

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ЕКСПЛУАТАЦІЯ
ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ
Частина 1
Основні принципи експлуатації

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

СУМИ – 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет
Кафедра енергетики та електротехнічних систем

ЕКСПЛУАТАЦІЯ
ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ
Частина 1
Основні принципи експлуатації

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

для здобувачів 4 та 3 с.т. курсу
освітньої програми «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
денної та заочної форм здобуття освіти
ступеню вищої освіти «бакалавр»

СУМИ – 2025

УДК 621.18(072)
Ч 44

Укладачі: **Чепіжний А.В.**, к.т.н., доцент кафедри енергетики та електротехнічних систем

Ч 44 Експлуатація теплоенергетичного обладнання : конспект лекцій. Частина 1. Основні принципи експлуатації / укл. А. В. Чепіжний, – Суми, 2025 – 46 с.

В конспекті лекцій частина 1 наведено основні принципи експлуатації теплоенергетичних установок, що використовуються в різних галузях їх основні параметри роботи.

Рецензенти:

Думанчук М.Ю., к.т.н., доцент кафедри технічного сервісу та галузевого машинобудування

Лобода В.Б., к.т.н., професор кафедри охорони праці та фізики

Відповідальний за випуск:

Чепіжний А.В. к.т.н., доцент кафедри енергетики та електротехнічних систем

Рекомендовано до видання Радою із забезпечення якості освітньої діяльності та якості вищої освіти інженерно-технологічного факультету.

Протокол №6 від __.__.____ року

ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН

№ з/п	Тема	Кількість годин
1	Фізико-хімічні властивості металів	2
2	Основні положення раціональної експлуатації енергетичного обладнання	2
3	Експлуатація обладнання котельних	2
4	Основи експлуатації котельних агрегатів барабанного та прямоточного типу	2
5	Система обслуговування турбіни	2
6	Експлуатація допоміжного обладнання турбоустановки	2
7	Робота турбіни в умовах пуску і останову	2
8	Вібраційна надійність турб агрегата	2
9	Робота обладнання на змінних режимах	2
10	Аналіз результатів обстежень теплових мереж	2
11	Налагодження систем гарячого водопостачання	2
12	Налагодження систем опалення	2
13	Випробування і налагодження вентиляційних систем	2
14	Налагодження систем кондиціонування повітря	2
ВСЬОГО		28

ВСТУП

Вивчення дисципліни «Експлуатація теплоенергетичного обладнання» дозволить сформулювати у здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня освіти теоретичних знань та практичних навичок з питань особливостей експлуатації різноманітного теплоенергетичного обладнання в тому числі і паротурбінних установок, а також навичок у вирішенні конкретних інженерних завдань по проектуванню, використанню теплоенергетичного обладнання та мереж. Також вивчення дисципліни «Експлуатація теплоенергетичного обладнання» в цілому ефективно вирішувати проблему теплопостачання аграрного виробництва.

Метою дисципліни «Експлуатація теплоенергетичного обладнання» є підготовка кваліфікованих інженерних кадрів в області експлуатації різного теплоенергетичного обладнання. Ефективне вирішення проблеми експлуатації можливо лише при умові врахування всіх складових системи теплопостачання, а також сучасних досягнень в області енергозбереження.

Дисципліна «Експлуатація теплоенергетичного обладнання» базується на вивченні дисципліни «Теплоенергетичні установки і системи АПВ», «Теплотехніка», «Гідравліка». Базуючись на отриманих знаннях при вивченні дисципліни «Експлуатація теплоенергетичного обладнання» здобувачі освіти впроваджують свої знання та практичні навички у вивчення дисциплін «Основи технічної експлуатації енергообладнання та засобів керування» та «Електротехнології та електроосвітлення».

Конспект лекцій з дисципліни «Експлуатація теплоенергетичного обладнання», частина 1 – основні принципи експлуатації призначена для вивчення питань пов'язаних з забезпеченням експлуатації різного теплоенергетичного обладнання теплових процесів та включає в себе лекційний матеріал з 1 по 6 тему з загального тематичного плану дисципліни.

ЗМІСТ

ЛЕКЦІЯ 1. ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МЕТАЛІВ.....	8
ЛЕКЦІЯ 2. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ.....	18
ЛЕКЦІЯ 3. ЕКСПЛУАТАЦІЯ ОБЛАДНАННЯ КОТЕЛЬНИХ.....	22
ЛЕКЦІЯ 4. ОСНОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ КОТЕЛЬНИХ АГРЕГАТІВ БАРАБАННОГО ТА ПРЯМОТОЧНОГО ТИПУ.....	32
ЛЕКЦІЯ 5. СИСТЕМА ОБСЛУГОВУВАННЯ ТУРБІНИ.....	35
ЛЕКЦІЯ 6. ЕКСПЛУАТАЦІЯ ДОПОМІЖНОГО ОБЛАДНАННЯ ТУРБОУСТАНОВКИ.....	40
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	45

ЛЕКЦІЯ 1. ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МЕТАЛІВ

План

1. Уявлення про метали.
 2. Класифікація металів.
 3. Особливості будови металів.
 4. Фізичні властивості металів.
- Список використаної літератури

1. Уявлення про метали

Слово «метали» походить від грецького metallon – шахта, копалина. Однак з часом наповнення терміна змінилося і тепер в нього вкладають інший зміст.

Метали – це речовини, які мають певні особливості у будові атомів і кристалів та за звичайних умов виявляють специфічні характерні властивості: високу електропровідність, теплопровідність, від’ємний температурний коефіцієнт електричної провідності, здатність добре відбивати світлові хвилі (блиск), пластичність.

Більшість металів достатньо поширена в природі. Так, вміст деяких металів в земній корі наступний: алюмінію – 8,2%, заліза – 4,1%, кальцію – 4,1%, натрію – 2,3%, магнію – 2,3% (в тому числі, в морській воді міститься натрію – 1,05% і магнію – 0,12%), калію – 2,1%, титану – 0,56%.

В природі метали зустрічаються у різних формах:

- у вільному стані – у вигляді самородків. До цієї групи належать виключно малоактивні метали, які називають дорогоцінними, або благородними (срібло, золото, платина, інколи мідь, ртуть);
- у зв’язаному стані – у формі складних сполук:
 - оксидів – простих (магнетит Fe_3O_4 , гематит Fe_2O_3) і змішаних (каолін $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, алуніт $(\text{Na},\text{K})_2\text{O} \cdot \text{AlO}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ та ін.);
 - солей: сульфідів (галеніт PbS , кіновар HgS) хлоридів (сильвін KCl , галіт NaCl , сильвініт $\text{KCl} \cdot \text{NaCl}$, карналіт $\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), сульфатів (барит BaSO_4 , ангідрид CaSO_4 , гіпс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), фосфатів (апатит $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$), карбонатів (крейда, мармур CaCO_3 , магнезит MgCO_3).

Очевидно, що метали середньої хімічної активності зустрічаються у формі оксидів чи сульфідів (FeO , ZnS), а більш активні метали – найчастіше у формі солей (NaCl , $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$).

Багато металів як домішки часто входять до складу основних природних мінералів і руд. Наприклад, скандій присутній в олов’яних і вольфрамових рудах, кадмій – в цинковій руді, ніобій і тантал – в олов’яних рудах, марганець, нікель, кобальт, молібден, титан, германій, ванадій – у залізняку.

Слід згадати, що золото, срібло і платина в малих кількостях присутні в морській воді, рослинах, живих організмах, відіграючи при цьому важливу роль. Відомо, що організм людини на 3% складається з металів: кальцію (у кістках) і натрію, що виступає в ролі електроліту в міжклітинній рідині і цитоплазмі, магній накопичується в м’язах і нервовій системі, мідь – у печінці, залізо – в крові.

З хімічної точки зору металами називаються прості речовини, атоми яких на зовнішній оболонці містять невелику кількість електронів (від одного до трьох), мають великі ефективні радіуси, низькі значення потенціалів іонізації та високі відновлювальні властивості.

До класу металів належать як власно метали (прості речовини), так і їх сплави. Іноді металами називаються всі речовини, яким притаманні ті чи інші металічні властивості, наприклад, органічні метали, «синтетичні» метали інтеркалати – електропровідні сполуки, що утворюються внаслідок впровадження деяких реагентів у міжшаровий простір кристалічної решітки речовин з шаруватим типом структури.

Серед 118 вивчених елементів 95 вважаються металами, хоч межа між металами й неметалами в періодичній системі є досить умовною – від В до At (рис. 1.1). Однак слід зауважити, що існує група елементів, що виявляють проміжні властивості, – напівметали.

Легенда:

- Лужні метали
- Лужноземельні метали
- Перехідні d-метали
- Амфотерні p-метали
- Напівметали
- Неметали
- Галогени
- Інертні елементи

Рисунок 1.1 – Розташування металів та неметалів у Періодичній системі елементів

Напівметали – хімічні елементи, що займають проміжну позицію за своїми електрофізичними властивостями між власно металами і напівпровідниками.

Важливою ознакою напівметалів є достатньо висока електропровідність при абсолютному нулі, яка на відміну від звичайних металів, зростає з підвищенням температури. Напівметали характеризуються менш щільною кристалічною структурою порівняно з металами і анізотропними властивостями.

Анізотропія – нерівноцінність фізичних властивостей (механічних, оптичних, електричних тощо) речовини залежно від кристалографічного напрямку.

До напівметалів відносять германій Ge, миш'як As, сурму Sb, олово Sn, інколи – вісмут Bi, полоній Po, астат At і телур Te, а також алотропну модифікацію Карбону – графіт. Напівметали за хімічними властивостями більше походять на неметали, але за типом електричної провідності – на провідники.

Крім металів, напівметалів і неметалів, є ще одна група елементів – напівпровідники, що відрізняються особливим типом електричної провідності.

Напівпровідники – речовини, які за своєю питомою провідністю займають проміжне місце між провідниками і діелектриками і відрізняються від провідників сильною залежністю питомої провідності від концентрації домішок, температури і дії різних видів випромінювання.

Основною властивістю напівпровідників є збільшення електричної провідності із зростанням температури. До напівпровідників належать багато хімічних елементів (Германій Ge, Кремній Si, Селен Se, Станум Sn, Телур Te, Арсен As та інші), величезна кількість сплавів і хімічних сполук. Найпоширенішим в природі напівпровідником є кремній Si, що становить майже 30% земної кори.

На перший погляд здається, що у віднесенні деяких хімічних елементів одночасно до напівметалів і напівпровідників (Ge, As, Sb, Sn) або до напівпровідників і неметалів (Карбон C) криється протиріччя. Однак насправді такий збіг пояснюється явищем поліморфізму.

Поліморфізм – це здатність однієї речовини утворювати у твердому стані різні кристалічні структури, що відрізняються одна від одної не тільки будовою кристалічних решіток, але і властивостями.

Наприклад, Олово може існувати як у металічній (β -Sn), так і в напівпровідниковій модифікаціях (α -Sn), для однієї поліморфної модифікації хімічного елемента Арсену As – сірого миш'яку – характерні електропровідність і металевий блиск, у той час як інша поліморфна модифікація – жовтий миш'як – є типовим неметалом. З іншого боку, у Германію Ge, Кремнію Si і навіть Фосфору P за умов високого тиску знайдені модифікації з металічною електро- і теплопровідністю.

Поліморфні модифікації металів у міру зростання їх температур плавлення позначають буквами грецького алфавіту: найбільш низькотемпературній модифікації надають символ α , потім β і т.д.

2 Класифікація металів

Існує багато класифікацій металів – залежно від характерної ознаки, яка розглядається. При цьому один і той самий метал може одночасно належати до різних класифікаційних груп. З точки зору хімії найважливішою є класифікація на підставі електронної будови атомів. Однак для інженера-фахівця корисно мати уявлення і про інші класифікації металів: за поширенням у природі, за фізичними властивостями тощо.

Геохімічна класифікація, яка склалася історично, поділяє метали на чорні та кольорові. Слід зазначити, що геохімічна класифікація дещо не співпадає з тією, що прийнята в металургії, згідно з якою до чорних металів відносять тільки залізо та сплави на його основі, а до кольорових – решту металів. А згідно з геохімічною класифікацією до групи чорних металів входить достатньо велика їх кількість.

Чорні метали, серед яких найтипівішими є залізо Fe, марганець Mn, хром Cr тощо (рис. 1.2). Ці метали мають темно-сіре забарвлення, високу температуру плавлення, велику твердість. Для деяких з них характерне явище поліморфізму (залізо Fe, кобальт Co, марганець Mn, титан Ti, цирконій Zr, уран U); кольорові метали, що мають біле, жовте чи червоне забарвлення, низьку температуру плавлення, невелику твердість (рис. 1.3). Найтипівіший представник – мідь Cu.



залізо

хром

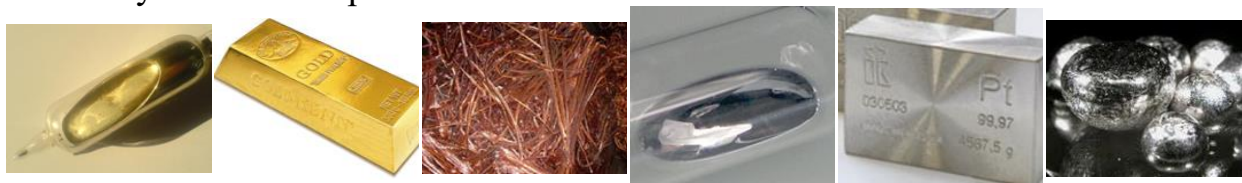
марганець

нікель

титан

цирконій

Рисунок 1.2 – Чорні метали



цезій

золото

мідь

ртуть

платина

родій

Рисунок 1.3 – Деякі кольорові метали

За електронною конфігурацією валентних орбіталей метали поділяються на електронні родини:

- s-метали – лужні та лужноземельні метали, а також Магній Mg і Берилій Be;

- p-метали – Алюміній Al, Галій Ga, Індій In, Талій Tl (головна підгрупа III групи), Германій Ge, Станум Sn, Плюмбум Pb (головна підгрупа IV групи), Вісмут Bi (головна підгрупа V групи), Полоній Po (головна підгрупа VI групи);

- d-метали – елементи I-VIII побічних підгруп періодичної системи;

- f-метали – лантаноїди і актиноїди.

Перші дві групи (s- і p-метали) іноді називають прості метали, а дві останні (d- і f-метали) – перехідні метали, оскільки вони виконують функцію неначе сполучальної ланки між s- і p-металами і виявляють вторинну періодичність у змінюванні потенціалів іонізації, атомних радіусів, фізичних і хімічних властивостей.

За природним походженням (тобто за сумісним знаходженням в одних і тих же мінералах, гірських породах чи рудних копалинах) метали поділяють на такі групи:

- лужні метали, до яких належать літій Li, натрій Na, калій K, рубідій Rb, цезій Cs, францій Fr;

- лужноземельні метали – це кальцій Ca, стронцій Sr, барій Ba, радій Ra;

- родина заліза – залізо Fe, кобальт Co, нікель Ni;

- платинові метали, що представлені рутенієм Ru, осмієм Os, паладієм Pd, родієм Rh, іридієм Ir, платиною Pt;

- лантаноїди – 14 металів, що стоять у періодичній системі елементів після лантану 57La – від церію 58Ce до лютецію 71Lu; інколи до цієї групи відносять і сам лантан; серед лантаноїдів є один радіоактивний метал – прометій 61Pm;

- актиноїди – 14 металів після актинію 89Ac, починаючи від торію 90Th і закінчуючи лоуренсієм 103Lr; як і у випадку лантаноїдів, до родини актиноїдів часто приєднують і актиній; всі актиноїди є радіоактивними елементами, причому в природі знайдені тільки торій Th, радій Ra, уран U, нептуній Np, плутоній Pu і актиній Ac, а решта, від америцію 95Am до лоуренсію 103Lr, одержані штучно;

- рідкоземельні метали – скандій Sc, ітрій Y, лантан La і лантаноїди.

За конструкційними властивостями з урахуванням механічних, фізичних, хімічних та інших особливостей метали поділяються на численні групи, наприклад:

- важкі метали, густина яких перевищує 5г/см^3 , наприклад: мідь Cu, цинк Zn, свинець Pb, ртуть Hg, найважчим металом є осмій Os, густина якого дорівнює $22,6\text{г/см}^3$ (рис. 1.4);

- легкі метали, що мають густину менше 5г/см^3 , наприклад: калій K, натрій Na, магній Mg, алюміній Al, найлегший метал – літій Li з густиною $0,53\text{г/см}^3$ (рис. 1.4);

- легкоплавкі метали, температури плавлення яких не перевищують 1500°C ; до них належать францій Fr ($T_{\text{пл}} = 18-21^\circ\text{C}$), цезій Cs ($T_{\text{пл}} = 28,5^\circ\text{C}$), галій Ga ($T_{\text{пл}} = 29,1^\circ\text{C}$), калій K ($T_{\text{пл}} = 62,3^\circ\text{C}$), натрій Na ($T_{\text{пл}} = 97,8^\circ\text{C}$), олово Sn ($T_{\text{пл}} = 231,85^\circ\text{C}$), свинець Pb ($T_{\text{пл}} = 327,4^\circ\text{C}$), а найлегкоплавкішою є ртуть Hg, температура плавлення якої дорівнює $T_{\text{пл}} = -38,9^\circ\text{C}$ (рис. 1.4);

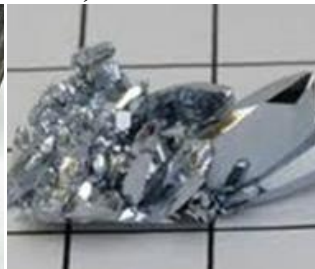
- тугоплавкі метали, температури плавлення яких вище 1500°C : залізо Fe ($T_{\text{пл}} = 1539^\circ\text{C}$), молібден Mo ($T_{\text{пл}} = 2620^\circ\text{C}$), осмій Os ($T_{\text{пл}} = 3030^\circ\text{C}$); найтугоплавкіший метал – вольфрам W, температура плавлення якого складає $T_{\text{пл}} = 3420^\circ\text{C}$ (рис. 1.4);

- благородні метали, які виявляють підвищену хімічну стійкість до окиснювальних і агресивних реагентів; благородними металами є золото Au, срібло Ag, платина Pt, паладій Pd, родій Rh, іридій Ir, рутеній Ru, осмій Os;

- радіоактивні метали – це метали, всі ізотопи яких мають радіоактивні властивості: технецій 43Tc, прометій 61Pm, полоній 84Po і всі метали з більшими, ніж у полонію, атомними номерами.



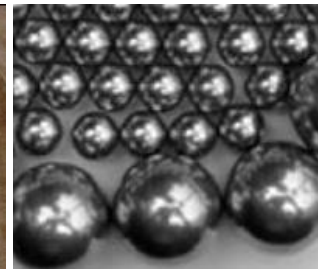
літій –
найлегший метал
($0,53\text{г/см}^3$)



осмій –
найважчий метал
($22,6\text{г/см}^3$)



ртуть –
найлегкоплавкіш
ий метал ($T_{\text{пл}} = -$
 $38,9^\circ\text{C}$)



вольфрам –
найтугоплавкіший
метал ($T_{\text{пл}} =$
 3420°C)

Рисунок 1.4 – Деякі фізичні властивості металів

За походженням виділяють такі групи:

- природні метали, які входять до складу природних сполук. Це метали від літію Li до плутонію (^{94}Pu);
- штучні метали, що утворюються внаслідок ядерних реакцій. Окрему групу складають радіоактивні елементи, яких відомо 27: технецій ^{43}Tc , прометій ^{61}Pm , полоній ^{84}Po та всі елементи, що розміщуються в періодичній системі за полонієм.

За розповсюдженням у природі всі метали можна поділити на три умовні групи:

- поширені метали – це, по-перше, алюміній Al, залізо Fe, кальцій Ca, натрій Na, калій K, магній Mg, які разом з неметалами Оксигеном O і Силіцієм Si становлять 98,53% від маси земної кори, а також цинк Zn, мідь Cu, марганець Mn, барій Ba, стронцій Sr та хром Cr. На всі інші елементи припадає лише 0,85%;
- рідкі метали – малопоширені у природі або маловивчені метали, вміст яких у земній корі надто низький, наприклад: літій Li, рубідій Rb, цезій Cs, молібден Mo, вольфрам W, берилій Be, цирконій Zr, гафній Hf, ванадій V, ніобій Nb, тантал Ta;
- розсіяні метали – метали, що не утворюють власних родовищ і самостійних мінералів, а знаходяться з іншими металами як домішки, наприклад, германій Ga, цезій Cs.

3. Особливості будови металів

У атомів металів на зовнішньому енергетичному рівні міститься невелика кількість валентних електронів (один, два чи – дуже рідко – три), слабо сполучених із ядром завдяки великим атомним радіусам та екранувальній дії внутрішніх електронних шарів. Валентні електрони можуть досить легко відриватися від атомів металів і становитися спільними для всього кристалу металу. Внаслідок цього в кристалічній решітці виникають позитивно заряджені іони металу та електронний газ – сукупність рухливих електронів, які вільно пересуваються по кристалу металу (рис. 1.5).

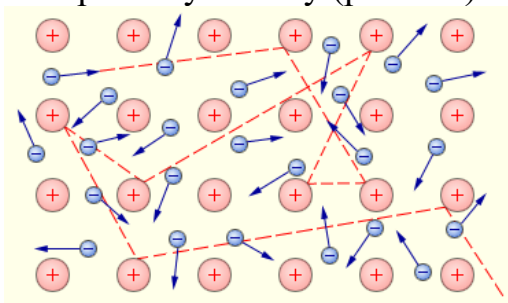


Рисунок 1.5 – Вільне переміщення електронного газу між вузлами кристалічної решітки в кристалі металу

Металічний зв'язок – це тип хімічного зв'язку в металах та їх сплавах, обумовлений взаємодією електронного газу, утвореного внаслідок усупільнення валентних електронів, з остовом кристалічної решітки металу, у вузлах якої розміщуються позитивно заряджені іони металів.

Як наслідок кристал металу являє собою сукупність позитивних іонів, локалізованих у певних положеннях кристалічної решітки, і велику кількість електронів, що порівняно вільно пересуваються в полі позитивних центрів. Загальна сума зарядів електронів відповідає загальній сумі позитивних зарядів вузлових частинок.

Просторова будова металів – це кристал, який можна уявити як клітку з позитивно зарядженими іонами у вузлах, занурену в негативно заряджений електронний газ (рис. 9.6). Всі атоми віддають свої валентні електрони на утворення електронного газу, що вільно переміщуються усередині кристалу, не порушуючи хімічного зв'язку.

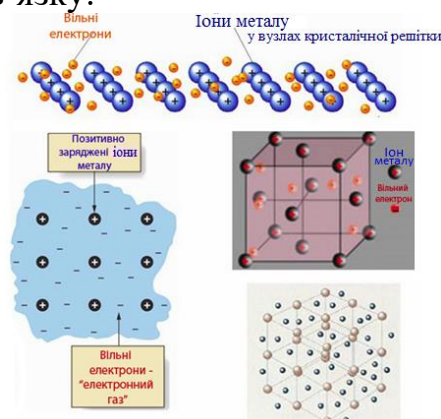


Рисунок 1.6 – Різновиди моделей металічного зв'язку

Електронна конфігурація атомів металів є причиною таких найважливіших властивостей металічного зв'язку:

- багатоцентровість – одночасне виникнення хімічного зв'язку між величезною кількістю вузлових частинок у кристалі; саме багатоцентровість забезпечує високу теплопровідність металів;
- багатоелектронність – здійснення хімічного зв'язку за рахунок усупільнення всіх валентних електронів, що знаходяться в кристалі металу; багатоелектронність зумовлює електропровідність металів;
- ізотропність, або ненапрявленість – рівномірний розподіл електронної густини за всіма напрямками; при цьому валентні електрони жорстко не закріплюються між двома атомами, як при ковалентному зв'язку, а переходять у стан провідності, внаслідок чого повністю делокалізуються і належать не одному конкретному атому, а однаковою мірою всім іонам у вузлах кристалічної решітки;
- ненасиченість – можливість утворення хімічних зв'язків між невизначеною кількістю атомів, яка обмежується лише геометричними параметрами (розмірами атомів) і взаємним відштовхуванням однойменно заряджених вузлових частинок; ненасиченістю пояснюються великі координаційні числа (як правило, 8 чи 12), які показують кількість найближчих вузлів кристалічної решітки, що оточують даний вузол.

Металічний зв'язок у чистому вигляді реалізується тільки у лужних і лужноземельних металів, а в решті металів поряд із металічним здійснюється і ковалентний зв'язок. У р-металах і особливо у перехідних d-металах тільки

невелика частина електронів перебуває у стані усупільнення. Наприклад, у типовому перехідному металі ніобії Nb на один атом припадає всього 1,2 узагальнених делокалізованих електронів. Інші валентні електрони утворюють напрямлений ковалентний зв'язок між сусідніми атомами. Саме цим пояснюються високі температури плавлення та велика механічна міцність d-металів.

Металічний зв'язок внаслідок наявності вільних електронів (електронного газу) та їх рівномірного розподілу по кристалу зумовлює характерні загальні властивості металів і сплавів, зокрема, високу тепло- та електропровідність, пластичність (здатність без руйнування зазнавати деформації при звичайних чи підвищених температурах), непрозорість і металічний блиск, зумовлений їх здатністю відбивати світло.

Великі координаційні числа металів забезпечують значну щільність пакування кристалу – так називають частку об'єму елементарної кристалічної комірки, безпосередньо зайняту іонами металу, при якій вони укладаються у просторі як кульки однакового розміру. Структура металічних кристалів визначається у першу чергу просторово-геометричними чинниками – намаганням атомів розміститися якомога щільніше.

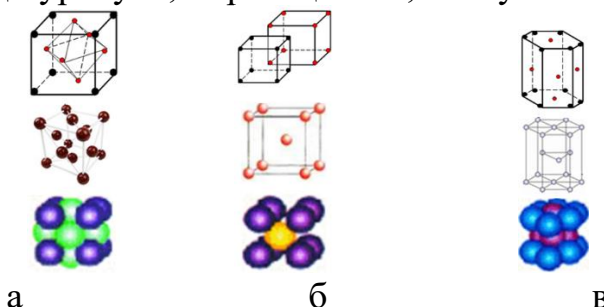
Для металів найбільш характерними є три типи кристалічної решітки:

- кубічна гранецентрована з координаційним числом 12 і щільністю пакування 74% (рис. 1.7а), така решітка утворюється при кристалізації металів: алюмінію Al, кальцію Ca, міді Cu, срібла Ag, золота Au, а також поліморфної модифікації заліза Fe в інтервалі температур 911-1392^oC;

- кубічна об'ємноцентрована з координаційним числом 8 і щільністю пакування 68% (рис. 1.7б); таку решітку мають метали літій Li, натрій Na, калій K, ванадій V, вольфрам W, хром Cr, свинець Pb, а також поліморфні модифікації заліза Fe до температури 911^oC та від 1392^oC до точки плавлення;

- гексагональна з координаційним числом 12 і щільністю пакування 74% (рис. 1.7в), в якій кристалізуються метали берилій Be, магній Mg, кадмій Cd, титан Ti, кобальт Co, цинк Zn.

Тільки незначна кількість металів має кристалічні структури, відмінні від розглянутих простіших типів, наприклад: ртуть Hg, індій In, окремі поліморфні модифікації урану U, марганцю Mn, нептунію Np.



а – кубічна гранецентрована (Ca, Cu, Au, Ag, Al);

б – кубічна об'ємноцентрована (Li, Na, K, Ba, Mo, W, Cr, Pb, V);

в – гексагональна (Be, Mg, Zn, Ti, Cd, Zn, Co)

Рисунок 1.7 – Різновиди моделей кристалічних решіток металів

Під час кристалізації металів (наприклад, у процесі охолодження розплавів) одночасно утворюється величезна кількість дрібних кристаликів, які заважають один одному вирости і набутти правильної форми. Тому будь-який металевий виріб має полікристалічну структуру, що складається із великої кількості дрібних кристаликів – їх називають кристаліти, або зерна, які на відміну від чітко огранених монокристалів інших неорганічних речовин мають неправильну форму і різну просторову орієнтацію. З цієї причини в кристалічній структурі металів виникають дефекти, які суттєво впливають на фізичні властивості металів.

4. Фізичні властивості металів

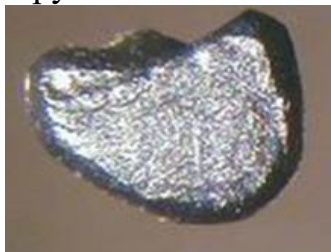
Особливості будови атомів металів та їх кристалічної структури зумовлюють певні оптичні, механічні, теплові, електромагнітні та інші ознаки, сукупність яких складає фізичні властивості металів.

I. Оптичні властивості металів.

Металевий блиск – властивість, яка зумовлюється здатністю металів майже повністю відбивати світлові промені будь-якої довжини спектру. Цим пояснюється білий чи сірий колір більшості металів. Частка світла, що поглинається, визначає інтенсивність блиску. Найяскравіше блищать паладій, іридій та срібло (рис. 1.8). Однак деякі метали (золото, мідь, цезій) сильніше поглинають світло з певними довжинами хвиль, тому вони забарвлені в жовті чи червоні кольори. У порошкоподібному стані більшість металів набуває чорного чи темно-сірого кольору.



паладій



іридій



срібло

Рисунок 1.8 – Метали з найсильнішим блиском

Непрозорість металів пов'язана із наявністю в кристалічній решітці вільних рухливих електронів, які гасять світлові коливання, перетворюючи їх у теплоту чи, в деяких випадках, використовуючи їх енергію для вивільнення електронів зі своєї поверхні (явище фотоефекту).

II. Механічні властивості металів.

Пластичність – здатність без руйнування піддаватися деформаціям за умов звичайних чи підвищених температур, завдяки чому метали можна кувати, прокатувати, штампувати, витягувати в дріт тощо. Найбільш пластичний метал – золото. Пластичність металів забезпечується специфічними особливостями металічного зв'язку: завдяки багатоцентровості та багатоелектронності він не розривається при дії механічних навантажень, які викликають тільки зміщення (ковзання) окремих шарів кристалічної

решітки один відносно одного і перерозподіл електронного газу, що зв'язує атоми металу.

Густина – вагова характеристика механічних властивостей, залежно від якої метали поділяються на легкі та важкі. Як вже зазначалося, до легких металів, густина яких не перебільшує 5г/см^3 , належать всі s-метали, алюміній, титан і скандій, а до важких – в основному d-метали V-VII періодів. Найлегший метал – літій ($0,53\text{г/см}^3$), найважчий – осмій ($22,6\text{г/см}^3$).

Твердість – опір проникненню у метал іншого твердого тіла. Найтвердішими металами є хром, молібден і вольфрам, а найменш твердими – індій та лужні метали.

III. Теплові властивості.

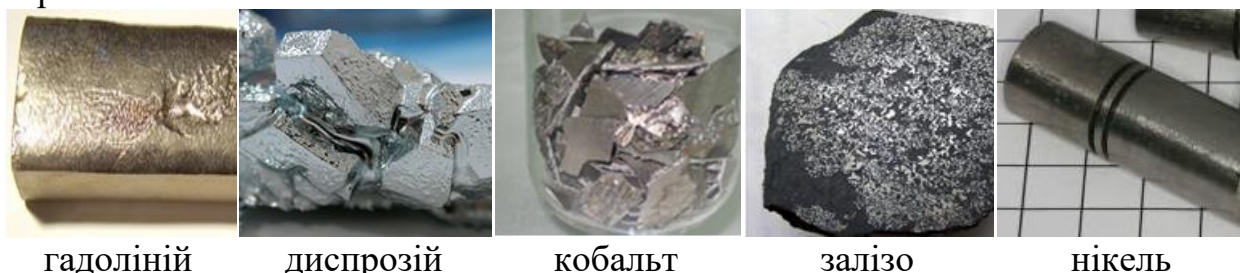
Теплопровідність металів пояснюється тим, що вільні електрони обмінюються енергією з іонами, які знаходяться у вузлах кристалічної решітки. При нагріванні металу коливання іонів на його поверхні зростають, а енергія коливань через електронний газ миттєво передається сусіднім іонам, тому відбувається швидке вирівнювання температури по всій масі металу.

Питома теплоємність для більшості металів має невисокі значення (менше $0,84\text{Дж/г}\cdot\text{К}$), але все ж таки може коливатися у достатньо широкому діапазоні від $3,55\text{Дж/г}\cdot\text{К}$ у літію до $0,115\text{Дж/г}\cdot\text{К}$ в урану.

IV. Електромагнітні властивості.

Електрична провідність зумовлюється наявністю зони провідності, на яку здатні легко переходити валентні електрони, що і забезпечує електропровідність металу. Максимальна електропровідність притаманна для металів, в атомах яких на зовнішньому s-підрівні міститься по одному електрону, це – хром, молібден і особливо мідь, срібло, золото.

Магнітна сприйнятливість – це міра магнітних властивостей металів, які визначають їх поведінку у магнітному полі. Метали з негативною магнітною сприйнятливістю, які виявляють опір магнітним силовим полям, називаються діамагнітні метали. До них належать берилій, цинк, кадмій, ртуть, галій, германій. Метали з позитивною магнітною сприйнятливістю, які добре проводять магнітні силові поля, називають парамагнітні метали, а метали з особливо високою магнітною сприйнятливістю – феромагнітні метали (рис. 1.9). Парамагнітними є лужні, лужноземельні метали і метали побічних підгруп, а феромагнітними – тільки залізо, кобальт, нікель, гадоліній і диспрозій. Феромагнетизм зберігається лише до певної критичної температури – так званої точки Кюрі, – вище якої залишаються звичайні парамагнітні властивості.



гадоліній

диспрозій

кобальт

залізо

нікель

Рисунок 1.9 – Феромагнітні метали

ЛЕКЦІЯ 2. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

План

1. Основні принципи раціональної експлуатації турбінних установок.
2. Режими експлуатації турбінних установок.

1. Основні принципи раціональної експлуатації турбінних установок

У експлуатації ПТУ та парових турбін пред'являються дві основні вимоги: надійність та економічність.

Під надійністю ПТУ розуміють її здатність видавати передбачену потужність за заданих умов і режимів експлуатації. Надійність ПТУ, як складної системи визначається надійністю її обладнання: турбіни, конденсаційної установки, живильних та конденсаційних насосів, деаераторів, нагрівачів та інших. Чим вищий рівень надійності елементів ПТУ, тим вищою є його загальна надійність.

Подією, що полягає у порушенні працездатності ПТУ, називають відмовою. Властивість ПТУ або турбіни безперервно зберігати працездатність називається безвідмовністю. Повністю досягти безвідмовності неможливо через наявність дефектів, природного зношування, помилок у виробництві та експлуатації: рано чи пізно трапляється відмова.

Кількісною мірою безвідмовності є наробіток на відмову – середня сумарна (без урахування перерв) тривалість роботи між відмовами. Державний стандарт вимагає, щоб при дотриманні правил технічної експлуатації турбіни потужністю 500 МВт і більше вона мала наробіток на відмову не менше 6250 годин, а меншої потужності – не менше 7000 годин.

Властивість ПТУ або турбіни, що полягає у здатності запобігати та виявляти причини відмов і пошкоджень, а також усувати їхні наслідки шляхом ремонту та технічного обслуговування, називається ремонтпридатністю.

Процес виявлення та усунення пошкодження ПТУ або турбіни з метою відновлення працездатності (відновлення) називається відновленням, а час цього процесу – часом відновлення.

Для підтримання високої надійності обладнання проходить технічне обслуговування, поточний, середній або капітальний ремонт.

Під час поточного й середнього ремонту замінюють або відновлюють пошкоджені деталі й вузли, контролюють справність і технічний стан інших вузлів згідно з нормативно-технічною документацією.

Під час капітального ремонту здійснюється повне відновлення працездатності. Капітальний ремонт потужних турбін енергоблоків за нормами триває 50-60 днів.

Міжремонтний період – це час між капітальними ремонтами.

Державний стандарт вимагає, щоб міжремонтний період становив не менше 6 років.

Показники безвідмовності та ремонтпридатності тісно пов'язані: обладнання, яке працює з частими відмовами навіть при коротких часах відновлення (наприклад, через помилкове спрацювання захисту), або з

рідкими відмовами, але з тривалими часами відновлення (через пошкодження потоку), однаково ненадійне.

Для комплексної оцінки надійності застосовують коефіцієнт готовності – відношення наробітку на відмову до суми наробітку на відмову і часу відновлення.

У освоєних турбінах коефіцієнт готовності становить 98-99 %, у тих, що освоюються – 60-65 %.

Державний стандарт вимагає, щоб коефіцієнт готовності турбін був не менше 98 %.

До показників надійності також належать безпека та довговічність.

Безпекою вважається властивість запобігати ситуаціям, небезпечним для обслуговуючого персоналу та навколишнього середовища.

Довговічність обладнання – це його здатність зберігати працездатність протягом певного граничного ресурсу або тривалого часу (терміну служби).

Стандарт вимагає, щоб тривалість служби турбіни становила не менше 40 років.

Основним показником економічності турбінної установки є питома витрата теплової енергії на виробництво однієї одиниці електроенергії, а для електростанції – витрата умовного палива на виробництво однієї одиниці електроенергії.

Слід підкреслити, що вимоги до надійності та економічності тісно пов'язані: ненадійна установка не може бути економічною.

Задача експлуатації – забезпечити максимальну економічність при високій надійності.

2. Режими експлуатації турбінних установок

Турбіна та турбінна установка можуть працювати у найрізноманітніших режимах. Ці режими можна поділити на стаціонарні та нестаціонарні.

Стаціонарний режим відповідає роботі турбіни при певному фіксованому навантаженні. У цьому режимі параметри пари в проточній частині та температурний стан її деталей не змінюються з часом. Стаціонарна робота може здійснюватися при номінальному або частковому навантаженні.

Під номінальною потужністю конденсаційних турбін та турбін із протидією розуміють найбільшу потужність, яку має довготривало розвивати турбоагрегат при номінальних значеннях усіх основних параметрів: початковому тиску та температурі, температурі проміжного перегріву, температурі нагрівальної та охолоджуючої води; при цьому мають використовуватися всі зовнішні нерегульовані відбори пари, передбачені при проектуванні установки.

Аналогічно визначаються і номінальні потужності теплофікаційних турбін із регульованими відборами пари. До основних параметрів тут входять також значення відборів та межі зміни ряду величин, наприклад, параметрів гарячої пари, тиску у відборах, за яких має забезпечуватися номінальна потужність.

Під частковим навантаженням розуміють режим роботи, коли потужність або значення регульованих відборів пари менше за номінальні. Часто роботу за часткового навантаження називають змінним режимом. Це назва історично склалася і носить умовний характер: колись в умовах великого дефіциту потужності турбіни місяцями працювали без зупинок у номінальному режимі, і кожне відхилення від нього сприймалося як перемінний режим. У подібному сенсі до перемінного режиму можна віднести і роботу турбіни та турбінної установки при відхиленнях параметрів гарячої пари, проміжного перегріву чи відпрацьованої пари, відхиленнях у тепловій схемі тощо.

Більшість турбін може розвивати потужність, що перевищує номінальну. Під максимальною потужністю конденсаційної турбіни розуміють найбільшу потужність, яку вона може довготривало розвивати при номінальних значеннях усіх основних показників, але без відбору пари для зовнішніх споживачів теплоти.

Теплофікаційні турбіни розвивають максимальну потужність при зменшенні регульованих відборів або зміні параметрів у відборах до передбачених меж; інші параметри при цьому залишаються номінальними.

До недавнього часу стаціонарний режим роботи (як правило, на номінальному навантаженні) був основним для ПТУ; турбіна зупинялася кілька разів на рік або для проведення поточних або планових ремонтів, або через несправності.

Зараз для ТЕС, що працюють на органічному паливі, більш важливу роль почали грати нестаціонарні режими, при яких змінюються параметри у турбіні та тепловий стан турбоагрегату.

Найскладнішим з нестаціонарних режимів є пуск ПТУ, що включає багато операцій перед імпульсом ротору парою, поворот ротора, включення генератора до мережі і набір навантаження.

Багато турбоагрегатів, наприклад, з докритичним тиском, використовуються у режимі щоденних запусків. А блоки з надкритичним тиском наразі не можуть застосовуватися у таких режимах для запобігання істотному зношуванню та зниженню економічних показників.

У найкращому випадку їх зупиняють один раз на тиждень (на суботу та неділю).

До нестаціонарних режимів належать різкі зміни навантаження (скидання і накидання), а також зупинка турбіни (зняття навантаження, відключення від мережі, охолодження ротору).

Крім названих стаціонарних і нестаціонарних режимів, кожен турбоагрегат має бути пристосований до аварійних режимів, що не можна виключати через несправності або дефекти в обладнанні енергоблоку чи самої турбіни.

Деякі турбоагрегати працюють у специфічних режимах, наприклад, у безпарному режимі або режимі синхронного компенсатора.

Нижче основну увагу буде зосереджено на принципах надійної та економічної експлуатації турбін і ПТУ в різних режимах.

Зазначимо, що кожна турбоустановка забезпечується інструкціями з експлуатації, у яких чітко вказано, що і в якій послідовності потрібно робити у тій чи іншій ситуації.

Кожен машиніст має добре знати цю інструкцію.

Наша головна задача – пояснити, чому в інструкціях передбачено виконання тих чи інших заходів або обмежень, і чому потрібна строгість у послідовності операцій, особливо при ліквідації найнебезпечніших несправностей.

ЛЕКЦІЯ 3. ЕКСПЛУАТАЦІЯ ОБЛАДНАННЯ КОТЕЛЬНИХ

План

1. Реєстрація, технічне опосвідчення і дозвіл на експлуатацію парових і водогрійних котлів.
2. Режимно-налагоджувальні роботи.

1. Реєстрація, технічне опосвідчення і дозвіл на експлуатацію парових і водогрійних котлів

Реєстрація. Парові котли з робочим тиском (тут і далі за текстом - надлишковим) більше 0,07 МПа, водогрійні котли з температурою води вище 115°C до пуску в роботу повинні бути зареєстровані в органах ЕТЦ.

Парові котли з надлишковим тиском пари не більше 0,97 МПа, водогрійні котли і водопідігрівачі з температурою нагріву води не вище 115°C до пуску в роботу підлягають реєстрації в місцевих органах Держнаглядохоронпраці України, за винятком:

- парових і водогрійних котлів цих параметрів з поверхнею нагріву менше 6 м²;

- водопідігрівачів (бойлерів) незалежно від тиску і температури.

Реєстрація проводиться на підставі письмової заяви власника котла або організації, яка його орендує. При реєстрації повинні бути подані:

- паспорт;
- акт про справність котла, якщо він прибув з заводу-виготовлювача в зібраному стані (або був переставлений з одного місця на інше);
- посвідчення про якість монтажу;
- креслення приміщення котельні (план і поперечний переріз, а при необхідності - і повздовжній переріз);
- довідка про відповідність водопідготовки проекту;
- довідка про наявність та характеристики живильних пристроїв і відповідність їх проекту;

- Інструкція з монтажу і експлуатації заводу – виготовлювача котла.

Перелічені документи повинні бути підписані керівником підприємства та прошиті разом із паспортом котла. Котли пересувних котельних установок повинні реєструватися в органі ЕТЦ за місцем їх експлуатації.

Перереєстрація котла або водопідігрівача в органах ЕТЦ або в місцевих органах Держнаглядохоронпраці України повинна бути проведена:

- при реконструкції;
- після демонтажу і встановлення на новому місці;
- при переведенні їх на інший режим роботи;
- при передачі котла іншому власникові.

Для зняття з обліку зареєстрованого котла чи водопідігрівача власник зобов'язаний подати в орган ЕТЦ або в місцевий орган Держнаглядохоронпраці України заяву з обґрунтуванням причин зняття і паспорт котла (водопідігрівача). При відсутності паспорта заводом-виготовлювачем направляється його дублікат. У випадку відсутності дубліката складається в установленому порядку новий паспорт.

Технічне опосвідчення. Кожний котел підлягає технічному опосвідченню до пуску в роботу, періодично в процесі експлуатації і, в необхідних випадках – позачерговому. Технічні опосвідчення проводяться експертами ЕТЦ. Періодичне технічне опосвідчення допускається проводити фахівцями організацій, підприємств, установ, які мають дозвіл Держнаглядохоронпраці України, отриманий в установленому порядку.

Опосвідчення пароперегрівачів і економайзерів, які складають з котлом один агрегат, проводиться одночасно з котлом. Котел повинен бути зупинений не пізніше терміну опосвідчення, зазначеного в його паспорті. Власник котла не пізніше ніж за 5 днів зобов'язаний повідомити ЕТЦ або організацію, підприємство, установу, які мають дозвіл Держнаглядохоронпраці України, про опосвідчення котла, яке має відбутися.

Технічне опосвідчення котла складається із зовнішнього, внутрішнього оглядів і гідравлічного випробування. При технічному опосвідченні допускається використовувати методи неруйнівного контролю, в тому числі метод акустичної емісії.

Зовнішні і внутрішні огляди мають за мету:

а) при первинному опосвідченні перевірити, що котел встановлений і обладнаний відповідно до даних Правил і пред'явлених при реєстрації документів, а також, що котел і його елементи не мають пошкоджень;

б) при періодичних і позачергових опосвідченнях встановити справність котла і можливість його подальшої роботи.

При зовнішньому і внутрішньому оглядах котла повинна бути звернена увага на виявлення можливих тріщин, надривів, випинів, видимів і корозії на внутрішніх і зовнішніх поверхнях стінок, слідів пропарювання і пропусків у зварних, клепаних і вальцьованих з'єднань, а також пошкоджень обмурку, що можуть викликати небезпеку перегріву металу елементів котла.

Гідравлічне випробування має за мету перевірку міцності елементів котла і щільності з'єднань. Котел повинен пред'являтися до гідравлічного випробування з встановленою на ньому арматурою. У випадку зниження робочого тиску за результатами технічного опосвідчення пробний тиск при гідравлічному випробуванні визначається, виходячи із дозволеного тиску.

Первинне технічне опосвідчення нововстановлених котлів проводиться експертом ЕТЦ після їх монтажу і реєстрації. Котли, які підлягають обмуровуванню, можуть бути опосвідчені до реєстрації. Котли, які піддавались внутрішньому огляду і гідравлічному випробуванню на заводі-виготовлювачі і прибули на місце встановлення в зібраному стані, підлягають первинному технічному опосвідченню на місці встановлення особою, відповідальною за їх справний стан і безпечну експлуатацію. При цьому термін чергових внутрішнього огляду і гідравлічного випробування встановлюється експертом ЕТЦ з врахуванням вказаної в паспорті котла дати проведення технічного опосвідчення на заводі-виготовлювачі.

Перевірка технічного стану елементів котла, які недоступні для внутрішнього і зовнішнього оглядів, повинна проводитись відповідно до інструкції з монтажу та експлуатації заводу-виготовлювача, в якій повинні

бути вказані обсяги, методи і періодичність контролю. Експерт ЕТЦ або фахівець організації, підприємства, установи, які мають дозвіл Держнаглядохоронпраці України, проводять періодичне технічне опосвідчення в такі терміни:

- а) зовнішній і внутрішній огляди – не рідше одного разу в 4 роки;
- б) гідравлічне випробування – не рідше одного разу в 8 років.

Якщо за умов виробництва неможливо пред'явити котел для опосвідчення в зазначений термін, власник зобов'язаний пред'явити його достроково. Гідравлічне випробування котлів проводиться тільки при задовільних результатах зовнішнього і внутрішнього оглядів.

Органу Держнаглядохоронпраці України надається право продовжувати встановлені терміни опосвідчення котлів до трьох місяців за обґрунтованим письмовим клопотанням власника котла з поданням даних, що підтверджують задовільний стан котла і при позитивних результатах огляду котла в робочому стані експертом ЕТЦ.

Власник котла зобов'язаний самостійно проводити зовнішній і внутрішній огляди кожної очистки внутрішніх поверхонь або ремонту елементів, але не рідше ніж через 12 місяців, а також перед пред'явленням котла експерту ЕТЦ або фахівцю організації, підприємства, установи, які мають дозвіл Держнаглядохоронпраці України. При цьому відповідальний за справний і безпечну експлуатацію зобов'язаний забезпечити усунення виявлених дефектів до пред'явлення котла для опосвідчення.

Гідравлічне випробування робочим тиском власник зобов'язаний проводити кожний раз після розкриття барабана, колектора або ремонту котла, якщо характер і обсяг ремонту не викликають необхідності позачергового опосвідчення.

Позачергове опосвідчення котлів повинно бути проведено в таких випадках:

- а) якщо котел не експлуатувався більше 12 місяців;
- б) якщо котел був демонтований і встановлений на новому місці;
- в) якщо проведено виправлення випинів або вм'ятин, а також ремонт з застосуванням зварювання основних елементів котла (барабана, колектора, жарової труби, трубної решітки, сухопарника, грязьовика, вогневої камери, трубопроводів в межах котла);
- г) якщо змінено більше 15 % анкерних кріплень будь-якої стінки;
- д) після заміни барабана, колектора, екрана пароперегрівача, пароохолоджувача або економайзера;
- е) якщо замінено одночасно більше 50 % загальної кількості екранних і кип'ятильних чи димогарних труб або 100 % труб пароперегрівачів або економайзера;
- ж) після досягнення розрахункового терміну служби котла, встановленого проектом, заводом-виготовлювачем, іншою нормативною документацією або експертно-технічною комісією;
- з) після аварії котла або його елементів, якщо за обсягом відновлювальних робіт вимагається таке опосвідчення;

і) якщо на погляд інспектора (експерта) або особи, відповідальної за справний стан і безпечну експлуатацію котла, таке опосвідчення необхідне.

У випадках, передбачених підпунктами «ж», «з», «і», перед позачерговим технічним опосвідченням повинно бути проведене експертне обстеження (технічне діагностування) котла ЕТЦ або спеціалізованою організацією, яка має дозвіл Держнаглядохоронпраці України, отриманий в установленому порядку.

Обстеження проводиться відповідно до погодженого з Держнаглядохоронпраці України галузевого Положення про технічне діагностування.

Результати технічного опосвідчення повинні записуватись в паспорт котла особою, яка проводила опосвідчення, а зазначенням дозволених параметрів роботи і термінів наступних опосвідчень. При проведенні позачергового опосвідчення повинна бути вказана причина, що викликала необхідність такого опосвідчення.

Якщо при опосвідченні проводились додаткові випробування і дослідження, то в паспорті котла повинні бути записані види і результати цих випробувань і досліджень з зазначенням місць відбору зразків або ділянок, підданих випробуванням, а також причин, що викликали необхідність проведення додаткових випробувань.

Експлуатація котла понад розрахунковий термін служби може бути допущена на підставі висновку ЕТЦ або спеціалізованої організації, яка має дозвіл Держнаглядохоронпраці України, отриманий в установленому порядку, про можливості і умови його експлуатації, виданого за результатами технічного діагностування з оцінкою залишкового ресурсу. Дозвіл на експлуатацію в цьому випадку видається органами Держнаглядохоронпраці України.

Дозвіл на експлуатацію нововстановлених котлів. Приймання в експлуатацію нововстановленого котла здійснюється згідно з вимогами і після реєстрації котла в ЕТЦ.

Пуск котла в роботу проводиться за наказом власника підприємства (організації), виданим по результатах проведених пусконаладжувальних робіт і обстеження котла експертом ЕТЦ під час парового випробування для встановлення готовності котельної установки до експлуатації і відповідності проекту. На кожному котлі, який введено в експлуатацію, повинна бути прикріплена на видному місці табличка форматом не менше ніж 300×200 мм із зазначенням таких даних:

- а) реєстраційний номер;
- б) дозволений тиск;
- в) число, місяць і рік наступного внутрішнього огляду і гідравлічного випробування.

2. Режимно-наладжувальні роботи

Загальні положення. До промислової експлуатації допускаються тепловироблюючі установки, на яких інвентаризації шкідливих викидів є

проведення комплексних еколого-теплотехнічних випробувань котлів, завданням яких є встановлення оптимальних режимів їх роботи. Комплексні еколого-теплотехнічні режимно-налагоджувальні випробування слід провадити:

- після монтажу, реєстрації, технічного огляду і дозволу на експлуатацію котлів;
- після капітального ремонту котлів, реконструкції і переведення з одного виду палива на інший або переходу з парового режиму на водогрійний;
- згідно з плановим строком проведення налагоджувальних робіт;
- за розпорядженням органів Держнаглядохоронпраці України.

Проведення режимно-налагоджувальних робіт на діючих котлоагрегатах слід передбачати не рідше одного разу на 3 роки. Кінцевим результатом проведення налагоджувальних робіт є встановлення оптимальних еколого-теплотехнічних режимів роботи котлів з урахуванням технологічних умов, мінімально можливих викидів шкідливих речовин в атмосферу, які не перевищують установлені норми і безпечну роботу всього обладнання.

Налагоджувальні роботи та інвентаризація викидів шкідливих речовин в атмосферу повинні проводитись спеціалізованими налагоджувальними організаціями або налагоджувальними службами підприємств, незалежно від їх підпорядкованості і форм власності. Організації, які виконують пусконалагоджувальні роботи, повинні бути зареєстровані у органах Держнаглядохоронпраці.

Класифікація випробувань котлоагрегатів. Теплотехнічні (режимно-налагоджувальні та балансові) випробування котельних агрегатів, які працюють для вироблення теплоенергії з виробничою та комунально-побутовою умовою, ставить своїм завданням:

- налагодження режиму роботи котельного агрегату з доведенням ККД його до значень, вказаних у технічній характеристиці на агрегат (з відносним відхиленням не більше 0,3-0,5 %);
- складання режимної карти із зазначенням оптимальних параметрів роботи агрегату;
- визначення максимальної та мінімальної продуктивності котлоагрегату;
- визначення питомої витрати палива на відпущене тепло;
- визначення ККД (брутто) котлоагрегату і окремих складових втрат тепла;
- дослідження роботи топки (теплове напруження, температура в однакових точках, надлишок повітря і склад газів за топкою, вплив первинного і вторинного повітря на процес горіння тощо);
- визначення опорів окремих ділянок газоповітряного тракту, засмоктування повітря в топку і газоходи;
- дослідження роботи пароперегрівача, економайзера і повітропідігрівача;
- визначення основних параметрів, які характеризують роботу тягодуттьових пристроїв;

- дослідження і налагодження роботи систем повернення винесення шлакозоловидалення, паливоподачі і приготування палива, пневмомеханічних закидувачів ланцюгових решіток тощо.

Налагоджувальні випробування котлоагрегатів класифікуються за призначенням і методом складання теплового балансу. За призначенням і залежно від поставлених завдань випробування котлоагрегатів поділяються на режимно-налагоджувальні та промислово-експлуатаційні (балансові). Режимно-налагоджувальні випробування проводяться з метою налагодження режимів агрегату, що вводиться, реконструюється або діючого, із зведенням теплового балансу. До завдань цих випробувань входить визначення:

- оптимальних надлишків повітря;
- основних втрат тепла на різних навантаженнях;
- мінімального навантаження котлоагрегату;
- максимального навантаження котлоагрегату;
- оптимального розподілу первинного і вторинного повітря.

Промислово-експлуатаційні випробування (балансові) проводяться з метою встановлення нормативних експлуатаційних характеристик при нормальних параметрах теплоносія на діючому або заново введеному в експлуатацію котлоагрегаті, після капітального ремонту чи реконструкції, у зв'язку з переходом на спалювання нового виду чи марки палива і при систематичному відхиленні основних параметрів (витрати, тиску, температури пари тощо) від нормальних з обов'язковим визначенням ККД котлоагрегату. До завдань цих випробувань входить:

- визначення оптимальних умов роботи котлоагрегату;
- перевірка ефективності виконання ремонтних робіт по реконструкції котла чи допоміжного обладнання;
- визначення економічних показників роботи котла;
- визначення витрати тепла на власні потреби;
- визначення збільшення величин втрат тепла у порівнянні з розрахунковими значеннями;
- визначення відносного приросту витрати палива.

Залежно від поставлених завдань режимно-налагоджувальні випробування за складністю (кількістю дослідів) поділяються на випробування з повним комплектом дослідів і 50% комплектів дослідів; промислово-експлуатаційні (балансові) випробування поділяються на дві категорії складності – 1 і 2. Промислово-експлуатаційні (балансові) випробування проводяться у такій послідовності. На першому етапі проводять досліді за програмою режимно-налагоджувальних випробувань. Після проведення комплексу режимно-налагоджувальних випробувань, коли загальна картина теплової роботи котла стає зрозумілою, проводяться уточнюючі досліді за програмою промислово-експлуатаційних випробувань 1 чи 2 категорії складності. Промислово-експлуатаційні випробування у більшості випадків проводяться за програмою випробувань 2 категорії складності і дуже рідко за 1 категорією складності, яка порівняно до програми 2 категорії складності передбачає велику кількість проміжних навантажень

котла. Ці навантаження визначає у кожному конкретному випадку керівник випробувань залежно від поставлених завдань. У деяких випадках залежно від стану обладнання, міри його вдосконалення та умов експлуатації, а також під час випробувань водогрійних і малопотужних котлів, які виробляють пару низьких параметрів для технологічних потреб, за програмою режимно-налагоджувальних випробувань не потрібно проводити повний комплекс дослідів і програма випробувань може бути скорочена (за розсудом керівника випробувань) на 50%.

Під час проведення режимно-налагоджувальних випробувань досліді поділяються на прикинуті та основні (режимно-налагоджувальні). Під час проведення промислово-експлуатаційних випробувань досліді поділяються на прикинуті та основні (режимно-налагоджувальні та балансові). До обсягу прикинутих дослідів входить розстановка і навчання спостерігачів, перевірка роботи вимірювальних приладів, виявлення дефектів у роботі обладнання, визначення величин підсмоктування, тарування перерізів по аналізу газів, швидкостях і температурі, визначення можливих меж регулювання і умов забезпечення надійної та економічної роботи котлоагрегату. Під час прикинутих дослідів усі вимірювання провадяться з такою самою ретельністю, як під час основних випробувань. Режимно-налагоджувальні досліді провадяться з метою виявлення умов найбільш ефективного використання палива у робочому діапазоні, регулювання навантаження котла.

Балансові досліді провадяться з метою визначення основних економічних показників роботи котлоагрегату на різних навантаженнях з раніше виявленими (за методикою режимно-налагоджувальних дослідів) оптимальними режимами його роботи. Під час випробування котельних агрегатів існує два способи визначення коефіцієнта корисної дії за прямим і за зворотним балансом. Якщо величина ККД котла визначена за прямим і зворотним балансом, то допускається незбіг величин ККД у межах сум, відповідних помилок, тобто $\pm 3,5\%$ (відносних) за стійкості розбіжностей значень, таке непогодження балансу не може бути підставою висновку про недосконалість випробувань у цілому.

Незалежно від характеру випробувань усі вимірювання слід проводити з максимальною точністю засобами вимірювань класу не нижче 1,5. При цьому для котлоагрегатів, які спалюють газоподібне й рідке паливо і мають ККД бруто більше 80%, відносна похибка визначення ККД за зворотним балансом менша, ніж за прямим балансом, і становить величину не більше ніж $\pm 1\%$.

Технічна документація. Під час виконання режимно-налагоджувальних робіт виконавча організація зобов'язана подати замовнику:

- програму робіт із строками виконання (орієнтовними);
- план завдання на підготовку до випробувань котлоагрегату (агрегатів);
- перелік дефектів, виявлених під час підготовки до проведення прикинутих дослідів;
- план-графік проведення теплотехнічних випробувань котлоагрегату;
- зміст технічної програми випробувань котлоагрегату.

Після проведення режимно-налагоджувальних випробувань організація, яка виконала роботи, видає замовнику режимні карти роботи агрегату (агрегатів) і технічний звіт про всю виконану роботу (баланс котельного агрегату) за програмою промислово-експлуатаційних випробувань 1 чи 2 категорії складності або за режимно-налагоджувальними випробуваннями. Усі документи повинні бути перевірені та затверджені головним інженером підприємства-замовника і керівником випробувань підприємства-виконавця.

Водно-хімічний режим котлів. Усі парові котли з природною і багаторазовою спонукальною циркуляцією паропродуктивністю 0,7т/год. і більше, усі парові прямоточні котли незалежно від паропродуктивності, а також усі водогрійні котли повинні бути обладнані установками для докотлової обробки води. Вибір способу обробки води для живлення котлів повинна провадити спеціалізована проектна (налагоджувальна) організація. Котли паропродуктивністю менше 0,7т/год. повинні мати період між чистками такий, щоб товщина відкладів на найбільш теплонапружених ділянках поверхні нагрівання котла на момент його зупинки на чистку не перевищувала 0,5мм.

Підживлення сирого водою котлів, обладнаних пристроями докотлової обробки води, не допускається. Кожний випадок підживлення котлів сирого водою повинен фіксуватися в журналі з водопідготовки із зазначенням причин, які створили нештатну ситуацію, тривалість підживлення і якість живильної води у цей період. Для парових і водогрійних котлів з урахуванням Правил улаштування і безпечної експлуатації парових і водогрійних котлів, інструкцій підприємств-виготівників, типових інструкцій та інших відомчих нормативно-технічних документів спеціалізованою організацією повинні бути розроблені інструкція по провадженню водно-хімічного режиму та інструкція з експлуатації установки (установок) для докотлової обробки води з режимними картами, у яких, зокрема, повинні бути вказані:

- призначення інструкції та перелік посад персоналу, для яких знання інструкції обов'язкове;
- перелік використаних під час складання інструкції документів;
- технічні дані і короткий опис основних вузлів, а також основного і допоміжного устаткування, у тому числі котлів, деаераційної установки, установок для дозування аміаку, гідрозину, фосфатів, їдкого натру, установок для консервації та хімічного очищення обладнання, установки для водопідготовки із складом мокрого зберігання солі тощо;
- перелік і схеми точок відбору проб води, пари і конденсату для ручного і автоматичного хімічного контролю;
- норми якості добавочної, живильної та котлової води, пари й конденсату;
- графік, обсяг і методи хімічного контролю;
- перелік і короткий опис керування автоматика, вимірювань і сигналізації;
- порядок виконання операцій щодо підготовки до пуску обладнання і включення його в роботу;

- порядок виконання операцій по обслуговуванню обладнання під час нормальної експлуатації;
- порядок виконання операцій по контролю за режимом деаерації, режимом кореляційної обробки води, режимом безперервного і періодичного продування під час пуску, нормальної експлуатації та зупинки котла;
- порядок виконання операції під час зупинки обладнання (у резерв, для ремонту, аварійно) і заходи, які проводяться під час зупинки (відмивання, консервація, оцінка стану обладнання для виявлення необхідності очищення, вжиття заходів проти корозійних пошкоджень, ремонт тощо);
- випадки, за яких забороняється пуск обладнання і виконання окремих операцій під час його роботи;
- перелік можливих несправностей і заходів щодо їх ліквідації;
- основні правила техніки безпеки під час обслуговування основного і допоміжного обладнання і під час роботи у хімічній лабораторії.

Інструкції повинні бути затверджені керівником підприємства-власника котлів і знаходитись на робочих місцях персоналу.

Показники якості живильної води котлів з природною і багаторазовою циркуляцією паропродуктивністю 0,7т/год. і більше не повинні перевищувати значень, вказаних у нормативних документах. Для водотрубних котлів з природною циркуляцією (у тому числі котлів-бойлерів) з робочим тиском пари до 4МПа. Якість підживильної та питної води водогрійних котлів повинна задовольняти вимоги. Норми якості котлової води, потрібний режим її корекційної обробки, режими безперервного і періодичного продувань приймаються на підставі інструкцій підприємства-виготівника котла, типових інструкцій по провадженню водно-хімічного режиму та інших відомчих нормативних документів або на підставі результатів теплохімічних випробувань. При цьому для парових котлів тиском до 4МПа включно відносна лужність котлової води не повинна перевищувати 20% (за наявності заклепувальних з'єднань): для котлів із зварними барабанами і кріпленням труб методом вальцювання (або вальцюванням з уцілювальним підварюванням) відносна лужність котлової води не повинна перевищувати 50%; для котлів із зварними барабанами і привареними трубами відносна лужність не нормується.

Налагоджувальні роботи автоматики. Автоматизація котелень може бути повною, комплексною або частковою. Повна автоматизація передбачає автоматизацію усього обладнання і експлуатацію котелень без постійного обслуговуючого персоналу; комплексна – автоматизацію основного обладнання котелень при їх експлуатації з постійним обслуговуючим персоналом; часткова – автоматизацію окремих видів обладнання котелень. Часткова автоматизація малоефективна і не усуває диспропорцій в трудомісткості окремих ділянок технологічного процесу. Значному підвищенню надійності та поліпшенню техніко-економічних показників роботи обладнання сприяє комплексна автоматизація котелень. Повна автоматизація найбільш відповідає сучасному рівню виробництва, різко підвищуючи продуктивність праці. Ступінь автоматизації котелень і технічні

засоби для автоматизації приймаються на підставі відповідних техніко-економічних обґрунтувань. При визначенні річних затрат рекомендується приймати п'ятирічний строк окупності на автоматизацію.

Функціональні схеми автоматизації слід оснащувати приладами і апаратурою, які випускаються серійно. Застосування дослідних зразків приладів, а також імпортої апаратури можливе тільки після погодження їх встановлення з органами відповідних місцевих інспекцій Держстандарту України. За повної автоматизації групи котелень слід передбачати спорудження диспетчерського пункту, на щит якого виноситься сигналізація аварійного відключення обладнання котелень, що обслуговуються, чи аварійного стану величин, що контролюються. При цьому у котельнях рекомендується встановлювати індивідуальні щити, а також прилади і засоби автоматизації безпосередньо біля обладнання («за місцем»).

ЛЕКЦІЯ 4. ОСНОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ КОТЕЛЬНИХ АГРЕГАТІВ БАРАБАННОГО ТА ПРЯМОТОЧНОГО ТИПУ

План

1. Порушення циркуляції пароводяної суміші у випарній системі.
2. Підготовка і пуск у роботу котлоагрегату.
3. Обслуговування під час роботи.
4. Зупинка котла.
5. Ремонт котла.
6. Нагляд за котлами.

1. Порушення циркуляції пароводяної суміші у випарній системі

При експлуатації котлів доводиться зіштовхуватися з порушенням циркуляції пароводяної суміші у випарній системі:

- перекидання циркуляції;
- поява вільного об'єму в трубах;
- розшарування пароводяної суміші.

Перекидання означає, що опускні труби починають працювати як підйомні.

Поява вільного об'єму виникає в підйомних трубах, виведених у паровий об'єм барабана при недостатньому рушійному напорі циркуляції.

Розшарування пароводяної суміші виникає на ділянках труб з невеликим кутом нахилу до горизонту, при цьому вода омиває нижню поверхню труби, а пара – верхню. Порушення циркуляції приводить до перегріву металу труб.

Заходи щодо запобігання перекидання циркуляції:

- 1) Забезпечення рівномірного обігріву підйомних труб.
- 2) Недопущення потрапляння опускних труб у зону обігріву.
- 3) Не допускати потрапляння пари в опускні труби.
- 4) Не допускати внутрішніх відкладень у трубах.

Спінювання води в барабані. Причиною спотрапляння масла в котлову воду і передозування реагентів для внутрікотлової обробки води (сода). Спінювання приводить до забросу котлової води в пароперегрівник.

Упущення рівня води в барабані. Рівень води в барабані необхідно підтримувати постійним, інакше відбудеться вибух.

2. Підготовка і пуск у роботу котлоагрегату

Експлуатація котлів повинна забезпечувати надійне й економічне вироблення пари необхідних параметрів і безпечні умови праці персоналу. Вона повинна вестися по виробничих завданнях, складеним виходячи з плану і графіка вироблення пари, витрати палива, витрати електроенергії на власні потреби.

Експлуатація котлів розділяється на періоди:

- підготовка і пуск у роботу;
- обслуговування під час роботи;
- останів працюючого агрегату;
- утримання у неробочому стані;

- ремонт агрегату.

Порядок пуску і зупинка котла встановлюється інструкцією. Перед розпалюванням роблять зовнішній огляд котла, щоб переконатися в справності всіх елементів устаткування і готовності до пуску.

Перед розпалюванням усі повітряні крани повинні бути відкриті, а всі продувні і спускні пристрої – закриті, за винятком вентилів для продувки котла і системи рециркуляції води у водяному економайзері. Наповнення котла проводиться живильною деаерованою водою з температурою на початку заповнення 60...70°C і в кінці – не вище 100°C. Нерівномірний прогрів барабана котла при швидкому заповненні його гарячою водою може викликати небезпечні температурні напруги усередині його стінок.

Щоб уникнути виникнення великих внутрішніх напружень у металі барабана заповнення котла водою повинне проводитися при середньому тиску протягом 1...1,5 год. і при високому тиску протягом 1,5...2,5 год. Заповнювати котел водою слід до нижчої відмітки водовказівного скла, тому що при початку випару рівень її підвищується. Газоходи котла перед розпалюванням повинні бути провентильовані протягом 10...15 хвилин за рахунок природної тяги або включення в роботу димососа.

3. Обслуговування під час роботи

Ведення режиму роботи котла повинне проводитися персоналом по режимній карті, у якій вказують рекомендовані технологічні й економічні показники його роботи при різних навантаженнях: тиск і температура пари і живильної води, вміст RO_2 у газах, їх температури і розрідження по газовому тракту; коефіцієнти витрати повітря і його тиску по повітряному тракту й ін.

Необхідно стежити за справністю всього устаткування і не рідше 1 раз за зміну перевіряти справність дії манометрів, запобіжних клапанів і водовказівних приладів. Устаткування повинне підтримуватися чистим.

4. Зупинка котла

Зупинка котла відбувається за графіком у наступній послідовності:

- спрацьовується пилоподібне паливо в бункері, при шаровій топці припиняється подача палива і допалюються залишки його на ґратах, відключається подача газу до пальників і мазуту у форсунки;
- після припинення горіння в топці відключають котел від парової магістралі і відкривають продувку пароперегрівника на 40...50 хв.;
- повільно протягом 4...6 годин розхолоджують котел, після цього роблять вентиляцію газоходів за допомогою природної тяги, а також продувку котла;
- через 8...10 год. після зупинки повторюють продувку і при необхідності прискорити охолодження пускають димосос;
- через 18...24 год. після зупинки при температурі води 70...80°C допускається повільний спуск її з котла. У період зупинки проводиться спостереження за рівнем води в барабані і підживлення водою котла.

При аварійній зупинці котел повинний бути негайно відключений від парової магістралі. При необхідності зупинки котла на тривалий термін –

більше 10 діб він повинний бути захищений від корозії, що виникає унаслідок впливу кисню і вологи повітря.

5. Ремонт котла

У процесі роботи відбувається нерівномірний знос елементів і частин котла, унаслідок чого необхідно систематично робити його ремонт. Капітальний ремонт повинний проводитися через кожні 2...3 року, а поточний – через кожні 1...2 року. В міру удосконалювання устаткування і його експлуатації проміжок часу між ремонтами збільшується.

Основними задачами ремонту котла і його допоміжного устаткування є:

- усунення причин, що викликають аварії або неполадки;
- зміна зношених деталей або відновлення ушкоджених деталей;
- проведення заходів щодо підвищення надійності й економічності роботи агрегату і збільшенню терміну служби деталей і механізмів.

Усі ремонтні роботи повинні виконуватися у відповідності зі спеціальними інструкціями і вказівками.

6. Нагляд за котлами

Нагляд за котлами з метою запобігання аварій здійснюється Держміськтехнаглядом шляхом їхнього огляду у встановлений термін. Роблять тривиди огляду:

- зовнішній огляд;
- внутрішній огляд;
- гідравлічні іспити.

Зовнішній огляд здійснюється інспекторами без зупинки котла не рідше 1 разу на рік. При зовнішньому огляді обстежується загальний стан агрегату і приміщення, у якому він установлений, звертається увага на стан обмуровування топки, паропроводів, арматуру і ін. Контролюється знання персоналом правил технічної експлуатації й інструкцій.

Внутрішній огляд проводиться не рідше 1 разу на 4 роки. Крім загального стану устаткування і його експлуатації, перевіряються стан стінок барабанів і поверхонь нагрівання, щільність газоходів і ін.

Гідравлічний іспит парогенератора проводиться 1 раз у 8 років. Перед гідравлічним іспитом робиться внутрішній огляд котла й оголюються від ізоляції усі шви барабанів, колекторів, штуцерів, фланців і т.п.

Результати огляду котла заносяться в його паспорт, у якому повинно бути опис агрегату, його креслення, заводські акти, результати іспитів і дані заводу на основні елементи агрегату. При незадовільному стані агрегату інспектор Держміськтехнагляду має право заборонити його подальшу експлуатацію.

ЛЕКЦІЯ 5. СИСТЕМА ОБСЛУГОВУВАННЯ ТУРБІНИ

План

1. Експлуатація паротурбінних установок.
2. Обслуговування турбоустановки під час роботи.
3. Контрольно-вимірювальні прилади турбоустановки.

1. Експлуатація паротурбінних установок

Основними задачами експлуатації паротурбінних установок (ПТУ) є:

- 1) організація безаварійної роботи ПТУ;
- 2) організація роботи відповідно до графіка енергопостачання;
- 3) організація роботи ПТУ в режимах, які наближені до максимальної економічності.

Робота ПТУ регламентується «Правилами технічної експлуатації електричних станцій і мереж» (ПТЕ). Права, обов'язки та відповідальність обслуговуючого персоналу визначаються спеціальними службовими інструкціями. Черговий машиніст турбоустановки несе відповідальність за точне виконання інструкцій. Оперативно він підпорядковується начальнику зміни і зобов'язаний виконувати всі його розпорядження. Машиніст не має права допускати до турбіни сторонніх осіб, а під час зміни відволікатися сторонніми заняттями. Під час чергування він не має права змінювати режими роботи устаткування, а також зупиняти або запускати устаткування без спеціального розпорядження начальника зміни.

В разі аварії турбоагрегату він зобов'язаний негайно повідомити начальника зміни і самостійно вжити заходів щодо її ліквідації, діючи згідно з протиаварійною інструкцією. Якщо турбоагрегату погрожує серйозна небезпека машиніст повинен негайно вибити запобіжний вимикач, який перекриває доступ пари на турбіну.

Прийом і здача чергування також визначаються службовою інструкцією. Машиніст не має права покинути робоче місце доки інший машиніст не прийняв у нього зміну. Приймання-здавання зміни оформлюється записом у добовому журналі, де також указується стан устаткування. Усі виявлені несправності або недоліки в роботі під час зміни фіксуються в журналі і повідомляються зміннику. Основна задача змінника – порівняти показання контрольно-вимірювальних приладів, відкриття арматури, стан і роботу механізмів і допоміжного устаткування з нормативними; з'ясувати, чому змінились попередні показання і що потрібно зробити для нормалізації роботи агрегату або установки. Правила пуску, зупинення і обслуговування турбоагрегату визначаються спеціальними виробничими інструкціями. Спеціальний розділ інструкції містить протиаварійні вказівки, які визначають дії машиніста в аварійних ситуаціях.

2. Обслуговування турбоустановки під час роботи

Машиніст турбогенератора повинен чітко знати теплову схему ПТУ і будову турбогенератора. Під час зміни (вахти) він повинен підтримувати устаткування в належній чистоті. Машиніст мусить вести постійний нагляд за

показаннями контрольно-вимірювальних пристроїв і регулярно записувати ці показання, порівнюючи їх з попередніми. В разі відхилення цих показань від попередніх і нормальних для заданого режиму потрібно негайно повідомляти начальнику зміни, а в аварійних ситуаціях вжити заходів, керуючись протиаварійною інструкцією. Під час чергування машиніст повинен слухати і чути звук роботи турбогенератора. Слід звернути увагу на те, що сила звуку залежить не тільки від відстані, а й від орієнтації відносно турбіни слухача. В разі зміни шуму потрібно з'ясувати, чи змінювалась витрата пари на турбіну або протитиск, вакуум, тиск в регулювальному східці. В разі цих змін необхідно зіставити тиск в камері регулювального східця з його максимально допустимими значенням і вияснити, чи є запас за тиском в камері регулювального східця і за відкриттям клапанів. Крім безпечних змін звуку, які пов'язані зі зміною швидкості обертання, машиніст має розрізнявати небезпечні звуки. Дзижчання – ознака вібрації, яка має бути виявлена і потребує необхідних заходів для її усунення або навіть і зупинення турбіни. Стукіт у головних паропроводах, шипіння вологої пари, звук пробією фланця можуть примусити негайно зупинити турбіну при ознаках водяного (гідравлічного) удару. Різкий металевий звук, дзвін натягнутої струни свідчать на несправності усередині турбіни і потребують її негайного зупинення. Завиваючі звуки свідчать про хитання регулювання і потребують заходів щодо його усунення.

До обов'язків машиніста входять: періодичне корегування частоти синхронізатором, а також регулювання подачі та розподілу пари на кінцеві ущільнення. Таке регулювання потрібне як під час пуску турбіни, так і при змінах її навантаження, коли відбувається зміна тиску в камері регулювального східця. За інструкцією (не менш як раз за зміну) належить змащувати рідким маслом швидкохідний регулятор і важільні з'єднання системи регулювання. В полі зору машиніста завжди повинні бути показання температури свіжої пари, тиску масла на мащення, тиску пари в камері регулювального східця. У випадках різкого зменшення температури свіжої пари може трапитись закидання води в турбіну (гідравлічний удар) і машиніст повинен встигнути зупинити подачу пари. Межі безпечної зміни температури свіжої пари визначаються державними стандартами і правилами технічної експлуатації.

Збільшення або зменшення тиску масла змушує, насамперед, звернути увагу на його температуру. Зі зменшенням температури тиск масла зростає, а зі збільшенням – навпаки. Зміна тиску буде свідчити про необхідність підрегулювання системи охолодження масла. Зміна тиску масла для мащення зумовлює перевірку включення допоміжних насосів. Усі зміни та відхилення тиску мастила повинні враховуватись машиністом. Не можна допускати падіння тиску масла в системі регулювання, оскільки це може викликати зупинення її роботи. Тиск у масляній системі повинен контролюватись трьома манометрами: на напірному маслопроводі після головного масляного насоса; на маслопроводі перед маслоохолодником; на маслопроводі до підшипників.

Тимчасовим заходом для підтримання тиску масла є включення в роботу допоміжного маслтурбонасоса.

Для кожної турбіни мають бути характеристики, які визначають залежність тиску в камері регульовального східця від електричного навантаження (для протитискових турбін) або від витрати пари (для турбін з регульованим відбором пари). Наближення цього тиску до допустимого значення сигналізує про те, що для даного стану проточної частини подальше її навантаження недопустиме. Зниження тиску в камері регульовального східця може свідчити про небезпечне безпарове обертання. Для турбін з регульованим відбором пари цей тиск є показником експлуатаційного стану турбіни (чистота проточної частини турбіни). Ні за яких умов, незалежно від потужності та витрати пари, тиск в камері перед регульовальним східцем не повинен перевищувати допустимого значення. Орієнтовно гранично допустимому значенню тиску в камері регульовального східця відповідає 75-80% гранично допустимого навантаження.

Регулярно машиніст повинен записувати показання приладів у журнал роботи. Записи – це контроль своєчасного огляду турбогенератора черговим персоналом. Під час огляду машиніст повинен перевіряти вузли в зоні установлення приладів, перевіряти вібрацію і осьове положення ротора, контролювати справність контрольно-вимірювальних приладів. Знімаючи показання приладів, машиніст повинен оцінювати відхилення показань від допустимих норм, а також які зміни в роботі турбіни можуть викликати дані показники. Система регулювання працює нормально, якщо подвійні амплітуди коливань не перевищують 0,25 Гц. Коливання в 1 Гц характеризує аварійний режим роботи.

Три рази за зміну машиніст зобов'язаний перевіряти рівень масла в масляному баці по масломірному склу. Щодобово у денну зміну разом з черговим по КВП перевіряється робота сигналізації та запобіжних клапанів. Усунення мілких дефектів, як виключення, здійснюється разом із начальником зміни і ремонтним персоналом. Всі переключення, зміни режиму роботи, настроювання, випробування та інше здійснюється лише черговим машиністом, який забезпечує безперервне спостереження і безпечність виконання операцій як з точки зору безпеки людей, так і з точки зору безаварійної та економічної роботи.

3. Контрольно-вимірювальні прилади турбоустановки

Сигналізація, яка надходить від контрольно-вимірювальних приладів (КВП) поділяється на пуско-налагоджувальну, оперативну, сигнальну і підсумкову. Доцільно оперативну інформацію сконцентрувати в одному місці – на щиті приладів турбоустановки. Щит має містити лише основні, головні показники. Він має бути установлений таким чином, щоб показання його приладів були добре видні з робочого місця машиніста турбіни. Поруч зі щитом оперативної інформації необхідно установити апарат зв'язку з щитом управління. Сигнальна інформація повинна бути сконцентрована на щиті сигналізації, який установлюється з боку від щита оперативної інформації.

Контрольно-вимірювальні прилади, які необхідні в періоди пуску або налагодження паротурбінної установки, рекомендується установлювати безпосередньо біля об'єктів контролю. Підсумкову інформацію зручно концентрувати на одному щиті з тим, щоб миттєві дані цієї інформації доповнювали оперативну інформацію.

Прилади оперативної інформації, які, як правило, виносяться на щит: кіловатметр, частотомір, тахометр, манометр тиску свіжої пари; показчик температури свіжої пари; манометри тиску за регулювальним клапаном і в камері регулювального східця; манометри тиску в регулювальних відборах і в протитиску; вакуумметр на горловині конденсатора; манометри тиску масла після масляного насоса, в лініях регулювання і мащення; дистанційні показчики осьового зміщення ротора; показчики віброметрів та інших захисних приладів. Рекомендується виносити на щит показчики рівня масла, манометр тиску води на маслоохолодники.

Сигнальна інформація концентрується на щиті сигналізації. Вона, в основному, складається із світлових сигналів, які вказують на те, звідки надходить сигнал. На щиті має бути також звуковий сигнал, який сповіщає про відхилення певного показника від його нормального значення. На щиті можуть бути установлені такі КВП: температури пари у відборах або вихлопної пари; показчики рівня масла; багатоканальний потенціометр; самозаписувачі контролю вакууму або протитиску; температури пари в регульованих відборах; температури живильної води і т. ін.

Щит підсумкової інформації має бути укомплектований приладами, оснащеними самозаписувачами: витрати пари на турбіну; тиску і температури пари перед дросельним органом витратоміра; витратоміром відбірної пари; тиску і температури відбірної пари; температури протитиску; температури у вихлопному патрубку, температури води після регенеративних підігрівників.

Пуско-налагоджувальні прилади розміщуються, як правило, окремими групами. Манометри перед головною паровою засувкою і стопорним клапаном; манометр за регулювальними клапанами (в разі соплового паророзподілу). На кожному насосі манометри та мановакууметри на лініях нагнітання і всмоктування, відповідно. На кожному теплообміннику (підігрівнику, маслоохолоднику, повітроохолоднику) – манометр або мановакууметр на лінії грійної пари; термометри на вході та виході теплоносіїв; показчики рівня на усіх ємностях (баках, розширниках продувки, конденсаторі і холодильниках ежекторів, підігрівниках). Термометри на зливних лініях із підшипників та із вкладишів підшипників; термометри на робочих баках упорного підшипника; манометри на підшипниках, мащення яких здійснюється маслом під тиском, що відрізняється від тиску в загальній магістралі; манометри тиску масла після головного масляного насоса, манометри на лінії масла допоміжного маслонасоса, а також на лінії допоміжного маслонасоса з електроприводом. Манометри тиску перед кожним ступенем ежектора; вакуумметри на кожному ступені; термометри на вході та виході конденсату в холодильник. На конденсаторі – вакуумметр,

термометри на вході та виході циркуляційної води і на виході конденсату, дифманометр для визначення опору конденсатора.

Перелічені КВП розміщуються поодиноці або групами на щитках допоміжного устаткування, що розташовані безпосередньо біля об'єктів вимірювання. Можливо, що деякі пуско-налагоджувальні КВП будуть дублюватися з приладами оперативної інформації, що розташовані на щиті турбіни (наприклад, манометр перед головною паровою засувкою або стопорним краном; манометр тиску масла після головного масляного насоса і под.). У таких випадках кількість пуско-налагоджувальних приладів може бути зменшено.

ЛЕКЦІЯ 6. ЕКСПЛУАТАЦІЯ ДОПОМІЖНОГО ОБЛАДНАННЯ ТУРБОУСТАНОВКИ

План

1. Експлуатація насосів.
2. Експлуатація регенеративних підігрівників.

1. Експлуатація насосів

Перед пуском насоса необхідно:

- перевірити наявність масла в камерах підшипників і в разі необхідності долити масло;
- перевірити підключення і справний стан усіх контрольновимірних приладів;
- переконатись, що всмоктувальна засувка відкрита, а засувка на напірній лінії закрыта;
- залити насос водою (у живильних, конденсатних і деяких допоміжних насосів лінія всмоктування завжди перебуває під рівнем води);
- подати воду на ущільнення вала.

Пуск насоса здійснюють в такому порядку:

- відкрити вентиль подачі води на охолодження підшипників (при пуску живильного насоса – відкрити також лінію розвантаження для запобігання перегріву живильної води та її закипання);
- включити електропривод насоса;
- переконатися у відсутності ненормального шуму, стукоту та вібрації;
- перевірити по амперметру навантаження електронасоса;
- перевірити по манометру напір насоса;
- відрегулювати подачу води на охолодження масла в підшипниках, щоб температура масла не перевищувала 30°C;
- повільно відкривати засувку на нагнітальній лінії.

Особливості пуску конденсатного насоса. Перед пуском конденсатного насоса всмоктувальна камера має бути з'єднана з паровим простором конденсатора шляхом відкриття вентиля на з'єднувальній трубі. По цій трубці під час роботи насоса здійснюється відсмоктування повітря, що попадає в насос через нещільності, а також що вивільнюється із води. Перед пуском насос заливається самопливом водою із конденсатозбірника конденсатора. При цьому потрібно видалити повітря через спеціальний кран або через лінію рециркуляції. Після пуску насоса повільно відкривають засувку на напірній лінії і вентиль на лінії рециркуляції. Під час роботи насоса здійснюється регулювання рівня води в конденсаторі за допомогою напірної засувки.

Особливості пуску циркуляційних насосів. Циркуляційні насоси, як правило, працюють з розрідженням на всмоктуванні. Тому перед пуском необхідно видалити повітря із системи, а також залити насос водою за допомогою спеціальних пристроїв. Застосовуються різні способи заливу:

- залив водою від стороннього джерела через воронку;

- залив шляхом відсмоктування повітря із всмоктувальної лінії та насоса завдяки розрідженню, яке може створюватись паровими (або водяними) ежекторами або спеціальними вакуумними насосами.

Схема роботи циркуляційних насосів показана на рис. 1.

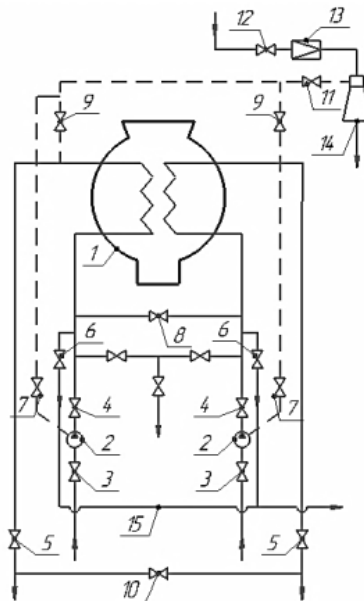


Рисунок 1 – Схема включення циркуляційних насосів

Конденсатор 1 може працювати від двох циркуляційних насосів 2, які мають засувки 3 на лінії всмоктування і засувки 4 на нагнітальній лінії нагнітання, а також засувки 5 і 6 на зливних лініях. В схемі є перемички із засувками 8 і 10, які дають можливість кожному насосу працювати на обидві половини конденсатора. Відсмоктування повітря із корпусів та із зливних ліній здійснюється від ежектора 14 за допомогою вентилів 7, 9 і 11. Пара або вода підводяться до ежектора через вентиль 12 і редукційний клапан 13. Масло із лінії зливу 15 надходить на маслоохолодники. Після того як насос залитий водою, його пуск здійснюється за наведеними вище правилами.

Основні операції в разі зупинення насоса:

- закрити засувку на напірній лінії;
- зупинити електродвигун;
- закрити засувку на всмоктувальній лінії.

Під час роботи насосів необхідно стежити за станом сальників. Вони повинні трохи підтікати і не нагріватись. Нагрівання сальників можуть спричиняти перекіс або занадто сильна затяжка. Необхідно періодично перевіряти рівень масла в камерах підшипників і слідкувати за роботою мастильних кілець. Нагрів підшипників перевіряють навіпацки. Температура масла в підшипниках не повинна перевищувати 60°C.

Обслуговування турбонасосів. Пуск, зупинка та обслуговування турбонасосів мають свої особливості, які пов'язані з пуском приводної парової турбіни. На рис. 2 наведена орієнтовна схема трубопроводів турбонасоса живильної води. Перед пуском турбонасоса перевіряють рівень масла в масляному баці турбіни 1; випускають відстій води. Здійснюють огляд

мащення системи регулювання, а також перевіряють чи немає заїдання запобіжного клапана 3 на вихлопній магістралі турбіни.

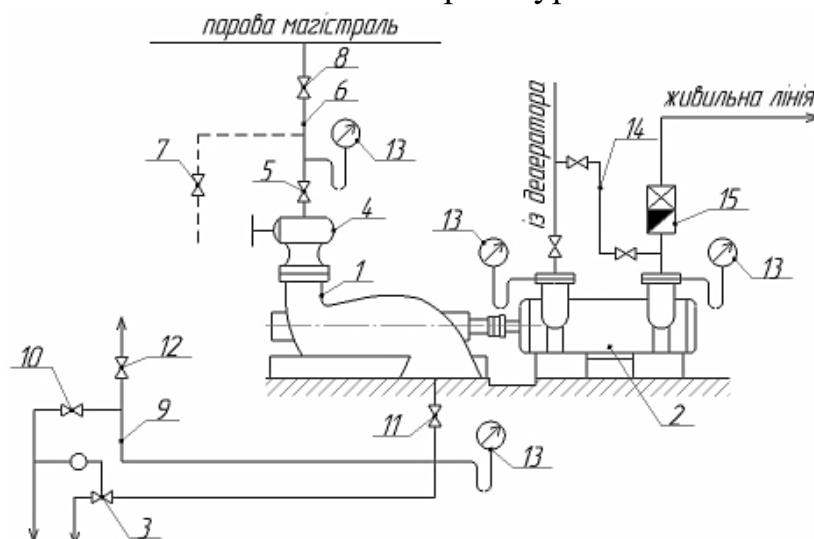


Рисунок 2 – Схема живильного турбонасоса

Далі установлюють синхронізатор на мінімальне число обертів і перевіряють запобіжний вимикач, відкриваючи на одну третину стопорний клапан 4 за умови закритої парової засувки 5 і потім повертають його на місце за допомогою рукоятки вимикача.

Прогрів головного паропроводу 6 здійснюється при відкритих дренажах 7 поступовим відкриттям засувки 8. При цьому засувка 5 має бути відкрита. Після прогріву паропроводу дренажний вентиль 7 закривається. Далі здійснюється прогрів паропроводу протитиску 9 з відкритим вентилем 10. Повільно відкриваючи засувку 11 прогрівають паропровід 9 і доводять в ньому тиск до нормального, для чого закривають вентиль 10.

Насос 2, який з'єднаний з турбіною за допомогою муфти, має бути підготовлений до пуску за загальною інструкцією. До початку прогрівання турбіни засувка на всмоктувальній лінії має бути відкрита, а на нагнітальній лінії – закрыта. Лінія розвантаження 14 відкривається. Перед пуском турбонасоса необхідно трохи відкрити атмосферний запобіжний клапан 3. Пуск турбіни здійснюється повільним відкриттям стопорного клапана з вихлопом в атмосферу. Турбіну прогрівають на малих обертах, а потім переводять її роботу на протитиск, для чого відкривають засувку 11. Кількість обертів підтримують стопорним клапаном 4.

Кількість обертів контролюється тахометром. Напірна (живильна) лінія оснащується зворотним клапаном 15. Тиск води і масла вимірюються манометрами. Вимірюється температура пари перед стопорним клапаном, а також температура масла в підшипниках, яка повинна бути в межах 35–50°C. Живильний турбонасос має перебувати в гарячому резерві.

2. Експлуатація регенеративних підігрівників

Перший за ходом води підігрівник низького тиску постійно підключений з боку пари до турбіни. Конденсат грійної пари цього підігрівника через

сифонний злив відводиться в конденсатор турбіни: заповнення сифона водою із конденсатного бака здійснюється під час пуску турбіни. Включення інших регенеративних підігрівників здійснюється таким чином.

1. Відкрити вентилі на дренажних лініях і переконатись, що в паровому просторі немає води.
2. Перевірити чи закритий голчастий клапан в конденсаційному горщику.
3. Перевірити справність механізму зворотного клапана на лінії відбору пари.
4. Перевірити готовність до пуску дренажних насосів в системі регенерації.
5. Перевірити обвідні засувки на живильній лінії кожного підігрівника, які мають бути відкритими.

Включення підігрівників здійснюється в порядку їх нумерації за ходом води. Підігрівники низького тиску включають в роботу, коли тиск пари в точці відбору буде перевищувати 0,1 МПа. При цьому здійснюють такі операції:

- повільно відкривають водяні засувки, залишаючи відкритими обвідні засувки;
- відкривають повітряні крани на водяній камері та закривають їх, коли з них потече вода;
- відкривають вихідні засувки і закривають їх обвідні засувки;
- повільно відкривають парову засувку для прогріву паропроводу і зливної системи, а потім відкривають її повністю;
- відкривають вентилі відсмоктування повітря із парового простору підігрівника;
- відкривають дренажні вентилі та запускають насоси дренажної системи.

Підігрівники високого тиску включаються спочатку за водою, а потім за парою. Порядок їх включення такий самий як підігрівників низького тиску.

В процесі експлуатації підігрівників необхідно весь час слідкувати за рівнем конденсату в паровому просторі.

Водопоказне скло має бути чистим і добре освітленим. У випадках підвищення рівня води внаслідок несправності насоса або механізму водовідведення потрібно негайно відключити підігрівник від паропроводу та ізолювати його від живильної лінії, відкривши обвідну лінію і закривши вхідну та вихідну засувки. Крім того, необхідно закрити зливні та повітряні лінії підігрівника. Якщо аварія трапилась внаслідок розриву трубок, то тиск у трубній системі підігрівника має знизитись майже до тиску грійної пари. Якщо зменшення тиску не спостерігається, то причиною аварії є несправність конденсаційної ємкості.

Раз за зміну потрібно перевіряти справність механізму водовідвідників за допомогою спеціальної рукоятки. Перевірка щільності обвідних засувок здійснюється періодично шляхом спостереження за різницею температур живильної води на вході та на виході із підігрівника. Підвищення різниці температур грійної пари та води на виході із підігрівника свідчить про забруднення поверхні нагріву або скопичення повітря у паровому просторі. В разі нормальної роботи підігрівника ця різниця не має бути вищою 5°C.

Недостатній нагрів води може бути викликаний несправністю зворотного клапана або неповного відкриття запірної засувки на паропроводі.

Відключення підігрівників здійснюється в зворотному порядку: спочатку відключають підігрівники високого тиску. Для цього закривають парову засувку перед підігрівником і відкривають обвідну засувку на водяній лінії та закривають засувки на вході та на виході з підігрівника. Далі закривають вентилі на лініях відсмоктування повітря, зупиняють дренажний насос. Після спорожнення парового простору закривають засувки на дренажних лініях і відкривають спускний вентиль із парового простору.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

Базова:

1. Експлуатація промислового теплоенергетичного устаткування : електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання [Електронний ресурс] / Резидент Н. В., Ткаченко С. Й., Чепурний М. М. – [Вид. 2-е, перероб. і доп.]. – Вінниця : ВНТУ, 2023. – 142 с.
2. Експлуатація теплоенергетичних установок і систем: Підручник. / За редакцією професора Б.Х. Драганова: - Київ: ЦП «Компринт», - 2017 – 338 с.
3. Правила безпечної експлуатації тепломеханічного обладнання теплових мереж: Затв.-15.11.2001№ 485/Мін. праці України. - Х.: Форт, 2003. – 336 с.

Допоміжна:

4. РД 34.35.615-76 Норми технічного обслуговування технологічних захистів теплоенергетичного обладнання на теплових електростанціях.
5. Клімов С.В. Експлуатація і обслуговування машин: навч. посібник. Рівне: НУВГП, 2010. 218 с.
6. Романовський Г.Ф., Султанський Ю.О., Харченко В.І. Будова, правила технічної експлуатації та обслуговування газотурбінних двигунів: навч. посібник. Миколаїв: Вид-во НУК, 2011. 156 с.
7. Ельтельман Е.М., Ельтельман Л.Е. Експлуатація вентиляційних систем хімічних виробництв. - Л.: Хімія, 2016. – 112 с.
8. Налагодження і регулювання систем вентиляції та кондиціонування повітря: Довід. посібник / Б.А. Журавльов, Г.Я. Загальський, П.А. Овчінніков: Під ред. Б.А. Журавльова. - К.: Будівельник, 2015. – 448 с.
9. Волков О.Д. Проектування вентиляції промислової будівлі. - Харків: Вища шк. 2015. –239 с.
10. Наладка і експлуатація водяних теплових мереж: Довідник/ В.І. Манюк, Я.І. Каплінський, Е.Б. Хиж. - К.: Будівельник, 2016. –432с.
11. Експлуатація теплових пунктів і систем теплоспоживання: Довідник / В.П. Вітальєв, В.Б. Ніколаєв, Н.Н. Сельдін. - К.: Будівельник, 2015. – 623 с.
12. Борщов Д.Я. Експлуатація опалювальної котельні на газоподібному паливі. – К.: Будівельник, 2017. –240с.
13. Драганов Б.Х., Буляндра О.Ф., Міщенко А.В. Теплоенергетичні установки і системи в сільському господарстві / За ред. Б.Х. Драганова. – Київ: Урожай, 1995. – 224 с.

Інтернет ресурси:

14. <https://profiteh.ua/tekhnichna-ekspluatatsiia-teplovykh-ustanovok-ta-merezh/>
15. <https://profiteh.ua/ekspluatatsiia-teplomekhanichnoho-obladnannia/>
16. <https://vzo.com.ua/ua/content/kotelni-ustanovki>
17. <http://energetika.in.ua/ru/books/book-3/part-1/section-2/2-13>
18. <https://bio.ukr.bio.ua/articles/11016/>

Чепіжний Андрій Володимирович

**ЕКСПЛУАТАЦІЯ
ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ
Частина 1
Основні принципи експлуатації
КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**

Суми РВВ, Сумський національний аграрний університет, вул. Г. Кондратьєва, 160

Підписано до друку: січень, 2025р. Формат А5: Гарнітура Times New Roman
Тираж: 50 примірників Замовлення _____ Умов. друк. арк. 2,1
