтурні (рис. 3.2);

2. За типом реактора – на „теплових” або „швидких” нейтронах;

3. За параметрами і типами парової турбіни – турбіни на насиченому або перегрітому парі;

4. За параметрами і типами теплоносія – „вода під тиском”, рідиннометалеві, газові;

5. За конструктивними особливостями реактора – реактор каналного або корпусного типу;

6. За типом сповільнювача нейтронів – графіт, важка вода, вода та ін.

Повна характеристика поєднує всі ці класифікації. Наприклад:

- Чорнобильська одноконтурна АЕС з реактором каналного типу на теплових нейтронах з графітовим сповільнювачем і турбінами на насиченому парі;

- Нововоронежська двоконтурна АЕС з реактором корпусного типу на теплових нейтронах з теплоносієм „вода під тиском” і турбінами на насиченому парі.

- Шевченківська трьохконтурна АЕС з реактором на швидких нейтронах з натрієвим теплоносієм і турбінами на перегрітому парі. Робочим тілом на всіх діючих АЕС є водяна пара.

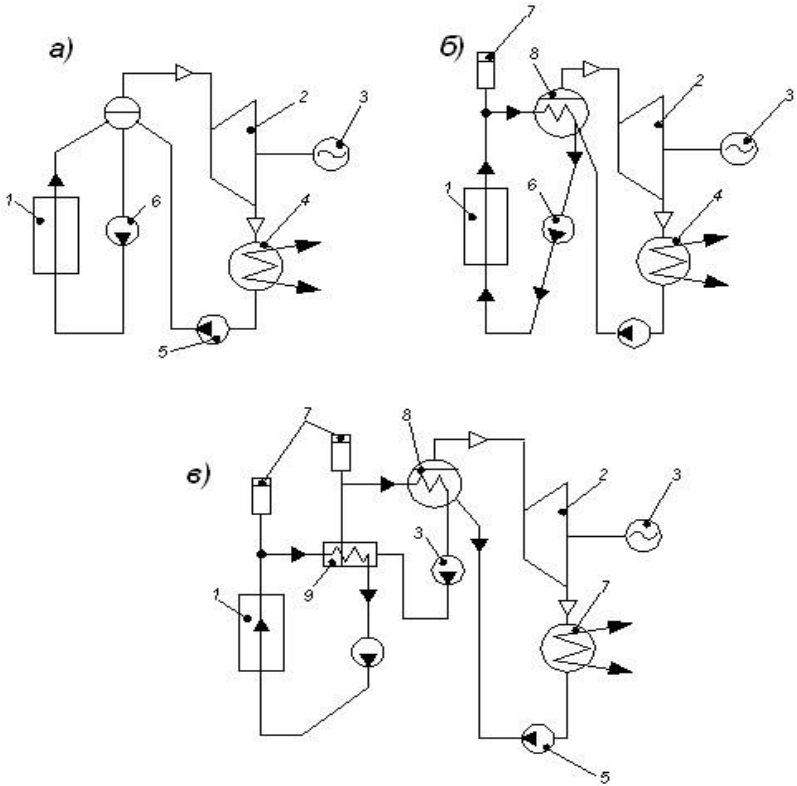


Рис. 3.2. Класифікація АЕС за кількістю контурів:

а) одноконтурна; б) двоконтурна; в) трьохконтурна:

- 1 – реактор; 2 – парова турбіна; 3 –електричний генератор; 4 – конденсатор; 5 – живлячий насос; 6 – циркуляційний насос; 7 – компенсатор об’єму; 8 – парогенератор; 9 – проміжний теплообмінник

Парогенератори атомних електростанцій

Паливом для ядерного реактора (ЯР) може бути природній уран ^{235}U або штучні ізотопи уран ^{233}U і плутоній ^{239}Pu .

Для здійснення ланцюгової реакції ділення необхідно використання сповільнювачів нейтронів: важкої води H_2O , звичайної води H_2O або графіту C та окису берилію BeO .

Ядерне паливо і сповільнювач нейтронів разом утворюють активну зону реактора.

Для того щоб почалась і продовжувалась ланцюгова реакція ділення в ЯР повинна знаходитись критична маса палива. Для забезпечення управління ЯР використовують компенсаційні, регулюючі і аварійні стержні, які змінюють ступінь поглинання нейтронів, регулюють хід ланцюгової реакції або при необхідності її припиняють.

Стан розвитку ланцюгової реакції ділення характеризується ефективним коефіцієнтом розмноження нейтронів $K_{\text{ef}}=1+\rho$, де ρ – надлишкова реактивність.

Якщо $K_{\text{ef}}=1$ – реакція йде з постійною швидкістю і стан реактора називається критичним.

При $K_{\text{ef}}<1$ – реакція ділення самостійно йти не може, а стан реактора – підкритичний.

При $K_{\text{ef}}>1$ – реактор переходить в надкритичний стан, його потужність зростає за експонентою.

Більш ніж 99% нейтронів у реакції ділення ядер урану становлять миттєві нейтрони, а близько 1% - запізнюючі. Приймаючи ефективний коефіцієнт розмноження нейтронів $K_{\text{ef}}=0,99-1,01$ стало можливим регулювати процес ділення ядер важких елементів. Практично управління реактором досягається стержнями, які вироблені з кадмію або бористої сталі.

На критичну масу впливає багато різних факторів, особливо використання ефективних відбивачів. При вигоранні ядерного палива його концентрація зменшується. Швидкість вигорання палива у центрі активної зони більше ніж на периферії. Тому для

підтримки потужності ЯР і порівняння енерговиділення через деякий час потрібно перевантаження ядерного палива.

В сучасній енергетиці найбільш широке використання знаходять:

- графітно-водяні каналні реактори на теплових нейтронах з графітовим сповільнювачем і водяним теплоносієм, тиск якого сприймають окремі трубчаті канали, які виробляють насичену або перегріту пару;

- водо-водяні реактори на теплових нейтронах з водяним сповільнювачем і теплоносієм, тиск якого сприймає корпус, в якому виробляється насичена пара (киплячий реактор) або не догріта до температури насичування вода (реактори з водою під тиском);

- швидкі натрієві реактори з натрієвим теплоносієм, тиск якого сприймає корпус, в якому виробляється не догрітий до температури насичування натрій і подільні нукліди;

- реактори з газовим охолодженням на теплових і швидких нейтронах з гелієвим теплоносієм, тиск якого сприймає корпус; в якості сповільнювача нейтронів в реакторах на теплових нейтронах використовують графіт.

Найбільше розповсюдження в країнах СНД мають реактори типу РБМК (реактор великої потужності), ВВЕР (водо-водяний енергетичний реактор) і БН (швидкий, охолоджуваний натрієм реактор).

Реактор РБМК киплячого типу з графітовим сповільнювачем нейтронів (біля 700 т графіта) і водяним теплоносієм (рис. 3.3) призначений для вироблювання насиченої пари з тиском близько до 7 МПа.

Збірки з тепловиділяючими елементами (приблизно 290 тон ТВЕЛів з окисом урану) розміщуються в 1422 технологічних каналах з діаметром 80 мм, які сприймають тиск і в них створюється вертикальний висхідний потік теплоносія.

Зверху «каструля» реактора (діаметр приблизно 16 м) має біологічний захист з бетону близько 2 м.

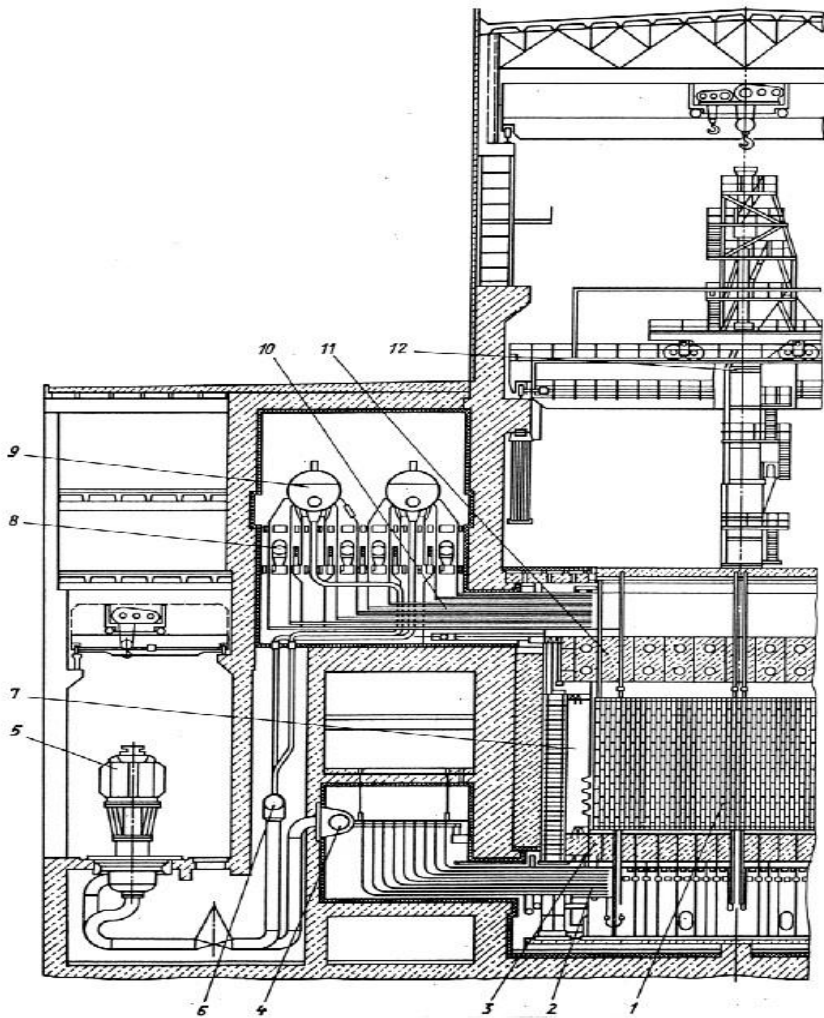


Рис. 3.3. Загальний вигляд реактора РБМК – 1000:

- 1 – активна зона; 2, 10 – трубопроводи; 3, 7, 11 – відповідно нижній, боковий і верхній біологічний захист; 4 – напірний колектор; 5 – головний циркуляційний насос; 6 – усмоктувальний водяний колектор; 8 – система контролю герметичності оболонок ТВЕЛів; 9 – барабан-сепаратор; 12 – розвантажувально-завантажувальна машина

Технологічні канали і графітова кладка створюють активну зону (1) реактора. Корпуси каналів активної зони і оболонки

ТВЕЛів вироблені з цирконій-ніобієвого сплаву ($Z+2,5\% \text{ Nb}$), якій має відносно малий переріз поглинання теплових нейтронів і необхідні міцневі і корозійні властивості при температурі до 620К, що визначає необхідні параметри теплоносія реактора.

Активна зона розміщується в герметичній порожнині, яка створюється циліндричним кожухом і опорними (верхньою і нижньою) металоконструкціями.

Для того щоб запобігти окислення графіту і поліпшити відведення від нього теплоти до технологічних каналів, щілини порожнин заповнюють сумішню гелію (біля 40 %) і азоту.

Біологічний захист реактора (верхній, нижній і боковий) суттєво зменшує інтенсивність випромінювання в усіх режимах роботи АЕС.

Циркуляція теплоносія через активну зону здійснюється головними насосами (з кожного боку реактора по 4 ГЦН), які повинні при любых обставинах забезпечити надійний відвід теплоти. Надійне електропостачання ГЦН забезпечується як від основного джерела енергії, так і резервного дизельгенератора потужністю 12000 кВт з автоматичним запуском.

Головні циркуляційні насоси подають воду до напірного колектора і далі по трубопроводах до технологічних каналів. Потім пароводяна суміш надходить до барабанів-сепараторів. Після них пара подається до турбін, а вода змішується з живильною водою і по всмоктувальних водяних колекторах надходить до головних циркуляційних насосів.

Ядерне паливо перевантажується на працюючому реакторі за допомогою спеціальної машини. На сталому режимі роботи при потужності 1000 МВт на реакторі РБМК за добу перевантажують одну чи дві збірки. Реактор має численні системи контролю технологічних параметрів, а також систему контролю герметичності оболонок тепловиділяючих елементів. Обробка інформації різних систем забезпечується автоматизованою системою контролю.

Корпусний реактор ВВЕР з водяним (не киплячим) теплоносієм і водяним сповільнювачем нейтронів (рис. 3.4)

призначений для вироблювання нагрітої до температури 600К води з тиском приблизно 16 МПа, який сприймає корпус і знімне накриття.

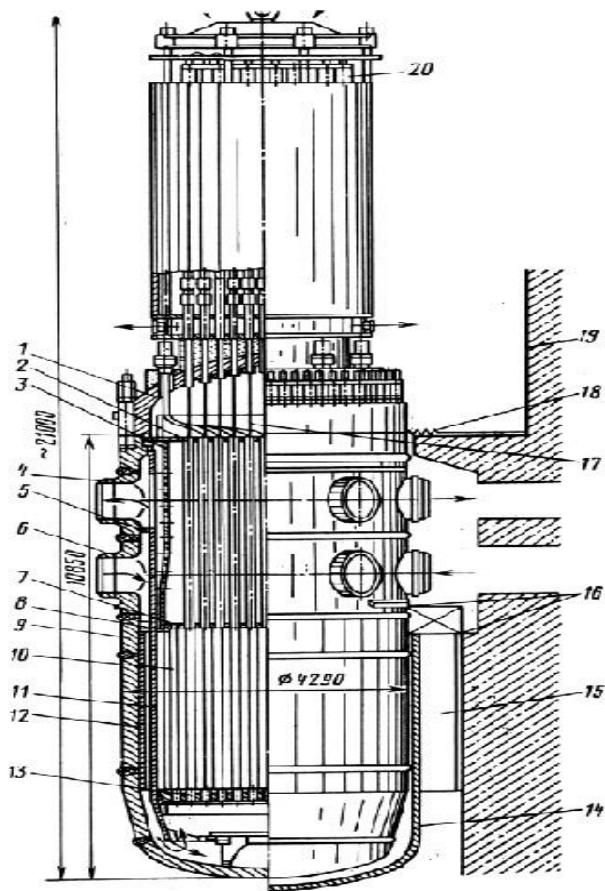


Рис.4. Загальний вигляд реактора ВВЕР – 1000:

- 1 – знімне накриття; 2 – труби; 3 – циліндр; 4 – вихідні патрубки;
- 5 – розподільне кільце; 6 – входні патрубки; 7 – плита; 8 – кільце; 9 – корпус;
- 10 – збірка з ТВЕЛами; 11 – корзина активної зони; 12 – радіаційний захист корпусу;
- 13 – опорна плита; 14 - теплоізоляційний чохол; 15 – радіаційний захист;
- 16 – опорна конструкція реактора; 17 – штанга рушія;
- 18 – ущільнювальний лист; 19 – бетонна шахта; 20 – рушії органів системи управління та захисту (СУЗ)

Вхідні і вихідні патрубки теплоносія розташовані у верхній частині корпусу. В самому корпусі знаходяться корзина активної зони з опорною плитою, на яку встановлюються збірки з ТВЕЛами. Зверху вони піджаті плитою, яка опирається на кільце і циліндр.

Вода з вхідних патрубків спадає в нижню частину корпусу по кільцевій щілині між корпусом і корзиною активної зони і охолоджує радіаційний захист корпусу. З нижньої частини корпусу вода надходить в збірки ТВЕЛів, підігрівається на 20-40К і крізь одвірки у прижимному циліндрі йде до вихідних патрубків.

Труби над активною зоною виконують роль напрямків для штанг рушіїв системи управління і захисту (СУЗ), які регулюють швидкість реакції ділення ядер палива. Реактор закріплюється в бетонній шахті опорною конструкцією. Нижня частина корпусу тепло ізольована чохлом і має радіаційний захист з води або чавуна. Простір навколо корпусу реактора закрито кільцевим щільниковим листом.

Перевантаження тепловиділяючих збірок здійснюється тільки при зупинці реактора спеціальною машиною.

Реактор на „швидких” нейтронах БН-600 з теплоносієм у виді розтопленого натрію створений за інтегральною схемою: у корпусі реактора розташовані активна зона і технологічне обладнання контуру відводу теплоти від активної зони (рис.5).

Корпус реактора складається з циліндричного бака з діаметром 12,8 м з еліптичним днищем і конічною верхньою частиною.

Циліндричний бак поєднується з еліптичним днищем через опорне кільце, яке передає навантаження через коткові опори на фундамент.

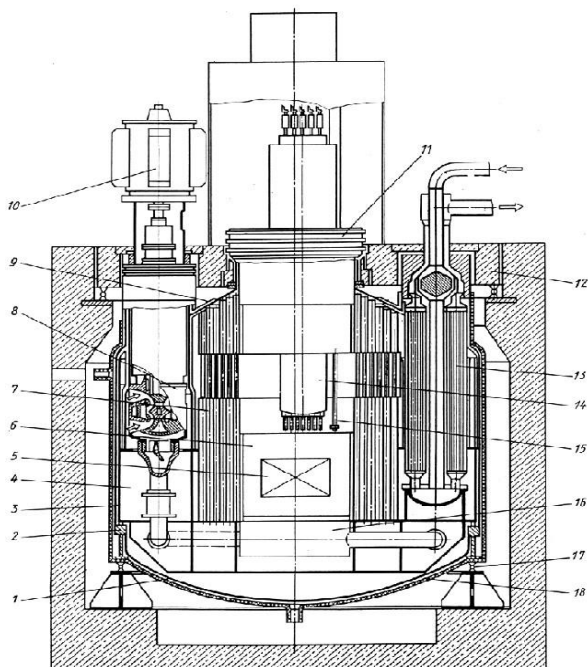


Рис. 3.5 – Загальний вигляд реактора БН – 600:

1 – днище; 2 – опорне кільце; 3 – корпус реактора; 4 – опорний пояс;
 5, 6 – активна зона реактора; 7 – внутрішній захист реактора; 8 – циркуляційний насос; 9 – верхня частина корпусу реактора; 10 – електрорушій циркуляційного насоса; 11 – обертальні пробки; 12 – бетонний захист реактора; 13 – проміжний теплообмінник; 14 – напірна камера; 17 – каткові опори; 18 – страхувальний кожух

Опорний пояс у вигляді металоконструкції коробчастого типу сприймає навантаження від усіх вузлів, які знаходяться в середині реактора. На ньому закріплена напірна камера, на якій встановлені тепловиділяючі збірки. В центральній частині активної зони знаходяться паливо з високою концентрацією подільних нуклідів, а на периферії розташовані збірки з відтворювальними нуклідами.

Активна зона реактора має внутрішній захист, за яким встановлені циркуляційний насос натрію з електрорушієм і проміжний теплообмінник (натрій-натрій), за допомогою якого

теплота від ядерного реактора відводиться до робочого тіла системи перетворення енергії. Насосом натрій по трубопроводам подається в напірну камеру, розподіляється між активною зоною (основний видаток) і внутрішньокорпусним захистом. Підігрітий в активній зоні від 650 до 823 К натрій через отвори в корпусному захисті йде до теплообмінника і зливається крізь його між трубний простір в нижню частину корпуса реактора, а з відтіля знову повертається до циркуляційного насоса. Простір над рівнем натрію заповнений аргоном під тиском 0,14 МПа.

Верхня частина корпуса реактора закрита бетонним захистом, в якому розташовані оберртальні пробки з пристроями для перегрузки тепловиділяючих збірок і СУЗ. Обертальні пробки розташовані ексцентрично до осі активної зони реактора, що забезпечує наведення пристрою перегрузки на будь-яку збірку.

Перегрузка збірок здійснюється при загашеній ланцюговій реакції без розгерметизації внутрішньої порожнини реактора. Зовні корпус реактора закритий страхувальним кожухом, який забезпечує збереження рівня натрію над поверхнею активної зони при порушенні герметичності корпуса. Простір між страхувальним кожухом і корпусом перед заповнюванням його натрієм використовують для розігріву корпусу.

Основні характеристики атомних електростанцій

Серцем АЕС є реактор. В одноконтурних АЕС активна зона охолоджується пароводяною сумішшю. У двоконтурних АЕС реактор охолоджується однофазною рідиною – вода під тиском. Однофазність теплоносія потребує включення до складу АЕС компенсаторів об'єму, задачу якого в одноконтурній схемі виконує барабан-сепаратор. Також обов'язковим елементом є парогенератор.

Циркуляція теплоносія забезпечується головним циркуляційним насосом. Двигуном для приводу генератора є парова турбіна, але її параметри і конструктивна схема різна.

Для водяного теплоносія – це турбіни насиченої пари середнього тиску. Якщо реактор охолоджується рідкометалевим теплоносієм (трьохконтурні схеми АЕС), то турбіна працює на перегрітому парі високого тиску.

Для одноконтурних схем пара на турбіну подається з реактора, а для багатоконтурних – з парогенератора. Відпрацьована пара після турбіни подається в конденсатор, конденсується і насосом повертається у пароутворюючий агрегат реактора або у парогенератор.

Таким чином, технологічний процес виробки електроенергії на АЕС становить з себе:

- підвищення температури конденсата до температури насичення і одержання з нього пари;
- розширення пари у турбіні при зниженні тиску від початкових значень перед турбіною до значень, відповідаючих вакууму в конденсаторі.

Сумісне протікання цих процесів визначає термодинамічний цикл АЕС.

Принципова схема блока АЕС з графітовим каналним реактором РБМК1000 приведена на рисунку 3.6.

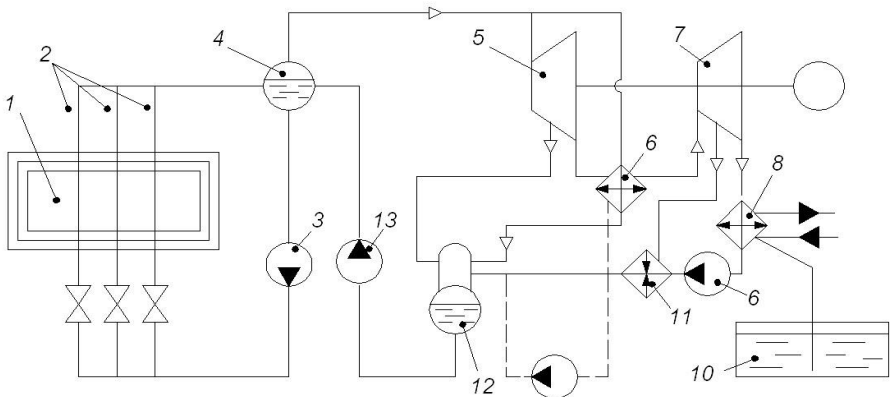


Рис.6. Принципова схема блока АЕС з реактором РБМК-1000:

- 1 – активна зона реактора; 2 – паровідвідний колектор; 3 – циркуляційний насос; 4 – сепаратор; 5 – швидкохідна турбіна; 6 – сепаратор-перегрівач; 7 – турбіна низького тиску; 8 – конденсатор; 9, 13 – насос; 11 – підігрівач; 12 – деаератор

Контур охолодження складається з двох ідентичних систем (на рис.6 приведена одна).

Розрізняють два контури: контур охолодження реактора і контур робочого тіла турбоустановки.

Контур охолодження реактора включає технологічні канали 2, в яких знаходяться тепловиділяючі елементи (ТВЕЛИ), чотири головних циркуляційних насоса 3 і два барабана-сепаратора 4, які з'єднані між собою колекторами і трубопроводами.

Витрати теплоносія через кожний технологічний канал регулюється за допомогою вентилів.

Пара з барабанів-сеператорів ($P=6,59$ МПа, $T=557$ К і вологість не більше 0,1% подається до швидкохідної турбіни 5 потужністю 500 МВт, на виході з якої вологість пари збільшується до 15%. Ця пара далі йде в сепараторперегрівач 6, в якому створюється відділення вологи та перегрів пари до температури 538 К при тиску 0,31 МПа. Перегріта пара йде в турбіну низького тиску 7, де вона розширюється до тиску 0,4 МПа (при вологості 7%).

Конденсат з конденсатора 8 насосом 9 прямує спочатку в перегрівач 11, а потім в деаератор 12 і далі насосом 13 вертається в контур циркуляції теплоносія ядерного реактора. З порожнини хімічно очищеної води 10 йде підпитка контура.

Принципова схема блока АЕС з водо-водяним реактором ВВЕР приведена на рис. 7.

У корпусі реактора 1, який заповнений водою під тиском, розміщується активна зона 2. При проходженні через активну зону вода підігривається на 20-40 К циркуляційним насосом першого контуру 3 і подається в парогенератор 4, в якому передає свою теплоту теплоносію другого контуру.

Паротурбінна установка включає турбіну високого тиску 5, сепараторперегрівач 6, турбіну низького тиску 7, конденсатор 8, конденсатний насос 9, підігрівач низького тиску 10, деаератор 11, насос 12.

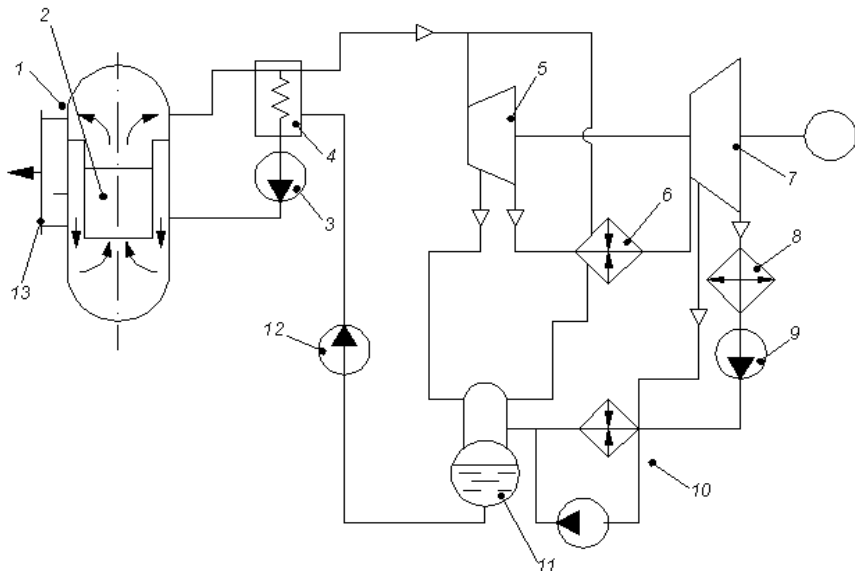


Рис.7. Принципова схема блока АЕС з реактором ВВЕР:

1 – корпус реактора; 2 – активна зона реактора; 3 – циркуляційний насос першого контуру; 4 – парогенератор; 5 – турбіна високого тиску; 6 – сепаратор-перегрівач; 7 – турбіна низького тиску; 8 – конденсатор; 9 – конденсатний насос; 10 – підігрівач; 11 – деаератор; 12 – живильний насос; 13 – колектор

Реактори ВВЕР потужністю 400 і 1000 МВт роблять на дві турбоустановки і мають декілька однакових систем першого контуру, одна з яких приведена на рисунку 7. Об'єднання витрат пари здійснюється перед турбіною високого тиску.

Принципова схема АЕС з реактором на швидких нейтронах БН-600 приведена на рис. 8.

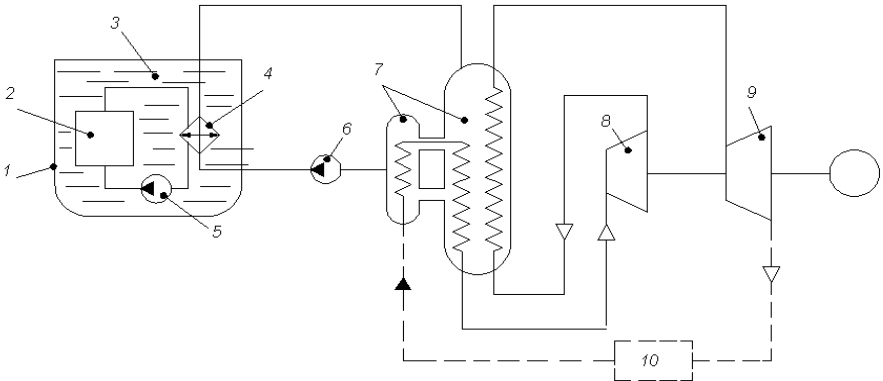


Рис. 3.8. Принципова схема блока АЕС з реактором БН-600:

1 – корпус реактора; 2 – активна зона реактора; 3 – натрій;
 4 – теплообмінник; 5, 6 – циркуляційні насоси; 7 – парогенератор; 8 – турбіна високого тиску; 9 – турбіна низького тиску; 10 – конденсатно-живильний тракт

Перший контур АЕС розташований в корпусі реактора 1 і складається з активної зони 2, циркуляційного насоса 5, і теплообмінника 4. Всі елементи першого контуру розташовані під рівнем натрію 3, відділеного від кришки корпусу шаром газу. В АЕС такого типу використовують інтегральну схему, коли циркуляційний насос і теплообмінник розташовані усередині корпусу реактора. В реакторі БН-600 три однакових частини першого контуру.

Другий контур АЕС створений теплообмінником 4, циркуляційним насосом 6 і парогенератором 7.

Тиск натрію в другому контурі трохи вище, ніж у першому, що перешкоджає витіканню радіоактивного натрію з першого контуру в другий.

Теплоносій другого контуру передає теплоту робочому тілу третього контуру, в якому циркулює вода і водяна пара. Паротурбінна установка складається з турбін високого „8” і низького „9” тиску. Використання трьох контурних схем виключає попадання води в активну зону реактора.

Поряд з теплотою ядерний реактор виділяє значну кількість радіонуклідів, що приводить до інтенсивного іонізуючого

випромінювання активної зони і випромінювання активної зони і всього обладнання першого контуру. Експлуатація АЕС показала, що конструкція ТВЕЛ і всього обладнання першого контуру забезпечує надійну локалізацію активності. Однак у процесі експлуатації приймаються спеціальні заходи щодо зниження радіоактивності обладнання через його дезактивацію водяними розчинами кислот та луги. Рідинні радіоактивні відходи АЕС підлягають спеціальній очистці і потім вони розвертаються у замкнутий контур станції.

Газоподібні радіоактивні відходи очищаються у спеціальних фільтрах перед виведенням їх у атмосферу через труби висотою більш ніж 100 м.

Тверді відходи АЕС транспортуються у спеціальних контейнерах у сховища. Після гасіння ланцюгової реакції ділення у активній зоні реактора продовжується тепловиділення за рахунок радіоактивного розпаду продуктів ділення. Тому охолодження активної зони проводиться на всіх режимах роботи реактора.

Контрольні питання

1. Що таке ядерний реактор?
2. В чому полягає термоядерна реакція?
3. Ізотопи урану.
4. Що таке ланцюгова реакція?
5. Яка калорійність ядерного палива?
6. Які реакції ділення виникають при взаємодії нейтронів?
7. Що таке реакція пружистого розсіювання?
8. Що таке реакція не пружистого розсіювання?
9. Як створюється активна зона реактора?
10. Що таке реакція радіаційного захоплення?
11. Як отримують плутоній?
12. Види ядерного палива.
13. Яке з ядерних палив вважається найкращим?
14. Яке з ядерних палив найбільш розповсюджене?
15. Що таке тепловиділяючі елементи?

16. Як поділяються ТВЕЛІ за типами?
17. Які з ТВЕЛІв найбільш розповсюджені?
18. Сфери застосування ядерної енергетики.
19. Коли була створена перша АЕС?
20. Які типи реакторів є базовими для ядерної енергетики?
21. За якими ознаками проводять класифікацію АЕС?
22. Що використовують в якості сповільнювачів нейтронів?
23. Що таке активна зона реактора?
24. Що використовують для забезпечення управління ядерною реакцією?
25. Що характеризує стан розвитку ланцюгової реакції ділення?
26. Для чого потрібно перевантаження ядерного палива?
27. Які реактори використовуються?
28. Що таке біологічний захист реактора?
29. Як забезпечується надійне електропостачання головних циркуляційних насосів?
30. Як перевантажується ядерне паливо?
31. Охарактеризуйте реактор РБМК-1000.
32. Охарактеризуйте реактор ВВЕР-1000.
33. Охарактеризуйте реактор БН-600.
34. Чим забезпечується циркуляція теплоносія?
35. Що становить з себе технологічний процес виробки електроенергії на АЕС ?
36. Які заходи приймаються щодо зниження радіоактивності обладнання?

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 4

Альтернативні технології виробництва електричної енергії: основні поняття та визначення

Мета роботи: класифікація нетрадиційних та поновлюваних джерел енергії і енергоустановок, основні характеристики альтернативних джерел електричної енергії, перспективи використання нетрадиційних джерел енергії, розвиток нетрадиційної енергетики в Україні.

Теоретичні відомості

Матеріал базується на основних положеннях стандарту «Енергозбереження. Нетрадиційні та поновлювані джерела енергії. Основні положення. ДСТУ 3569-97 (ГОСТ 30514-97) Державний стандарт України. Чинний від 1997-07-01», який встановлює основні вимоги, призначення, галузь використання нетрадиційних та поновлюваних джерел енергії (НПДЕ), їх класифікацію, а також класифікацію енергоустановок, які використовують НПДЕ, та основні вимоги, що пред'являються до нормативних документів у сфері НПДЕ.

Цей стандарт є основоположним і призначений для всебічного та обґрунтованого нормативного забезпечення різноманітних аспектів НПДЕ і розповсюджується на всі види НПДЕ, енергоагрегати, що розробляються (проектуються), реконструюються та експлуатуються і призначені для перетворення енергії НПДЕ. В першу чергу це стосується енергоустановок, які використовують сонячну енергію, енергію біомаси, енергію вітру, деякі види гідроенергії, геотермальну енергію.

Основні вимоги даного стандарту обов'язкові під час застосування у всіх видах технічної документації та літератури у сфері НПДЕ.

Класифікація нетрадиційних та поновлюваних джерел енергії і енергоустановок

Основні види НПДЕ

Сонячна енергія, яка містить у собі потенціал сонячного випромінювання, придатний для:

- вироблення теплової енергії, що використовується в теплохолодопостачанні та гарячому водопостачанні технологічних процесів;
- вироблення електроенергії за термодинамічним циклом;
- вироблення електроенергії шляхом фотоелектричного перетворення.

Енергія вітру, яка містить у собі вітроенергоресурси, придатні для:

- виробництва електричної енергії у складі енергосистеми;
- виробництва енергії, яка використовується автономними споживачами енергії;
- використання у різних технологічних процесах.

Енергія біомаси, яка придатна для вироблення різних видів палива, газопостачання об'єктів і містить у собі:

- енергоресурси органічних відходів тваринництва та птахівництва, харчової, м'ясо-молочної промисловості;
- енергоресурси рослинних відходів сільського господарства;
- енергоресурси рослинних відходів лісового господарства;
- енергоресурси стічних вод та опадів стічних вод;
- енергоресурси твердих побутових відходів

Геотермальна енергія, яка придатна для вироблення теплової енергії і електроенергії і містить у собі:

- парогідротерми;
- гідротерми;
- термоаномальні зони;
- петрогеотермальні зони;

- магму.

Енергія малих річок, яка придатна для електрифікації автономних споживачів і містить у собі енергію малих водяних потоків – малих річок та струмків.

Енергія Світового океану, яка придатна для вироблення електричної енергії і містить у собі:

- енергію хвиль;
- енергію припливів та відпливів;
- енергію градієнтів солонуватості морів та океанів;
- енергію температурних градієнтів морів та океанів;
- енергію морських течій.

Класифікація і основні види енергоустановок НПДЕ

За вхідною (споживчою) енергією:

- сонячні енергетичні установки;
- вітроенергетичні установки;
- гідроенергетичні установки;
- біоенергетичні установки;
- — геотермальні станції та ін.

За вихідною (одержуваною) енергією:

- з одержанням теплової енергії;
- з одержанням електричної енергії;
- з одержанням механічної енергії;
- з комбінованим виходом (одержання електричної та механічної енергії, теплової і механічної та ін.).

За вихідною (корисною) потужністю:

- енергоустановки великої потужності чи інтегровані з елементів малої і середньої потужності;
- енергоустановки середньої потужності, інтегровані з енергоустановок малої потужності;
- енергоустановки малої потужності чи інтегровані з енергоустановок мікропотужності;

- енергоустановки мікропотужності.

Кожний із видів, класифікованих за первинним джерелом енергії, може бути класифікований, у свою чергу, за багатьма ознаками, що характеризуються параметрами первинного джерела енергії, режимом роботи, типом системи керування, типом (видом) проміжного робочого тіла енергоустановки та ін.

Основні характеристики альтернативних джерел електричної енергії

Для розгляду пропонується такий склад нетрадиційних джерел електричної енергії:

- джерела прямого перетворення різних видів енергії в електричну;
- нетрадиційні види палива;
- вторинні енергетичні ресурси.

До джерел прямого перетворення різних видів енергії в електричну відносять джерела, що передбачають безпосереднє перетворення теплової та хімічної енергій в електричну.

Технологіями, які перетворюють теплову енергію в електричну, є:

- магієтогідродинамічне перетворення енергії;
- використання енергії реакторів-розмножувачів на швидких нейтронах;
- використання енергії термоядерних реакцій;
- термоелектричні технології;
- термоемісійні технології;
- технології з використанням цирконію.

Безпосереднє перетворення теплової енергії в електричну дозволяє суттєво підвищити рівень ефективності використання теплових ресурсів. У класичному паросиловому циклі перетворення енергії теплота, що отримується при спалюванні палива, перетворюється у внутрішню енергію пари, температура і тиск якої при цьому підвищуються. Потім у парових турбінах

енергія пари перетворюється в механічну і тільки після цього в електричну.

Процеси цих багаторазових перетворень супроводжуються неминучими втратами, які знижують ефективність усього циклу.

У магнітогідродинамічному циклі відбувається пряме перетворення теплової енергії в електричну. Однак не тільки в цьому полягає перевага МГД-перетворення. В ідеальному тепловому циклі Карно ККД залежить від максимальної та мінімальної температур робочого тіла. В сучасних топках парогенераторів температура перевищує 2000 °С, а нагрів лопатей парових турбін через обмеженість теплостійкості матеріалу не повинен перевищувати 750 °С, що обмежує ККД до 60 %. За реальних умов у результаті недосконалості паросилового циклу ККД не вдається підвищити більше ніж до 40 %. В МГД-генераторах статичні умови роботи дозволяють використовувати матеріали, на поверхні яких температура може досягати 2700-3000 °С, що відкриває широкі перспективи підвищення ККД перетворення енергії.

Значні перспективи забезпечення людства електричною енергією пов'язані з використанням реакторів-розмножувачів на швидких нейтронах і термоядерного синтезу. Якщо перші вже знаходять практичне застосування, то використання термоядерного синтезу може отримати промислове значення через не один десяток років.

Термоелектричні генератори давно використовуються в техніці й побудовані на ефекті Пелтьє. Останній полягає у виникненні термо-ЕРС в замкненому колі з двох різнорідних провідників (напівпровідників) з різною температурою спаїв. Такі системи мають дуже низький ККД (2-3 %), але мають багато переваг: автономність, компактність, безпечність, безшумність.

Принцип дії термоемісійного перетворювача ґрунтується на емісії електронів при сильному нагріванні емітера. Пристрій такого типу подібний до двоелектродної електронної лампи. Як джерело енергії, можна використовувати ядерне паливо, органічне паливо, сонячне випромінювання. Одним із найбільш

перспективних напрямів у даній галузі є створення автономних ядерних енергетичних установок із термоємійним реактором-перетворювачем.

При прямому отриманні електричної енергії за рахунок хімічної енергії розглядаються електрохімічні генератори й паливні елементи (комірки).

З електрохімічних перетворювачів найбільший інтерес становлять паливні елементи, в яких відбувається пряме перетворення хімічної енергії в електричну. На відміну від гальванічних елементів тут наявні розхідні матеріали – паливо та окиснювач. Найбільш поширена схема використання водню як палива і кисню як окиснювача. При цьому єдиним продуктом електрохімічної реакції є вода, тобто паливний елемент є цілковито чистим, з екологічної точки зору, джерелом енергії. З енергетичної точки зору перевагою паливних елементів є максимальний на сьогодні ККД (тобто коефіцієнт перетворення хімічної енергії в електричну) – до 50 - 70 %.

До нетрадиційних видів палива насамперед слід віднести водень, водневу енергетику. Вона цікава насамперед тим, що використовується водень, який має теплотворну здатність в 2,5 рази вище, ніж природний газ. Запаси водню необмежені, він екологічний, єдиним продуктом його спалювання є вода. До того ж водень можна використовувати для прямого перетворення хімічної енергії в електричну в паливних елементах.

Також до цієї групи джерел енергії віднесений метан вугільних шахт, метан сміттєвих звалищ, синтез-газ, енергія газів геотермальних вод, енергія біомасу очисних споруджень тощо.

Перспективи використання нетрадиційних джерел енергії

Серед нетрадиційних джерел енергії на майбутні декілька десятиліть найбільш перспективним буде використання термоелектричних генераторів, водню, паливних комірок.

З усіх різновидів термоелектричних генераторів найбільший інтерес становлять термофотоелектричні генератори (ТФЕГ).

ТФЕГ завдяки створенню високоефективних фотоелектроперетворювачів та узгоджених із ними за спектром випромінювачів знайдуть широке використання як автономні джерела електричної енергії в наземних і космічних умовах. Питома вартість електроенергії, що може бути отримана за допомогою ТФЕГ, становить у наземних умовах 2-3 дол. США за 1 Вт встановленої потужності, що приблизно в 2 рази нижче питомої потужності наземних сонячних батарей. При цьому кількість електроенергії, яка виробляється за допомогою ТФЕГ еквівалентної потужності, приблизно в 3 рази більша за рахунок їх безперервної роботи. Крім того, питома кількість електроенергії, що виробляється з одиниці площі фотоперетворювачів, у ТФЕГ в 100-200 разів більша, ніж у звичайних сонячних батареях.

Значний економічний ефект за рахунок більш високого ККД і терміну служби забезпечить використання ТФЕГ замість електромеханічних (на основі двигунів внутрішнього згорання) і термоелектричних генераторів. Не менш важливою є екологічна чистота процесу спалювання палива в ТФЕГ, що забезпечить також значний економічний ефект від заміни дизельних електрогенераторів на ТФЕГ. Це робить перспективним використання ТФЕГ для автономного забезпечення електричною енергією будинків котеджного типу в сільській місцевості, геологічних партій, маяків, ретрансляторних і радіолокаційних станцій тощо.

Використання ТФЕГ дасть суттєвий ефект у системах енергоживлення космічних апаратів, особливо тих, які запускаються в бік від Сонця, тобто в умовах, коли використання сонячних батарей неможливе або неефективне, а використання хімічних або інших джерел енергії забезпечить менший ККД або короткий ресурс роботи.

Сьогодні у світі спостерігається значний інтерес до паливних елементів. Значна кількість наукових організацій і фірм працюють над різними схемами та практичними застосуваннями паливних елементів. Значний інтерес становлять щодо цього галузі енергетики, космічної техніки, транспорту, мікроелектроніки.

Одна з технічних проблем полягає в тому, що для електродів (катода) необхідно використовувати високорозвинуті поверхні. Очікується, що це завдання буде вирішено у зв'язку з досягненнями в галузі нанотехнологій, які дозволяють виробляти наноструктури типу нанотрубок, наноконусів, фулеренів із розмірами до кількох наномікрон. Саме такі наноструктури можуть бути основою для принципово нових і високоефективних складових паливних елементів.

Водень – це енергетичний ресурс майбутнього, але способи отримання його на сьогодні потребують значних капітальних витрат. У цьому напрямі наявні екзотичні проекти великомасштабного виробництва водню за допомогою бактерій. Процес відбувається за схемою фотосинтезу: сонячне світло поглинається, наприклад, синьо-зеленими водоростями, які швидко ростуть. Ці водорості можуть бути їжею для деяких бактерій, які в процесі життєдіяльності виділяють з води водень. Однак щоб здійснити цю ідею, необхідно вирішити багато наукових та інженерних задач.

Розвиток нетрадиційної енергетики в Україні

В Україні проблемам використання нетрадиційних та поновлювальних джерел енергії значну увагу почали приділяти лише після проголошення незалежності, значно пізніше, ніж у розвинених країнах світу.

Недостача енергетичних ресурсів в Україні сприяє підвищенню уваги до використання нетрадиційних джерел отримання паливно-енергетичних ресурсів. І це при тому, що значна кількість теплоти (більше 70 %) газотурбінних установок, що працюють на компресорних станціях магістральних газопроводів розсіюється з вихлопними газами, з температурою 270 - 400 °С. Достатньо перспективним, є метан вугільних родовищ. Ресурси метану в українській частині Донбасу оцінюються на 6-13 трлн м³. Згідно з оцінками іноземних експертів, із надр Донецького басейну за умовою інвестування

приблизно на 180 млн дол. США щорічно можна добувати більше 12 млрд м³ газу, тоді як загальне добування природного газу в Україні становить близько 20 млрд м за рік.

У перспективі головними цілями розвитку та використання нетрадиційних та поновлювальних джерел енергії в Україні є:

- підвищення рівня енергетичної незалежності та виконання вимог енергетичної безпеки;
- зниження негативного впливу на довкілля;
- вирішення соціально-економічних питань розвитку держави.

Засобом досягнення цих цілей є державна політика в напрямі підтримки розвитку нетрадиційних і поновлювальних джерел енергії та економічне зростання з нарощуванням виробництва ПЕР.

Контрольні питання

1. Основні положення стандарту «Енергозбереження. Нетрадиційні та поновлювані джерела енергії. Основні положення.» ДСТУ-3569-97
2. Що розуміється під поняттям «нетрадиційні джерела енергії»?
3. Як застосовують сонячну енергію?
4. Як застосовують енергію вітру?
5. Як застосовують енергію біомаси?
6. Як застосовують геотермальну енергію?
7. З чого складається енергія Світового океану?
8. Класифікація та основні види енергоустановок НПДЕ.
9. Як класифікуються НПДЕ за вхідною енергією?
10. Як класифікуються НПДЕ за вихідною енергією?
11. Як класифікуються НПДЕ за вихідною потужністю?
12. Який склад нетрадиційних джерел енергії?
13. Технології перетворення теплової енергії в електричну.
14. Яким чином може відбуватися пряме перетворення теплової енергії в електричну? Які є основні установки?

15. Що відбувається у магнітогідродинамічному циклі?
16. Що таке термоелектричні генератори?
17. Переваги та недоліки термоелектричних генераторів.
18. Принцип дії термоемісійного перетворювача.
19. Які джерела енергії використовують у термоемісійного перетворювача?
20. Пряме перетворення хімічної енергії в електричну. За допомогою якої пристрої воно здійснюється?
21. Які переваги паливних елементів?
22. Що собою являють нетрадиційні види палива, які є їх види?
23. Термофотоелектричні генератори.
24. Які переваги ТФЕГ?
25. Перспективи використання ТФЕГ.
26. Які види нетрадиційних джерел енергії використовуються у світі?
27. Про які нетрадиційні джерела енергії можна вести мову в Україні, які перспективи їх використання?

ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Балан Г.П. Теоретичні основи електротехніки / Г.П. Балан, П.О. Кравченко, Ю.Ф. Свєргун, О.Є. Щєрбаков. – К.: Інтас, 2007. – 325 с.
2. Єрмолаєв С.О. Експлуатація і ремонт електрообладнання та засобів автоматизації / С.О. Єрмолаєв, В.Ф. Яковлев. – К.: Урожай, 1996. – 336 с.
3. Будіщев М. С. Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка : Підручник / М. С. Будіщев. – Львів : Афіша, 2001. – 424 с
4. Маліновський А.А., Хохулін Б.К. Основи електропостачання: Навчальний посібник. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2005. – 324с.
5. Електричні системи і мережі. Частина І: навч.посібник / Ю.В. Малогулко, О.Б.Бурикін, Т.Л.Кацадзе, В.В.Нетребський; за ред.. П.Д.Лежнюка. – Вінниця.: ВНТУ, 2020. – 200 с.
6. Паначевський Б.І. Загальна електротехніка / Б.І. Паначевський, Ю.Ф. Свєргун. – К.: Каравела, 2009. – 296 с.
7. Романюк Ю.Ф. Електричні системи та мережі. Навч.посібник. – К.: Знання, 2007.-292с.
8. Відновлювана енергетика вітрові електростанції. Всеукраїнська енергетична асамблея. Під загальною редакцією к.т.н. І. В. Плачкова та А. Є. Конеченкова, стандарт організацій України. СОУ ВЕА.600.1.1/01:2017 відновлювана енергетика.
9. Енергетична стратегія України на період до 2030 р. Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 № 1071.
10. Електричне обладнання підстанцій систем електропостачання / [Орлович А.Ю,Плєшков П.Г., Козловський О.А., Співак О.В., Величко Т.В., Котиш А.І.]; М-во освіти і науки України, Центральноукр. нац. техн. ун-т. – Кропивницький: ЦНТУ, 2020. – 272 с.

11. Маляренко В.А. Конспект лекцій з дисципліни «Технологія виробництва електроенергії»/В.А.Маляренко, С.І.Доценко, І.О.Темнохуд; - Харків: ХНУМГ, 2014.- 164с.

12. Варламов Г.Б., Любчик Г.М., Маляренко В.А. Теплоенергетика та екологія: Підручник. – Х.: «Видавництво САГА», 2008. -234 с. :іл.

13. Енергозбереження і енергоефективність-1. Конспект лекцій для студентів напрямку підготовки 6.050802 «Електронні пристрої та системи». - К.: НТУУ “КПІ”, 2014. – 106 с.