

# ЕНЕРГЕТИКА

The background image shows a large industrial power plant facility. On the left, two tall, grey smokestacks rise into the sky, each emitting a thick plume of white steam or smoke. To the right of the smokestacks, there are several large, cylindrical cooling towers, also emitting white steam. The plant buildings are visible in the middle ground. The entire scene is set against a backdrop of a clear blue sky with some light clouds. In the foreground, there is a body of water, likely a reservoir or a cooling pond, which reflects the sky and the plant. The water is calm, and the reflection of the smokestacks and towers is clearly visible. The overall atmosphere is industrial and somewhat somber due to the presence of the power plant.

## Лекція 1

## Традиційна енергетика

Енергетика – галузь народного господарства, що охоплює енергетичні ресурси, вироблення, перетворення, передачу і використання різних видів енергії.

Енергетика поділяється на теплоенергетику, гідроенергетику, вітроенергетику, ядерну енергетику, енергетику нетрадиційних джерел енергії.

Теплоенергетика – охоплює одержання тепла при згорянні органічного палива і перетворення його в інші види енергії (механічну, електричну).

# ХАРАКТЕРИСТИКА ЕНЕРГЕТИЧНОГО КОМПЛЕКСУ УКРАЇНИ

Тип електростанцій	Встановлена потужність		Виробництво електричної енергії	
	млн. кВт	частка у %	млрд. кВт	частка у %
ТЕС — —	36,4	67,5	83,254	43,2
АЕС	12,8	23,8	92,543	47,4
ГЕС — —	3,7	8,7	10,109	5,2
Інші джерела енергії	-	-	8,220	3,2
Всього	53,9	100	195,131	57,6 <sub>3</sub>

# ГЕОГРАФІЯ РОЗТАШУВАННЯ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ УКРАЇНИ

## ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА

### ТЕПЛОВІ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

**ТЕС**  
Київська, Харківська, Одеська  
**ДРЕС**  
**Донбас.** Вуглегірська, Луганська,  
Слов'янська, **Придніпров'є.**  
Запорізька, Криворізька,  
Придніпровська  
**Прикарпаття.**  
Бурштинська, Добротвірська,  
**В інших областях.**  
Трипільська, Зміївська, Ладижинська  
та ін.

### ГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

**ГЕС і ГАЕС**  
Дніпровські  
Дністровські  
Теребле-Ріцька

### АТОМНІ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Запорізька (6 блоків)  
Рівенська (4 блоки)  
Південноукраїнська  
(3 блоки)  
Хмельницька (2 блоки)

### АЛЬТЕРНАТИВНІ ДЖЕРЕЛА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ:

- 1. ВЕС (ВІТРОВІ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ)**  
Новоозовська, Донузлавська, Асканійська
- 2. СЕС (СОНЯЧНІ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ)**  
Кримська
- 3. ГЕОТЕРМАЛЬНІ**  
гірські області (Карпати)

**ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА**

Паливо - горючі речовини, основною складовою яких є вуглець. Паливо застосовується з метою одержання при його спалюванні теплової енергії, а також як сировина в хімічній промисловості.

Найчастіше використовують наступні природні палива: вугілля кам'яне, вугілля буре, нафта, гази природні горючі, сланці горючі, торф, деревину. Усі вони (крім деревини) відносяться до горючих копалин. В них міститься основна частина активного вуглецю планети (більше 90%, решта - у живих організмах). За рахунок спалювання перерахованих палив одержують близько 75% усієї споживаної енергії.

- Вугілля кам'яне - по запасах теплової енергії, що міститься в ньому, (разом із близькими йому антрацитами) займає основне місце серед пальних копалин. Кам'яне вугілля є одним із членів генетичного ряду твердих пальних копалин: торф - буре вугілля - кам'яне вугілля - антрацит.
- Зміст гігроскопічної вологи в кам'яному вугіллі знижується з ростом його метаморфізму від 7-9% до 0,2-0,4% .
- Якщо зольність вугілля більш 40%, то таке вугілля називають пальними сланцями. Основні складові золи кам'яного вугілля - оксиди кремнію, Fe, Al, зустрічаються деякі рідкі елементи - германій, ванадій, вольфрам, титан і дорогоцінні метали - Au, Ag.

Вугілля буре - суміш у різному ступені перетворених залишків вищих наземних рослин, водоростей і організмів планктону. Вміст мінеральних домішок (зольність) бурого вугілля більше 30%, вміст вологи близько 20%. Від торфу, з якого воно утворилося, відрізняється більшою однорідністю і відсутністю залишків рослин, що не розклалися.



Нафта - паливна копалина, суміш вуглеводнів з іншими органічними сполуками (сірчистими, азотистими, кисневими). Нафта - найважливіше джерело рідкого палива, а також сировини для хімічної промисловості. Мазут - залишок після відгону з нафти бензину і гасу.

Гази природні паливні - природні суміші вуглеводнів різного складу. По способу видобутку підрозділяються на:

власне природні гази, що добуваються з чисто газових родовищ, що практично не містять нафти;

побічні гази, розчинені в нафті і добуваються разом з нею;

гази конденсатних родовищ;

утримуючі гасові, іноді солярові фракції нафти.

Торф - геологічно наймолодша серед паливних копалин. Утворився із накопичень болотних рослин в умовах підвищеної вологості і недостатньої аерації. Торф - дуже гідрофільна речовина. У процесі сушіння об'ємна усадка досягає 50% первісного об'єму. Але вода в торфі не тільки заповнює капіляри, вона частково зв'язана з ним. Це заважає сушінню і перешкоджає механічному видаленню вологи.

Вміст вуглецю в торфі зростає з підвищенням ступеня розкладання рослин. Зола торфу складається, головним чином, з Ca,  $Fe_2O_3$ ,  $Al_2O_3$  та  $SiO_2$ .

Для зіставлення різних видів палив прийнята умовна одиниця -  
умовне паливо –

1 т.у.п. =  $7 \cdot 10^6$  ккал або  $2,93 \cdot 10^4$  МДж.

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ТВЕРДИХ І РІДКИХ ПАЛИВ:

Паливо	Хімічний склад, %					нижча теплота згоряння, МДж/кг
	С	Н	О	N	S	
Торф	58	6	33	2,5	0,5	21,4-24,7
Деревина	51	6	42,6	0,5	-	16,9-20,1
Буре вугілля	64-77	4-7	15-25	1	0,5-7,5	26,4-30,2
Кам'яне вугілля	88-90	4-4,5	3-4	1,5	1-3	31,4-34,6
Антрацит	90-93	2-4	2-4	1	0,5-2	33,7-35,0
Сланці	60-75	7-9	10-17	1	5-15	29,3-37,7
Мазут	86-88	10-10,5	0,5-0,8	0,5-0,8	0,5-3	44-46

# **ОСОБЛИВОСТІ ГОРІННЯ**

Розрізняють гомогенне і гетерогенне горіння, тобто однофазне (газ-повітря) і двофазне (тверде чи рідке паливо – повітря).

До гомогенного типу горіння відноситься горіння газоподібних палив.

При спалюванні органічного палива розрізняють 3 типи горіння:

1-нейтральне (стехіометричне) чи горіння палива без надлишку повітря Коефіцієнт надлишку повітря  $\alpha = 1.0$ ;

2- окисне чи повне згоряння при надлишку повітря  $\alpha > 1.0$ ;

3-відновне чи неповне при нестачі повітря  $\alpha < 1.0$ .

Можливо змішане (окислювально-відновне) горіння, що характерно для горіння часток твердого палива.

Процес горіння твердого палива проходить через кілька стадій:

- підсушування палива,
- сублимація летучих речовин і утворення коксу,
- горіння летучих речовин і коксу.

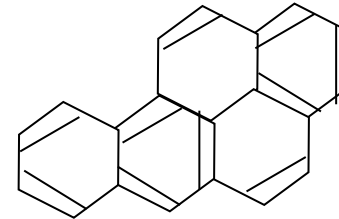
Процес гетерогенного горіння (коксового залишку) - основний процес горіння твердого палива.

При горінні твердих часток спостерігаються дві ситуації:

на поверхні твердих часток доступ повітря до місця реакції не обмежений, реакція йде по типу  $C + O_2 = CO_2$  і швидкість горіння визначається кінетикою хімічної реакції - кінетичний режим горіння;

під поверхнею твердої частки кисню для повного окислювання недостатньо, швидкість реакції горіння визначається швидкістю дифузії кисню до місця реакції. Реалізується дифузійний режим горіння  $2C + O_2 = 2CO$

При горінні органічних речовин рвуться зв'язки у великих органічних молекулах, утворюються радикали і з великими, і з малими молекулярними масами, можливе утворення канцерогенних речовин шляхом рекомбінації радикалів. Їхній вміст визначається індикацією бенз(а)пірену, що є присутнім у продуктах горіння різних агрегатних станів палива і може конденсуватися у виді крапель чи жовтих голкоподібних кристалів.



Бенз(а)пірен – поліциклічний ароматичний вуглеводень ( $C_{20}H_{12}$ ). У природі дуже стійкий (протягом більш 40 днів не зменшує свою активність у воді). Температурна залежність виходу має максимум, що при часі реагування 0,2 – 0,5 с відповідає температурі 1450 – 1550 К.



Сірка міститься в паливі в 3-х видах: органічна (у складі складних сполук), колчеданна (у сполуках з Fe й іншими металами) і сульфатна.

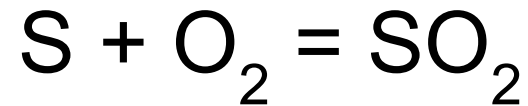
Речовини, що не згоряють, разом з вологою палива утворюють баласт палива. Мінеральні домішки, що характеризують зольність, присутні у виді силікатів (кремнезем, глинозем, глина), сульфідів (Fe), карбонатів (Ca, Mg, Fe), сульфатів (Ca, Mg), оксидів металів, фосфатів, хлоридів і інших солей лужних металів у різних сполученнях для різних родовищ.

Найважливіша характеристика палива - теплота згоряння.

Вища теплота згоряння палива - кількість теплоти, що виділяється при повному згорянні твердого, рідкого чи газоподібного палива, коли уся волога палива переходить у продукти реакції горіння.

Нижча теплота згоряння менше вищої на ту кількість тепла, що затрачається на випар води, що утвориться в процесі згоряння палива, а також вологи, що міститься в ньому.

При горінні наступного компонента пальної маси - сірки - утворюється один із найбільш токсичних газоподібних викидів –  $SO_2$ . Його кількість визначається сірчаністю палива -  $S_p$ , %.

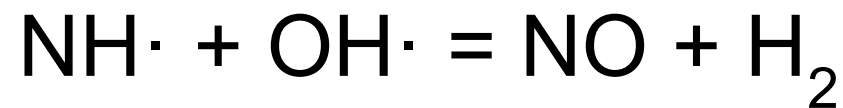
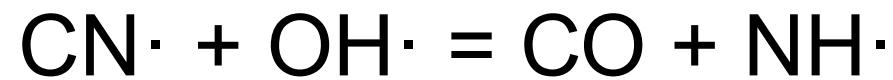
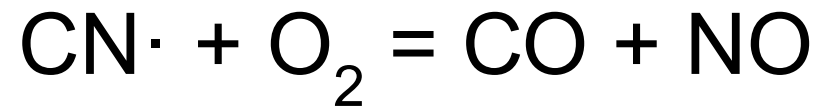
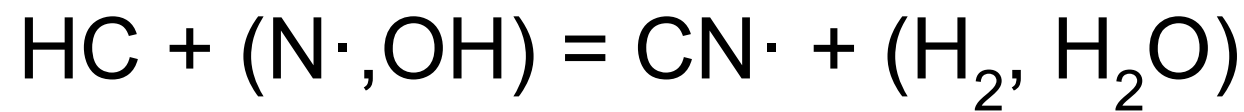
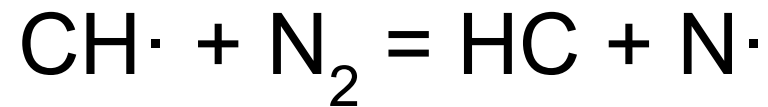


$SO_2$  складає 98-99% від викиду сірчистих сполук. Різні палива істотно відрізняються по вмісту сірки.

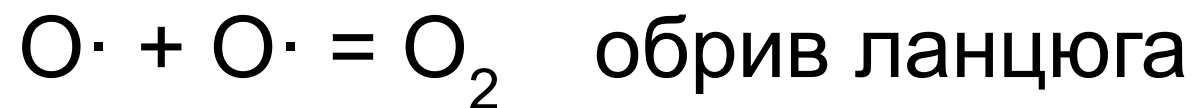
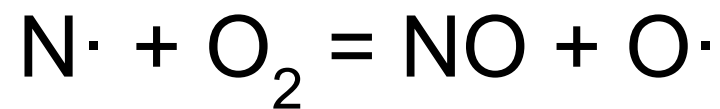
Одними зі шкідливих речовин, що попадають в атмосферу при горінні палив, є оксиди азоту. Їхнє утворення йде 3-ма шляхами:

утворення паливних оксидів азоту. Повне перетворення азоту палива в оксиди спостерігається при  $N_p$  не менш 0,1%. При збільшенні вмісту азоту в паливі кількість його оксидів у газах, що відходять, не міняється, а збільшується вміст піридинів, хінолінів, смолистих речовин,  $NH_3$ , значна частина азоту переходить у нітриди і  $N_2$ . Час утворення паливних оксидів азоту –  $10^{-2}$  –  $10^{-3}$  с.

Утворення швидких оксидів азоту. Ці оксиди виявляються при часі горіння  $10^{-4}$ с. Запропоновано механізм їхнього утворення за участю радикалів, що утворюються при горінні, і азоту повітря:



Із збільшенням температури горіння збільшується частка термічних оксидів азоту, реакція йде за ланцюговим механізмом:



У реакції бере участь тільки кисень і азот атмосферного повітря.

Енергія активації цих реакцій велика, тому швидкість утворення термічних оксидів азоту дуже сильно залежить від температури.

При температурі горіння до  $1000^{\circ}\text{C}$  кількість оксиду азоту визначається кількістю паливних, яких дуже мало. В області від  $1200$  до  $1500^{\circ}$  присутні усі види оксидів азоту, а при температурі вище  $1500^{\circ}$  різко зростає частка термічних оксидів азоту:

Для топкових камер великих розмірів характерний повільний темп охолодження продуктів згоряння і більший, ніж для малих топків період реакції синтезу NO. Тому вихід термічних оксидів азоту в топкових камерах енергоблоків (за температур вище  $1700^{\circ}$ ) складає до  $1,5\text{г/м}^3$ , а для малих промислових та опалювальних котлів зі значною швидкістю охолодження продуктів згоряння вихід термічних оксидів азоту невеликий або цілком відсутній.

За дисперсністю пилоподібні золи класифікують на тонкодисперсні (питома поверхня більш 4000 см<sup>2</sup>/г), середньо дисперсні (питома поверхня 2000-4000 см<sup>2</sup>/м і грубодисперсні (питома поверхня менше 2000 см<sup>2</sup>/г).

Дрібні і легкі частки (розміром менше 100 мкм), що містяться в золі в кількості 80-85%, виносяться з топок з димовими газами, утворюючи золу виносу. Її склад:

більш 40 мкм	4,4%,
20 – 40	3,9%,
5 – 20	5,7%,
1 – 5	36,2%,
менше 1	49,8%.

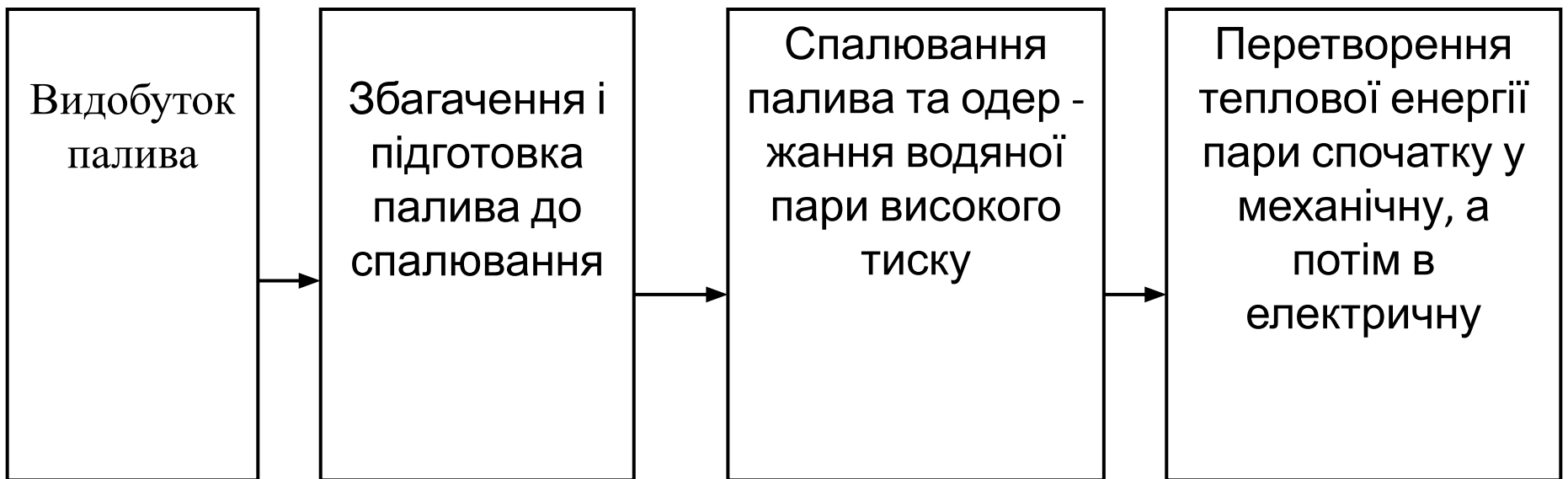
Частки розміром більше 12 мкм цілком затримуються у верхніх дихальних шляхах. Більш дрібні частки проникають у легені, викликаючи різні захворювання. Частки розміром більш 100 мкм осідають на під топки, сплавляючись в шлаки. Аналіз золи і шлаку показує наявність у них ряду елементів зі змістом, значно перевищуючий їхній середній вміст у земній корі.



Елемент	Сер. вміст в літосфері, г/т	Сер. вміст в золі, г/т	Коефіцієнт збагачення
Бор	3.0	600	200
Германій	7.0	500	70
Мьш'як	5.0	500	100
Уран	2.0	400	200
Берилій	5.0	300	60
Срібло	0.1	2	20

# Теплові електростанції

# Послідовність операцій отримання електроенергії на теплових електростанціях



**Для спорудження великої ТЕС необхідна площа 2-3 км<sup>2</sup>. З врахуванням золо- і шлаковідвалів і водоймищ-охолоджувачів ця величина зростає до 3-4 км<sup>2</sup>. На цій території екологічна рівновага порушується. Великі градирні в системі охолодження істотно зволожують мікроклімат у районі станції, сприяють утворенню низької хмарності, туманів, дощів, що мрячать, у зимовий час - інею й ожеледі, поширення бактерій, мікроорганізмів.**

Енергетичне виробництво неможливе без втрат тепла. Ці втрати супроводжують весь технологічний цикл роботи ТЕС і визначаються ККД ТЕС, що виражається відношенням отриманої енергії ( $Q_{отр}$ ) до підведеної ( $Q_{підв}$ ), рівний добутку маси палива ( $B$ ) на нижчу теплоту його згоряння ( $Q_{низч}$ )

$$\eta = \frac{Q_{отр}}{Q_{підв}} = \frac{Q_{отр}}{B \cdot Q_{низч}} \cdot 100\%$$

ТЕС характеризується ККД = 40%, хоча на практиці ці значення рівні 33-37%. Знаючи ККД ТЕС можна визначити її теплову потужність

$$W_T = W_{эл} / 0,01\eta$$

Тоді теплові викиди в навколишнє середовище

$$W_B = W_T - W_{эл} = W_{эл} / 0,01\eta - W_{эл}$$

Ці викиди надходять у навколишнє середовище, в основному, на території станції.

**До основних взаємодій з навколишнім середовищем відноситься витрата палива, води, кисню повітря, зміна ландшафту, а також надходженням різноманітних відходів в довкілля.**

Основні показники викидів ТЕС потужністю 1000 МВт, що працюють на різних паливах протягом року: (у тис.т/рік)

Викиди	Вид палива і його витрати		
	газ; $1,9 \cdot 10^9$ м <sup>3</sup> /рік	мазут; $1,57$ $\cdot 10^6$ т/рік	Вугілля; $2,3$ $\cdot 10^6$ т/рік
SO <sub>x</sub>	0,012	52,66	139,00
NO <sub>x</sub>	12,08	21,70	20,88
CO	незначно	0,08	0,21
ТВ. частки	незначно	1,40	5,01

Викопне паливо добувається з надр і після збагачення і переробки подається в топку парогенератора (ПГ). Для забезпечення спалювання палива з атмосфери в топку подається повітря. Продукти згоряння, що утворюються, передають частину тепла робочому тілу енергетичної установки, частина розсіюється в навколишньому середовищі, а частина виноситься з продуктами згоряння в димар, а потім - в атмосферу. У залежності від складу вихідного палива продукти згоряння містять  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}_x$ ,  $\text{SO}_x$ ,  $\text{C}_m\text{H}_n$ , пари  $\text{H}_2\text{O}$  і інші речовини у твердому, рідкому і газоподібному станах.



Зола і шлак, що видаляються з топки, утворюють золошлаковідвали на поверхні літосфери. У паропроводах від парогенератора до турбіни (Т), та й в інших частинах устаткування відбувається передача тепла НС. У конденсаторі (К) робоче тіло віддає тепло, що залишилося, охолоджувальній воді. Перетворення механічної роботи в електроенергію в електрогенераторі (Г) теж супроводжується механічними й електричними втратами, що, у кінцевому рахунку, перетворюються в тепло, передане атмосфері. Робота обертових механізмів, трансформаторів, зв'язана з поширенням у навколишньому середовищі акустичних впливів, а робота підстанцій, ЛЕП, зв'язана з порушенням електромагнітних полів і тепловиділенням в навколишнє середовище.

Експлуатація сучасних ТЕС пов'язана з утворенням рідких відходів. До них відносяться:

- охолоджувальні води (від конденсаторів, насосів). Вони несуть теплове забруднення (мінімальне відхилення темп. =  $8^{\circ}$  на вході і виході з конденсатора), у кількості  $M(H_2O) = K \cdot W = (100-150) \cdot W$  т/година, що складає  $70-90 \text{ м}^3/\text{сек}$ .

( $W$  – потужність станції);

- Стічні води із системи гідрозоловидалення. рН 11-12, у них розчинені з'єднання Р, As, У, канцерогенні речовини. Тому такі води не скидають, а після очищення використовують повторно.

- відпрацьовані розчини після хімічного очищення устаткування. Вони дуже різноманітні через велику кількість застосовуваних промивних розчинів. Можуть містити мінеральні кислоти -  $HCl$ ,  $H_2SO_4$ ,  $HF$ ; органічні - лимонна, щавлева, мурашина, оцтова; їхньої суміші; комплексони; інгібітори корозії.

Води охолодження - особлива група, тому що з конденсаторів турбін виділяється від 50 до 75% усього тепла, одержуваного при спалюванні органічного палива. Тому з охолодженням конденсаторів зв'язують проблеми "теплого забруднення" водою стічними водами ТЕС. Про кількість тепла, що відводиться з охолоджувальною водою, можна судити по тому, що їхня одинична потужність досягла 4000-6000 МВт. Середня витрата охолоджувальної води і кількість тепла, що відводиться, що приходяться на 1000 МВт установленної потужності складають  $30\text{ м}^3/\text{сек}$  і 1,25 МВт.

Порушення природної рівноваги екосистем водойм і водотоків при скиданні в них нагрітої води зв'язують як із самим фактом підвищення температури води, так і з можливим зменшенням через це концентрації розчиненого кисню. Для деяких промислових риб гранична (летальна) температура  $37^{\circ}$ , а для більшості водяних організмів - від  $25$  до  $35^{\circ}$ . Загальне використання води ТЕС, що використовує органічне паливо на  $1$  ГВт при мінімальній різниці температур на вході і виході з конденсатора в  $8^{\circ}$  складає  $32-43$  м<sup>3</sup>/сек.

Одним з факторів впливу вугільних ТЕС на навколишнє середовище є викиди систем складування, транспортування, пилопідготування і золовидалення. При транспортуванні і складуванні можливо не тільки пилове забруднення, але і виділення продуктів окислювання палива.

Усе вищесказане відноситься до сталого режиму роботи. Для визначення сумарного впливу станції на навколишнє середовище необхідно враховувати нерівномірність енергоспоживання, пускові і перемінні режими роботи при яких вплив ТЕС на навколишнє середовище значно зростає. Наприклад, для блоку потужністю 300 МВт витрата палива на один пуск із холодного стану складає близько 200 т.у.п. Ефективність використання тепла і кількість викидів значно відрізняється від роботи при сталих режимах.

Оскільки у складі мінеральної частини більшості твердих палив містяться сполуки К, ізотоп якого  $^{40}\text{K}$  радіоактивний, а також суміш ізотопів урану і торію, можна прийти до висновку, що летуча зола є джерелом забруднення атмосфери радіоактивними елементами. Радіоактивність, обумовлена викидом  $^{40}\text{K} = 0,72\text{Ки/рік}$ , а  $^{238}\text{U} = 2,4\text{Ки/рік}$ , при цьому вважали, що в атмосферу потрапляє 1% золи палива, а 99% йдуть у відвал, тобто інша частина радіоактивних елементів забруднює літосферу у відвалі. При цьому потрібно враховувати пилування золовідвалів.

# Способи очищення відходячих газів

На ТЕС потужністю більше 300 Мвт очищення димових газів від золи здійснюється в електрофільтрах в яких ступінь очищення досягає 99 %. Принцип роботи електрофільтрів оснований на тому, що в проміжках між електродами створюється коронний розряд, який іонізує гази, що пропускаються через фільтр. Іонізований газ сорбується золовими частками і останні осаджуються на спеціальних осаджувальних електродах. Недоліком цього методу є споживання великої кількості електроенергії.

У мокрих золоуловлювачах частки золи уловлюються на плівці води, яка стікає по його стінках і відокремлюється від газу за допомогою відцентрової сили. Ефективність апарату не перевищує 90%. Видалена зола може використовуватися у сільському господарстві для луження кислих ґрунтів та в якості добрива. Крім того сланцева зола знаходить застосування у виробництві будівельних матеріалів.

# Екологізація роботи теплових електростанцій



**Паливо- буре вугілля.  
Продуктивність – 5000 МВт**

**Теплова електростанція  
м. Котбус (Німеччина)**





Для зниження викидів в атмосферу оксидів сірки у теперішній час існує декілька способів:

- сухий вапняковий спосіб очищення (додавання до твердого палива, яке спалюється, перед його роздробленням вапняку або доломіту)—ступінь очищення 30% ;
- застосування мокрих способів очищення димових газів від оксидів сірки (ступінь очищення –97,0%);
- очистка димових газів від двоокису сірки вапняком – ступінь очищення – 90–92%;

Для зниження викидів оксидів азоту при спалюванні енергетичних палив на ТЕС застосовують: рециркуляцію газів, двоступінчате спалювання, зменшення надлишку повітря, розосередження зони горіння в об'ємі топки та підвищення швидкості охолодження факела, зниження підігріву повітря, зменшення навантаження котлоагрегатів, вприскування води або пари та ін.

Впровадження нових технологій має відбуватись на засадах енергозбереження, тому що подальше зростання попиту на енергію буде супроводжуватися загостренням проблем з отримання енергетичних ресурсів і зростанням цін на енергію і ресурси. Україна має величезні резерви для економії енергії – наприклад, витрати електроенергії на освітлення квартир у 1,5 рази більше, ніж у більшості розвинених держав через масове використання ламп розжарювання (ККД яких становить 5-8%) у той час, як люміцентні лампи мають ККД 20–30 %, а світлодіодні - На виробництво 1 тонни цементу в Україні витрачається 237 кг умовного палива, а в Японії – 142. Питомі затрати в чорній металургії Японії на 20–30 % нижчі, ніж в Україні.

***Дякую за увагу***