

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**

**ПРОГРАМА, МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ,
КОНТРОЛЬНІ ЗАВДАННЯ
З КУРСУ «ТЕПЛОВІ ЕЛЕКТРИЧНІ СТАНЦІЇ»**

**для студентів спеціалізації 151-04 «Комп'ютерно-інформаційні
технології в енергетиці» та
спеціалізації 142-01 «Енергогенеруючі технології та установки»
усіх форм навчання**

Затверджено
вченою радою навчально-
наукового інституту енергетики,
електроніки та електромеханіки
протокол № 2 від 29.10.2019 р.

Харків
НТУ «ХП»
2019

Програма, методичні вказівки, контрольні завдання з курсу «Теплові електричні станції» для студентів спеціалізації 151-04 «Комп'ютерно-інформаційні технології в енергетиці» та спеціалізації 142-01 «Енергогенеруючі технології та установки» усіх форм навчання /Уклад.: Тютюнник Л. І., Іванова Л.А., Фалалєєва Т.В., Тарасенко О.М. – Х.: НТУ «ХП», 2019. –36 с.

Укладачі: Л. І. Тютюнник
Л.А. Іванова
Т.В. Фалалєєва
О.М. Тарасенко

Рецензент М.О. Тарасенко

Кафедра парогенераторобудування

У авторській редакції

ПЕРЕДМОВА

В методичних вказівках наведено матеріал, необхідний студентам технічних спеціальностей при вивченні курсів теплотехніки, енергопостачання, підготовці індивідуальних завдань, проходженні технологічної та переддипломної практики, виконанні курсового та дипломного проектування. На прикладі Харківської ТЕЦ-5 висвітлюються теоретичні й практичні питання виробництва теплової та електричної енергії.

При викладенні матеріалу спочатку розглядаються загальні функції та вимоги до обладнання ТЕЦ, а потім показується, як вони виявляються та здійснюються на конкретній теплоелектроцентралі. Матеріал подано у формі пояснювальної записки дипломного проекту, що включає головні технологічні схеми та характеристики устаткування станції.

З метою закріплення лекційного матеріалу проводяться модульні контрольні роботи та надається матеріал до контрольного завдання.

ВСТУП

В енергетичному балансі України теплові електричні станції (ТЕС) є основним джерелом теплової та електричної енергії. За видом енергії ТЕС підрозділяються на конденсаційні електростанції (КЕС), що виробляють енергії тільки одного виду – електричну, і теплоелектроцентралі (ТЕЦ), які відпускають споживачам теплову та електричну енергію у вигляді пари і води.

Централізоване тепlopостачання споживачів, здійснюване з використанням тепла пари, частково спрацьованої у проточній частині турбіни, забезпечує значну економію палива, поліпшує якість тепlopостачання, зменшує забрудненість навколишнього середовища. Встановлена потужність теплофікаційних турбін становить 39% сумарної потужності теплових електростанцій.

Теплові електростанції та їх обладнання невпинно розвиваються, стають більш потужними і складними. Зростання потужності ТЕС здійснюється на базі нових науково-технічних рішень із застосуванням сучасних систем автоматизованого управління виробничими процесами.

Підвищення енергетичного потенціалу робочого тіла (пари) за рахунок збільшення початкових параметрів пари перед турбіною до значень 12,75 МПа (130 ата) і 23 МПа (240 ата), а також введення проміжного перегріву пари підвищили економічність агрегатів на 10-15%. При блочному виконанні (котел-турбіна-генератор-трансформатор) вартість ТЕЦ знижується на 15-20% порівняно з іншими компоновками. Всі великі ТЕС мають блочне виконання.

Збільшення одиночної потужності котлів, турбін та генераторів відчутно знижує їх вартість та металоємкість. Так, при переході від потужності 60 МВт до 200 МВт питома вартість турбіни й генератора зменшується на 25%. При подвоєнні потужності з 540 до 1140 МВт (на прикладі Харківської ТЕЦ-5 шляхом розширення станції двома блоками по 300 МВт) питома вартість знижується на 20%.

Велику економію коштів дає встановлення на ТЕЦ пікових водогрійних котлів для покриття максимумів теплових навантажень.

Глава1. Принципи вибору місця розташування, потужності ТЕС та її агрегатів

1. Місце розташування та потужність ТЕС
2. Кількість та одинична потужність блоків
3. Вимоги до будівельного майданчика
4. Генеральний план ТЕС
5. Компонування головного корпусу

Методичні вказівки

Матеріали цієї теми є необхідним комплексом визначень і понять, на базі яких викладаються подальші теми, тому студент повинен засвоїти їх.

При виборі майданчика для будівництва теплової електростанції необхідно враховувати цілий ряд технічних та економічних факторів. Головними вимогами тут є: близьке розташування ТЕС до джерел водопостачання, родовищ палива, споживачів теплової та електричної енергії. Важливе значення мають також рельєф майданчика, його розміри, структура ґрунтів.

Потужність ТЕС, споруджуваної поблизу родовища палива, може досягати 6000 МВт і переважно визначається кількістю паливних ресурсів, продуктивністю паливодобувних підприємств і потребою в електроенергії. Із зростанням потужності ТЕС постають проблеми з водопостачанням, охороною довкілля, складністю управління станцією.

Кількість і потужність котло- та турбогенераторів ТЕС визначаються техніко-економічними розрахунками. Із зростанням одиничної потужності агрегатів знижуються питомі капіталовкладення в устаткування, але одночасно ускладнюються і дорожчають загально станційні елементи та засоби управління потужними і складними блоками. Якщо загальне число встановлених блоків невелике, то вигравш від підвищення одиничної потужності устаткування буде недостатнім, щоб перекрити подорожчання загально станційних об'єктів. Тому одиничну потужність блоків вибирають таким чином, щоб їх кількість була не менше чотирьох.

Вибір майданчика для спорудження ТЕС в обраному районі визначається умовами паливо- та водопостачання, транспортними зв'язками, нормами забруднення повітряного басейну викидами станції на підставі зіставлення конкурентноздатних варіантів.

Для зменшення викидів і зниження вартості спорудження ТЕС особливу увагу слід звертати на високу індустріалізацію будівництва, зменшення матеріалоемності за рахунок спрощення конструкцій будівель та споруд, кращого компанування устаткування, максимальної механізації будівельно-монтажних робіт, широкого застосування уніфікованих збірних залізобетонних та сталевих конструкцій і т.д.

Для зменшення терміну будівництва електростанції застосовують сіткові графіки, що вивчають час підготовки будівельних робіт, постачання устаткування і проведення будівельно-монтажних робіт всіма організаціями, які беруть участь у спорудженні ТЕС. Сітковий графік дозволяє успішно впроваджувати поточно-швидкісний метод будівництва.

Для зменшення території забудови і довжини інженерних комунікацій рекомендується блокувати виробничо-допоміжні будівлі та споруди, розмішувати паливні склади поза зоною промайданчика, передбачати мінімальні розміри будівельно-монтажних баз.

Велике значення для зменшення площі земель, що відводяться на спорудження станції, підвищення надійності та економічності її роботи має правильне взаємне розташування основних будівель станції.

Генеральний план ТЕС відображає положення в плані та габарити споруд з основними комунікаціями.

Головний корпус споруджений її застосуванням каркасу в брускових конструкціях і в збірному залізобетоні з кроком колон 12 м. За умовами генерального плану прийнято праву компоновку головного корпусу. Його будівля має трьох прольотну форму. Деаератор на відділення розміщене між машинним залом та котельним відділенням. Між котельним відділенням та димовою трубою розташовані відкрита установка регенеративних повітряпідігрівників (РПП) та тягодуттєві механізми (ТДМ) котлів.

На станції згідно з теплотехнічним обладнанням встановлено два генератори ТВФ0120-2У3 і один генератор ТВВ-320-2У3.

Питання для самоконтролю

1. Як розподіляються теплові електричні станції залежно від вироблюваної енергії?
2. За рахунок чого економічність ТЕЦ вище, ніж КЕС?
3. Які шляхи підвищення економічності ТЕС?
4. Назвіть фактори, що визначають місце розташування ТЕС.
5. Як впливає на розташування та потужність ТЕС вид палива?
6. Які оптимальні відстані для транспортування теплової енергії (пара, гаряча вода) від ТЕЦ до споживачів?

7. Чому для ТЕЦ як основне паливо кращим є газ?
8. Що обумовлює величину обертового резерву в електросистемі?
9. Яку мінімальну кількість енергоблоків передбачають при проектуванні ТЕС?
10. Що таке генеральний план ТЕС?
11. Який вплив рози вітрів на вибір будівельного майданчика та розміщення об'єктів ТЕС?
12. Як враховуються вимоги пожежної безпеки при складанні генплану ТЕС?
13. Яке обладнання розташоване в машинному залі, деаераторному та котельному відділеннях головного корпусу?
14. Де розміщують ОРУ, РПАП 6 і 0,4 КВ?
15. Розподіл електричних потреб за ступенем важливості в технологічному процесі.
16. Що таке двигунний режим роботи генератора?
17. Що таке синхронізація генератора?
18. Чому асинхронні двигуни більше застосовують порівняно з синхронними?
19. Для чого на електростанціях встановлюють дизель-генератори?
20. Яке призначення акумуляторних батарей на ТЕС?

Глава 2. Технологічна схема ТЕЦ

1. Основні теплові агрегати ТЕС.
2. Послідовність технологічних процесів.
3. Сучасні КЕС.

Методичні вказівки

Матеріали цієї теми є необхідним комплексом визначень і понять, на базі яких викладаються подальші теми, тому студент повинен засвоїти їх.

Основними тепловими агрегатами ТЕС є паровий котел та парова турбіна. Паровий котел являє собою системи поверхонь нагрівання для виробництва пари з води, що безперервно надходить до нього, шляхом використання теплоти, яка виділяється при спалюванні палива, що подається у топку разом з необхідним для горіння повітрям. Воду, що надходить до парового котла, називають живильною. Живильна вода підігрівается до температури насичення, випаровується, а насичена пара, що виділилася з котлової води, перегрівається.

При спалюванні палива утворюються продукти згоряння – теплоносії, який у поверхнях нагрівання віддає теплоту воді, парі та повітрю,

що використовується при горінні. Після поверхонь нагрівання продукти згоряння з відносно низькою температурою виділяються через димову трубу в атмосферу.

Одержана в котлі перегріта пара надходить до турбіни, де її теплова енергія перетворюється в механічну, що передається ротору турбіни. З останнім зв'язаний генератор, в якому механічна енергія перетворюється в електричну. Спрацьована пара з турбіни прямує до конденсатора – пристрою, де пара охолоджується циркуляційною водою з природного (озеро, річка) чи штучного (градирня) джерела і конденсується.

Паровий котел і увесь комплекс вказаного вище обладнання складають котельну установку.

Питання для самоконтролю

1. Чому ТЕС обладнують дуже високими димарями?
2. Яке призначення проміжного перегріву пари?
3. Що таке система регенеративного підігріву води? Для чого вона використовується?
4. Чому ТЕЦ мають більші хімовоочистки, ніж КЕС?
5. За яких параметрів води відбувається найбільш інтенсивна її аерація?
6. Яка роль схеми рециркуляції димових газів?

Глава 3. Вихідні дані для проектування теплотехнічної частини ТЕЦ

1. Вихідні дані до проекту.
2. Головне призначення ТЕЦ.
3. Основне обладнання ТЕЦ.

Методичні вказівки

Матеріали цієї теми є необхідним комплексом визначень і понять, на базі яких викладаються подальші теми, тому студент повинен засвоїти їх.

Головне призначення ТЕЦ – виробництво теплової та електричної енергії і задоволення значної частини потреб міста у цій енергії. Завдяки цьому зменшується перетікання енергії від інших надто віддалених джерел і відпадає потреба в дрібних, малоефективних опалювальних котельнях.

Основним обладнанням ТЕЦ є:

- турбіни типу Т;
- парові котли;
- водогрійні котли.

Питання для самоконтролю

1. Виробництво теплової та електричної енергії.
2. Подальше розширення ТЕЦ.
3. Турбіни типу У виробництва Уральського турбомоторного заводу.
4. Парові котли Таганрозького котлобудівного заводу.
5. Водогрійні котли типу ПТВМ-180.
6. Топковий мазут марок М-40, М-100.
7. Природний газ Оренбурзького, Уренгойського, Шебелінського родовищ.

Глава 4. Характеристики технологічного обладнання ТЕЦ-5

1. Теплова схема ТЕЦ-5
2. Паливне господарство
3. Система водоохолодження
4. Теплофікаційна установка ТЕЦ-5

Методичні вказівки

Матеріали цієї теми є необхідним комплексом визначень і понять, на базі яких викладаються подальші теми, тому студент повинен засвоїти їх.

Теплова схема ТЕЦ потужністю 540 МВт складається з двох самостійних частин: для теплового обладнання з параметрами 14 МПа та для обладнання з параметрами 260 МПа. Електрична потужність станції складає 540 МВт (2x120 МВт, 300 МВт). Основне паливо – природний газ калорійністю 35238 кДж/т. Джерелом технічного водопостачання є річка Уди. Система технічного водопостачання зворотна мало стічна, з баштовими градирнями.

Газ на станцію надходить газопроводом діаметром 1000 мм і тиском до 1,2 МПа від газорегуляторної станції (ГРС) з міського газового кільця.

Мазутне господарство існує для приймання мазуту, що надходить на станцію залізничним транспортом, створення його запасу та зберігання в баках, підготовки до спалювання та подачі до споживачів.

До системи водоохолодження (цирк.водопостачання) ТЕЦ входять: дві градирні, відкритий водовідвідний канал; насосна станція (ЦНС); вузол переключень; 3 резервуари техводопостачання; магістральні водонапірні та зливні цирк водоводи.

Теплофікаційна установка ХарТЕЦ-5 призначена для теплопостачання міста Харкова, будівельного подвір'я ТЕЦ-5, виробничих і службових приміщень.

Питання для самоконтролю

1. Яке призначення і влаштування газороздільного пункту?
2. Чому прийнято двоступінчасту систему подачі мазуту до споживачів ТЕС?
3. Для чого проводяться підігрівання мазуту до його спалювання?
4. Що таке супутники мазутопроводів? Їх призначення?
5. Яка роль системи рециркуляції у схемі мазутогосподарства?
6. Які режими роботи мазутогосподарства ТЕС? Яка різниця між ними?
7. Що входить до схеми водоохолодження ТЕЦ?
8. Як підтримується оптимальна величина солемісту в циркуляційній системі?
9. Для чого встановлюють пікові водогрійні котли на ТЕЦ?
10. Яке призначення владнаних пучків конденсатора?
11. Які схеми застосовують для захисту сіткових водопроводів від надмірного підвищення тиску?
12. З якою метою підвищують температуру сітьової води на вході у водогрійні котли при роботі їх на мазуті?
13. Яка гранично допустима величина відхилення параметрів сітьової води від диспетчерського графіка?
14. Яке аварійне джерело підживлення тепломережі?

Глава 5. Основне теплотехнічне обладнання ТЕЦ-5

1. Котельний агрегат ТГМЕ-464. Коротке описання конструкції.
2. Парова турбіна Т-100/120-130 і її допоміжне обладнання.
3. Котел ТГМП-344А і допоміжне обладнання котельного відділення.
4. Турбіна Т-250/300-240 та її допоміжне обладнання.
5. Водогрійний котел ПТВМ-180.

Методичні вказівки

Матеріали цієї теми є необхідним комплексом визначень і понять, на базі яких викладаються подальші теми, тому студент повинен засвоїти їх.

Котельний агрегат ТГМЕ-464 з природньою циркуляцією призначений для одержання пари високого тиску при спалюванні мазуту або газу.

Одновальна парова турбіна Т-100/120-130 виготовлена на Уральському турбомоторному заводі. Має номінальну потужність 100 МВт, максимальну – 120 МВт, призначена для приводу генератора змінного типу ТВ-120-2 і відпускання тепла для потреб опалення. Турбіна розрахована

на роботу з такими параметрами свіжої пари перед стопорним клапаном: тиск – 130 кг/см², температура – 555 °С.

Однокорпусний прямотоковий котел КП-1000-25-545/ГМН (модель ТГМП-344А) призначений для одержання пари надкритичного тиску. Він має газощільне виконання, що дозволяє йому працювати під тиском і розрідженням.

Парова турбіна типу Т-250/300-240-2 призначена для безпосереднього привода турбогенератора з частотою обертання ротора 3000 об/хв. Та відпускання тепла для потреб опалення.

Піковий теплофікаційний водогрійний мазутний котел ПТВМ-180 призначений для покриття піків теплофікаційних навантажень ТЕЦ-5.

Питання для самоконтролю

1. У яких поверхнях котла відбувається перегрівання пари?
2. Де розміщені пароперегрівники поверхні котла?
3. Для чого виконують футерування поду котла?
4. Яке внутрішнє влаштування барабана енергетичного котла?
5. Як регулюється температура пари?
6. Як здійснено захист топки котла від деформації, спричинюваних роботою під наддувом?
7. Яке призначення «шатра»?
8. Як виконують зовнішнє очищення поверхні нагрівання котлоагрегату?
9. Як підігрівають повітря, що надходить у топку?
10. Назвіть головні елементи регенеративного повітропідігрівника.
11. Як очищають РПП від забруднень?
12. Які пальники встановлені на котлах ТЕЦ-5? Чи можливе спільне спалювання на них газу й мазуту?
13. Який пристрій застосовується на відцентрових на відцентрових насосах для запобігання їх запарюванню?
14. Як компенсуються осьові зусилля, що діють на ротор ЖЕНА та інших високо напірних насосів?
15. Яке призначення схеми парового розігрівання-розхолодження барабана котла?
16. Які поверхні котла працюють у найбільш важких умовах в режимі розпалювання?
17. Які різновиди зупинок котлів ви знаєте?
18. Які вимоги ставляться до мазутних форсунок на котли?
19. Назвіть автоматичні захисти, що діють на зупинку котла?
20. Які наслідки (операції) викликає спрацювання захистів, що діють на зупинку котла?
21. Як визначають щільність газопроводу котла?

22. Які види мастил застосовують в маслосистемах турбін?
23. Чи можна використовувати латунні трубки в змійовиках підігрівників високого тиску?
24. Призначення і принцип роботи випарної установки.
25. Які види пуски турбіни існують від її теплового стану?
26. Як називається точка, від якої відбувається розширення турбіни? Де вона розташована?
27. Яке призначення владнаних сепараторів та розпалювального сепаратора на прямо токовому котлі?
28. Як кріпиться котел до каркасу?
29. Для чого конвективний пароперегрівник розділений на ступені?
30. Які поверхні нагрівання розміщені в конвективній шахті котлів ТГМЕ-464 та ТГМП-344А?
31. Якими насосами подається мастило в систему мащення турбін Т-100-130 та Т-250-300?
32. Які параметри визначають швидкість розвантаження турбіни?
33. Якими конструктивними та режимними заходами знижується корозія набивки РПП?
34. Яке призначення гідромуфти на ЖЕНі?
35. Яка причина зупинки бустерних насосів на всмокті живильних насосів?
36. Чому на потужних енергоблоках застосовують турбоприводи для привода живильних насосів та димососів?
37. Що таке гаряче водяне відмивання котла, при яких параметрах воно виконується?
38. При досягненні яких параметрів котел переводиться у режим прямої течії?
39. При якому навантаженні на блоці 3 відбувається перехід з ЖЕНа на ЖТН?
40. Які обмеження накладаються на котел ТГМП-334А відключенням ПТВ?
41. Які захисти переводять котел на 50% навантаження?
42. У якому діапазоні частот може працювати турбіна?
43. Після якого з циліндрів турбін Т-250 пара спрямовується на промперегрівання?
44. Які конструктивні заходи передбачені для зниження навантажень на упорний підшипник турбіни?
45. За допомогою якого механізму змінюється витрата пари в ЦНТ?
46. Яка речовина використовується як робоче тіло в системі регулювання турбін Т-100 і Т-250?

47. За рахунок чого досягається і шляхом чого підтримується вакуум в конденсаторі турбіни?
48. Яке призначення конденсаційної установки турбіни?
49. Які функції виконують ежектори турбіни (пусковий, основні, ущільнень)?
50. Які групи підігрівників обов'язково підключають при всіх зупинках турбін?
51. Коли можливе відключення валоповороту турбіни?
52. Чи є пароперегрівник на котлі ПТВМ-180?
53. До якої групи – прямо токових чи барабанних – належить котел ПТВІ-180?
54. За яким критерієм встановлюють, що газопровід котла заповнений газом?
55. Яка максимально допустима швидкість зміни температури сільової води?

Глава 6. Допоміжне теплотехнічне обладнання ТЕЦ

1. Деаератори.
2. Насосне обладнання.
3. Тягодуттьові механізми та газоповітряний тракт.
4. Теплообмінні апарати.

Методичні вказівки

Матеріали цієї теми є необхідним комплексом визначень і понять, на базі яких викладаються подальші теми, тому студент повинен засвоїти їх.

Для вилучення агресивних газів (кисень та вуглекислота), розчинених у воді, на ТЕЦ використовують термічні деаератори. Їх можна розділити за такими принципами: робочий тиск і спосіб створення поверхні контакту деаерованої води з грійною парою. Залежно від робочого тиску деаератори поділяються на вакуумні, атмосферні та підвищеного тиску.

Для призначенням насоси на ТЕС поділяються на дві групи - основного технологічного циклу та допоміжні. До першої групи входять живильні, бус терні, конденсатні, циркуляційні, сіткові та підживлювальні насоси. Другу групу становлять насоси техводопостачання, пожежні, системи змащування та охолодження механізмів, хімреагентів, дренажні, шламові і т.п.

Тягодуттьові машини є крупними споживачами електроенергії на ТЕЦ, справляючи тим самим відчутний вплив на її економічність.

Необхідність регулювання продуктивності тягодуттьових машин обумовлена змінним режимом роботи котлоагрегатів. Найбільш широко

застосовуються такі типи регулювання: частотою обертання, напрямним апаратом на вході в робоче колесо і змішане, що поєднує два попередніх.

Сіткові підігрівники прислужують для підігрівання парою з відборів турбіни сіткової води. На ТЕЦ найчастіше застосовують багатоступінчасте підігрівання сіткової води. За конструкцією розрізняють підігрівники вертикального та горизонтального виконання.

В енергетиці трубопроводи переважно призначаються для транспортування пари та води. Для частини трубопроводів робочим середовищем є мазут, масло, повітря, хімреагенти.

Питання для самоконтролю

1. За якими ознаками підрозділяють деаератори?
2. Де застосовують деаератори типу ВД, ДА, ДП?
3. За яких умов добирають місткість баку деаераторів котлів?
4. За якими критеріями добирають конденсатні насоси ТЕС?
5. Які особливості роботи циркуляційних насосів ТЕС?
6. Для чого на ТЕЦ використовується двоступінчаста схема подачі сіткової води?
7. Назвіть особливості експлуатації тягодуттєвих механізмів.
8. Розшифруйте назви підігрівників ПСВ-90-7-15; ПН-1500-32-6-ШПЖ.
9. Чому в сіткових підігрівниках не знайшло застосування U-подібне компонування трубок?
10. Якими перевагами і недоліками відзначаються змішувальні підігрівники?
11. Назвіть головні причини недогрівання середовища в підігрівниках.
12. На які зони поділяються ПВТ?
13. Що таке кратність охолодження та питома парове навантаження конденсатора?
14. Які нормативні документи є визначальними при виборі трубопроводів та арматури ТЕС?
15. Який із способів (фланцевий, зварюванням, нарізний) найчастіше застосовується при з'єднанні елементів на ТЕС?
16. Які види арматури за призначенням на ТЕС ви знаєте?
17. Які показники характеризують надійність роботи арматури?
18. Які вимоги до ізоляційних матеріалів на ТЕС?
19. Які температури допускаються на за ізольованих поверхнях?

Глава 7. Зниження шкідливих викидів з водогрійних котлів типу ПТВМ

1. Теплопостачання споживачів в Україні.
2. Традиційні методи спалювання палива.
3. Водні відмивання.
4. Розрахунок економічного ефекту.
5. Організація вихрового процесу в топці.

Методичні вказівки

Матеріали цієї теми є необхідним комплексом визначень і понять, на базі яких викладаються подальші теми, тому студент повинен засвоїти їх.

Теплопостачання споживачів в Україні орієнтоване на ТЕЦ та великі районні котельні, де встановлено понад 3000 пікових водогрійних котлів потужністю 50, 100 і 180 Гкал.

Традиційні методи спалювання палива спрямовуються на збільшення швидкості сумішоутворення і, як результат, виникнення високих температур у зоні горіння. Це, в свою чергу, призводить до високотемпературної корозії, значного утворення оксидів азоту та сірчаного ангідриду, що сприяє низькотемпературній корозії. Основним методом очищення поверхонь нагрівання котлів ПТВМ є водні відмивання. Дослідні данні свідчать, що зниження концентрації NO_x супроводжується падінням економічності роботи котла. Зазначимо, що чисте двостадійне спалювання палива досягається при постійному надлишку повітря в пальнику, чого неможливо добитися за допомогою індивідуальних дуттьових вентиляторів для кожного пальника.

Зниження SO_3 у вихідних газах і поліпшення згорання палива дадо змогу збільшити обмивальні проміжки та підвищити надійність роботи поверхонь нагрівання. Заходи, спрямовані на зниження викидів, потребують значних матеріальних затрат і, як правило, призводять до зниження економічності обладнання.

Питання для самоконтролю

1. Назвіть особливості топкового процесу пікових водогрійних котлів.
2. Що таке низькотемпературний вихровий метод спалювання палива?

Глава 8. Екологічний захист довкілля

1. Кількість і характеристика шкідливих викидів ТЕЦ.

2. Спалювання мазуту.
3. Спалювання природного газу.
4. Значення гранично-допустимих концентрацій.
5. Забруднюючі речовини, що викидаються в атмосферу.
6. Зниження викидів оксидів сірки в атмосферу.
7. Зменшення викидів оксидів азоту в атмосферу.
8. Забруднення атмосфери і розрахунок меж санітарно-захисної зони.
9. Ситуаційний план.
10. Вимоги до складу та властивостей води.

Методичні вказівки

Матеріали цієї теми є необхідним комплексом визначень і понять, на базі яких викладаються подальші теми, тому студент повинен засвоїти їх.

Одним із значних факторів впливу на екологію навколишнього середовища є господарська діяльність людини в будівництві, промисловості, енергетиці, сільському господарстві. Енергетичне виробництво, споживаючи величезну кількість палива й кисню повітря для його окислення, видає продукцію у вигляді електричної та теплової енергії, а газоподібні, теплові й тверді продукти згоряння є його відходами. Теплові електростанції – одне з найбільших джерел забруднення атмосфери, бо, крім головних продуктів горіння – вуглецю й водню, що не є токсичними, в повітря викидаються окисли сірки SO_2 та SO_3 , окисли азоту NO та NO_2 , деякі фтористі сполуки, продукти неповного згоряння палива CO та CH_4 , окисли ванадію V_2O_5 , солі натрію та інші. Більшість цих продуктів токсичні і навіть у незначних концентраціях шкідливо впливають на людину, тваринний і рослинний світ. Поряд з цим шкідливий вплив ТЕЦ виявляється у шлейфах пилу й диму, які скорочують ультрафіолетову радіацію і видимість, засоленість і замазученість води. Однак є і переваги у потужних ТЕЦ, з введенням в дію яких ліквідуються джерела шкідливих викидів – сотні дрібних неекономічних котелень, що не мають потрібних технічних засобів, приладів контролю та автоматики, які б знижували кількість шкідливих викидів в атмосферу через димові труби малої висоти. При спалюванні природного газу істотним забрудненням атмосфери є окисли азоту NO і NO_2 і продукти згоряння – чадний газ CO та бензапірен $\text{C}_{20}\text{H}_{12}$.

Питання для самоконтролю

1. Назвіть основні шкідливі впливи ТЕС на довкілля?
2. Чому з екологічного погляду використання великих ТЕЦ доцільніше, ніж дрібних опалювальних котелень?
3. Що таке повітряні й паливні окисли азоту?

4. Які фактори впливають на величину викидів NO_x та окислів сірки?
5. Як оцінюється стан атмосферного повітря?
6. Які окисли – NO_2 чи NO , SO_2 чи SO_3 – переважають у димових газах ТЕС?
7. Які існують методи зниження викидів окислів сірки?
8. Що таке токсична кратність речовини?
9. Назвіть головні способи зниження окислів азоту на ТЕС?
10. Що впливає на величину санітарно-захисної зони підприємства?
11. Назвіть шляхи зменшення забруднення довкілля стічними водами ТЕС.

МОДУЛЬНІ КОНТРОЛЬНІ РОБОТИ

Модульна контрольна робота №1 на тему: «Особливості проектування та розташування ТЕЦ».

Перелік рекомендованих питань:

1. Як розподіляються теплові електричні станції залежно від вироблюваної енергії?
2. За рахунок чого економієть ТЕЦ вище, ніж КЕС?
3. Які шляхи підвищення економічності ТЕС?
4. Назвіть фактори, що визначають місце розташування ТЕС.
5. Як впливає на розташування та потужність ТЕС вид палива?
6. Які оптимальні відстані для транспортування теплової енергії (пара, гаряча вода) від ТЕЦ до споживачів?
7. Чому для ТЕЦ як основне паливо кращим є газ?
8. Що обумовлює величину обертового резерву в електросистемі?
9. Яку мінімальну кількість енергоблоків передбачають при проектування ТЕС?
10. Що таке генеральний план ТЕС?
11. Який вплив рози вітрів на вибір будівельного майданчика та розміщення об'єктів ТЕС?
12. Як враховуються вимоги пожежної безпеки при складанні генплану ТЕС?
13. Яке обладнання розташоване в машинному залі, деаераторному та котельному відділеннях головного корпусу?
14. Де розміщують ОРУ, РПАП 6 і 0,4 КВ?
15. Розподіл електричних потреб за ступенем важливості в технологічному процесі.
16. Що таке двигунний режим роботи генератора?

17. Що таке синхронізація генератора?
18. Чому асинхронні двигуни більше застосовують порівняно з синхронними?
19. Для чого на електростанціях встановлюють дизель-генератори?
20. Яке призначення акумуляторних батарей на ТЕС?
21. Чому ТЕС обладнують дуже високими димарями?
22. Яке призначення проміжного перегріву пари?
23. Що таке система регенеративного підігріву води? Для чого вона використовується?
24. Чому ТЕЦ мають більші хімовоочистки, ніж КЕС?
25. За яких параметрів води відбувається найбільш інтенсивна її аерація?
26. Яка роль схеми рециркуляції димових газів?
27. Виробництво теплової та електричної енергії.
28. Подальше розширення ТЕЦ.
29. Турбіни типу У виробництва Уральського турбомоторного заводу.
30. Парові котли Таганрозького котлобудівного заводу.
31. Водогрійні котли типу ПТВМ-180.
32. Топковий мазут марок М-40, М-100.
33. Природний газ Оренбурзького, Уренгойського, Шебелінського родовищ.
34. Яке призначення і влаштування газо роздільного пункту?
35. Чому прийнято двоступінчасту систему подачі мазуту до споживачів ТЕС?
36. Для чого проводяться підігрівання мазуту до його спалювання?
37. Що таке супутники мазутопроводів? Їх призначення?
38. Яка роль системи рециркуляції у схемі мазутогосподарства?
39. Які режими роботи мазутогосподарства ТЕС? Яка різниця між ними?
40. Що входить до схеми водоохолодження ТЕЦ?
41. Як підтримується оптимальна величина солевмісту в циркуляційній воді?
42. Для чого встановлюють пікові водогрійні котли на ТЕЦ?
43. Яке призначення владнаних пучків конденсатора?
44. Які схеми застосовують для захисту сіткових водопроводів від надмірного підвищення тиску?
45. З якою метою підвищують температуру сітьової води на вході у водогрійні котли при роботі їх на мазуті?
46. Яка гранично допустима величина відхилення параметрів сітьової води від диспетчерського графіка?

Модульна контрольна робота №2 на тему: «Основне та допоміжне обладнання ТЕЦ».

Перелік рекомендованих питань:

1. У яких поверхнях котла відбувається перегрівання пари?
2. Де розміщені пароперегрівники поверхні котла?
3. Для чого виконують футерування поду котла?
4. Яке внутрішнє влаштування барабана енергетичного котла?
5. Як регулюється температура пари?
6. Як здійснено захист топки котла від деформації, спричинюваних роботою під наддувом?
7. Яке призначення «шатра»?
8. Як виконують зовнішнє очищення поверхні нагрівання котлоагрегату?
9. Як підігрівають повітря, що надходить у топку?
10. Назвіть головні елементи регенеративного повітропідігрівника.
11. Як очищають РПП від забруднень?
12. Які пальники встановлені на котлах ТЕЦ-5? Чи можливе спільне спалювання на них газу й мазуту?
13. Який пристрій застосовується на відцентрових на відцентрових насосах для запобігання їх запарюванню?
14. Як компенсуються осьові зусилля, що діють на ротор ЖЕНА та інших високо напірних насосів?
15. Яке призначення схеми парового розігрівання-розхолодження барабана котла?
16. Які поверхні котла працюють у найбільш важких умовах в режимі розпалювання?
17. Які різновиди зупинок котлів ви знаєте?
18. Які вимоги ставляться до мазутних форсунок на котли?
19. Назвіть автоматичні захисти, що діють на зупинку котла?
20. Які наслідки (операції) викликає спрацювання захистів, що діють на зупинку котла?
21. Як визначають щільність газопроводу котла?
22. Які види мастил застосовують в маслосистемах турбін?
23. Чи можна використовувати латунні трубки в змійовиках підігрівників високого тиску?
24. Призначення і принцип роботи випарної установки.
25. Які види пуски турбіни існують від її теплового стану?
26. Як називається точка, від якої відбувається розширення турбіни? Де вона розташована?
27. Яке призначення владнаних сепараторів та розпалювального сепаратора на прямо токовому котлі?

28. Як кріпиться котел до каркасу?
29. Для чого конвективний пароперегрівник розділений на ступені?
30. Які поверхні нагрівання розміщені в конвективній шахті котлів ТГМЕ-464 та ТГМП-344А?
31. Якими насосами подається мастило в систему мащення турбін Т-100-130 та Т-250-300?
32. Які параметри визначають швидкість розвантаження турбіни?
33. Якими конструктивними та режимними заходами знижується корозія набивки РПП?
34. Яке призначення гідромурфи на ЖЕНі?
35. Яка причина зупинки бустерних насосів на всмокті живильних насосів?
36. Чому на потужних енергоблоках застосовують турбоприводи для привода живильних насосів та димососів?
37. Що таке гаряче водяне відмивання котла, при яких параметрах воно виконується?
38. При досягненні яких параметрів котел переводиться у режим прямотечії?
39. При якому навантаженні на блоці 3 відбувається перехід з ЖЕНа на ЖТН?
40. Які обмеження накладаються на котел ТГМП-334А відключенням ПТВ?
41. Які захисти переводять котел на 50% навантаження?
42. У якому діапазоні частот може працювати турбіна?
43. Після якого з циліндрів турбін Т-250 пара спрямовується на промперегрівання?
44. Які конструктивні заходи передбачені для зниження навантажень на упорний підшипник турбіни?
45. За допомогою якого механізму змінюється витрата пари в ЦНТ?
46. Яка речовина використовується як робоче тіло в системі регулювання турбін Т-100 і Т-250?
47. За рахунок чого досягається і шляхом чого підтримується вакуум в конденсаторі турбіни?
48. Яке призначення конденсаційної установки турбіни?
49. Які функції виконують ежектори турбіни (пусковий, основні, ущільнень)?
50. Які групи підігрівників обов'язково підключають при всіх зупинках турбін?
51. Коли можливе відключення валоповороту турбіни?
52. Чи є пароперегрівник на котлі ПТВМ-180?

53. До якої групи – прямо токових чи барабанних – належить котел ПТВІ-180?

54. За яким критерієм встановлюють, що газопровід котла заповнений газом?

55. Яка максимально допустима швидкість зміни температури сіткової води?

56. За якими ознаками підрозділяють деаератори?

57. Де застосовують деаератори типу ВД, ДА, ДП?

58. За яких умов добирають місткість баку деаераторів котлів?

59. За якими критеріями добирають конденсатні насоси ТЕС?

60. Які особливості роботи циркуляційних насосів ТЕС?

61. Для чого на ТЕЦ використовується двоступінчаста схема подачі сіткової води?

62. Назвіть особливості експлуатації тягодутьових механізмів.

63. Розшифруйте назви підігрівників ПСВ-90-7-15; ПН-1500-32-6-ШПЖ.

64. Чому в сіткових підігрівниках не знайшло застосування U-подібне компонування трубок?

65. Якими перевагами і недоліками відзначаються змішувальні підігрівники?

66. Назвіть головні причини недогрівання середовища в підігрівниках.

67. На які зони поділяються ПВТ?

68. Що таке кратність охолодження та питоме парове навантаження конденсатора?

69. Які нормативні документи є визначальними при виборі трубопроводів та арматури ТЕС?

70. Який із способів (фланцевий, зварюванням, нарізний) найчастіше застосовується при з'єднанні елементів на ТЕС?

71. Які види арматури за призначенням на ТЕС ви знаєте?

72. Які показники характеризують надійність роботи арматури?

73. Які вимоги до ізоляційних матеріалів на ТЕС?

74. Які температури допускаються на за ізольованих поверхнях?

**Модульна контрольна робота №3 на тему:
«Захист довкілля від шкідливих викидів в
атмосферу при роботі котлів».**

Перелік рекомендованих питань:

1. Назвіть особливості топкового процесу пікових водогрійних котлів.

2. Що таке низькотемпературний вихровий метод спалювання палива?
3. Назвіть основні шкідливі впливи ТЕС на довкілля?
4. Чому з екологічного погляду використання великих ТЕЦ доцільніше, ніж дрібних опалювальних котелень?
5. Що таке повітряні й паливні окисли азоту?
6. Які фактори впливають на величину викидів NO_x та окислів сірки?
7. Як оцінюється стан атмосферного повітря?
8. Які окисли – NO_2 чи NO , SO_2 чи SO_3 – переважають у димових газах ТЕС?
9. Які існують методи зниження викидів окислів сірки?
10. Що таке токсична кратність речовини?
11. Назвіть головні способи зниження окислів азоту на ТЕС?
12. Що впливає на величину санітарно-захисної зони підприємства?
13. Назвіть шляхи зменшення забруднення довкілля стічними водами ТЕС.

КОНТРОЛЬНЕ ЗАВДАННЯ **до курсу «ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНІ ПРОЦЕСИ І ОБ'ЄКТИ** **ВИРОБНИЦТВА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ТА ТЕПЛОТИ»**

Методичні вказівки

До виконання завдання і розв'язання задачі слід приступати тільки після вивчення даного розділу курсу. Тільки цілеспрямоване розв'язання задачі принесе користь і допоможе закріпленню знань. Перед виконанням контрольної роботи рекомендується ознайомитися з алгоритмом розв'язання аналогічних задач з навчальної літератури.

Номер варіанта контрольної роботи співпадає з порядковим номером студента в журналі.

Контрольне завдання складається з теоретичної і практичної частин.

Теоретична частина

Студенти повинні дати письмові відповіді на питання, номери яких показані в табл. 1. При оформленні контрольного завдання необхідно повністю наводити формулювання питань. Відповіді на поставлені питання повинні бути вичерпними і супроводжуватися необхідними рисунками і схемами з позначенням усіх елементів, текстом, поясненнями.

Таблиця 1 – Номери питань до контрольної роботи

Номер варіанту	Номер теми	Номер питання
1	1	1-3
	12	1-3
2	5	3-5
	15	4-6
3	6	1-3
	12	7-9
4	1	9-10
	15	9-11
5	2	1-3
	12	13-15
6	6	9-11
	16	4-6
7	7	1-3
	12	19-21
8	3	1-2
	16	10-12
9	7	3-5
	13	1-3
10	8	1-4
	16	16

Практична частина контрольного завдання

Виконати тепловий перевіірочний розрахунок поверхневого пароохолодника котла паропродуктивністю D , кг/с при тиску перегрітої пари $P_{п.п}$, кгс/см², який встановлено в “розсічку” пароперегрівника. Пара охолоджується живильною водою. Температура живильної води на вході у пароохолодник $t'_{ж.в}$, витрата живильної води $D_{ж.в}$, і температура перегрітої пари на вході у пароохолодник $t'_{п.п}$ задаються. При охолодженні пари відбувається часткова її конденсація. Довжина трубного U-образного пучка, який бере участь у теплообміні, ℓ , м, задається.

Переріз для проходження пари через пароохолодник $f = 0,15 \text{ м}^2$ на 1 погонний метр трубного пучка. Трубний пучок складається із сталевих труб із зовнішнім діаметром $d_{зов} = 0,025 \text{ м}$ і товщиною стінки $\delta_{м} = 0,0025 \text{ м}$. Коефіцієнт теплопровідності стінки $\lambda_{м} = 40 \text{ ккал/(м г } ^\circ\text{С)}$.

Тепловий розрахунок пароохолодника виконати методом послідовних наближень. Попередньо необхідно задатись значенням теплосприймання пароохолодника Δi . Після визначення коефіцієнта теплопередачі k ,

площі поверхні теплообміну H і температурного напору Δt необхідно знайти дійсне значення теплосприймання пароохолодника

$$\Delta i_1 = \frac{k H \Delta t}{D}$$

і порівняти його з прийнятим значенням Δi . Якщо розходження становить більше 10 %, то необхідно задатись новим значенням Δi і розрахунок повторити. Поверхневі пароохолодники (рисунок 1) являють собою трубчасті теплообмінники, у яких охолодження пари проводиться живильною або котловою водою. Живильна вода проходить по горизонтальних трубках, а між ними проходить пара, що частково конденсується. Введення й вивід води проводиться в головці пароохолодника, розділеною перегородкою на дві частини. Сорочка, що перебуває в камері пароохолодника біля головки, запобігає надмірному охолодженню пари в торцевих змійовиках пароохолодника. Регулювання перегріву в пароохолоднику здійснюється зміною кількості води, яка подається в нього. Якщо температура за якимись причинами знижується, то зниження перегріву пари збільшується. Але в той же час зниження температури живильної води підвищує температуру пари в конвективному пароперегрівнику, тому що при цьому збільшується його теплосприйняття внаслідок збільшення витрати палива. У результаті спільного впливу цих факторів зміна температури живильної води звичайно не викликає необхідності зміни подачі живильної води в пароохолодник. Схема руху теплоносіїв у пароохолоднику представлено на рисунку 2.

Поверхневі пароохолодники, включені в розсічку, можуть працювати й на котловій воді. Істотною перевагою таких пароохолодників є відсутність конденсату в парі за пароохолодником, у наслідку чого усувається температурна нерівномірність, пов'язана з розподілом двофазного середовища по змійовиках пароохолодника. Недоліком таких пароохолодників є збільшення їх розмірів у порівнянні з пароохолодниками, що працюють на живильній воді, через менший температурний напір. Крім того, вони вимагають ретельного контролю якості перегрітої пари за пароохолодником, внаслідок можливості проникнення охолоджувальної котлової води в парову частину котла. Відомо, що для теплового розрахунку теплообмінного апарата необхідне спільне розв'язання двох рівнянь: рівняння теплового балансу і рівняння теплообміну. У роботі тепловий розрахунок пароохолодника здійснюється шляхом розв'язання вищезазначених рівнянь за методикою, викладеною в нормативному методі, що зумовлено необхідністю знайомства на більш ранньому етапі навчання з нормативними документами, які використовуються для теплових розрахунків котельних агрегатів.

У зв'язку з тим, що в нормативному методі [1], розробленому у 1973 році і діючому до теперішнього часу в Україні, використовуються одиниці фізичних величин, виражені у кілограм-силі і калорії, тепловий розрахунок пароохолодника потрібно виконувати в цих одиницях, з наступним переводом кінцевих результатів обчислювань в систему одиниць СІ.

1. Використовуючи вихідні дані до роботи за допомогою табл. XXIII [1, с.204], необхідно визначити параметри пари і води на лінії насичення при заданому тиску:

$t_{н.п}$ - температура насиченої пари, °С;

$\nu_{ж.в}$ - питомий об'єм живильної води, м³/кг;

$\nu_{н.п}$ - питомий об'єм насиченої пари, м³/кг;

$i_{ж.в}$ - ентальпія живильної води, ккал/кг;

$i_{н.п}$ - ентальпія насиченої пари, ккал/кг;

r - теплота паротворення, ккал/кг.

2. Для визначення температур живильної води і пари на виході з пароохолодника необхідно скласти рівняння теплового балансу:

$$Q = D(i'_{п.п} - i''_{п.п}) = D_{ж.в} (i''_{ж.в} - i'_{ж.в}), \quad (1)$$

де $i'_{п.п}$, $i''_{п.п}$ - ентальпії пари на вході і виході пароохолодника, ккал/кг; $i'_{ж.в}$, $i''_{ж.в}$ - ентальпії живильної води на вході і виході пароохолодника, ккал/кг; D - паропроодуктивність котла, кг/с; $D_{ж.в}$ - витрати живильної води, кг/с.

З рівняння теплового балансу маємо:

$$i''_{ж.в} = i'_{ж.в} + \frac{D}{D_{ж.в}} (i'_{п.п} - i''_{п.п}) = i'_{ж.в} + \frac{D}{D_{ж.в}} \Delta i, \quad (2)$$

де Δi - теплосприймання пароохолодника, яким необхідно попередньо задатися, ккал/кг.

Звичайно Δi пароохолодників знаходиться в межах 15 ÷ 25 ккал/кг.

Ентальпія живильної води на вході в пароохолодник визначається згідно з тиском $P_{ж.в}$ і температурою живильної води $t'_{ж.в}$ за допомогою табл. XXIV [1, с.205].

Таблиця 2 – Вихідні дані для розрахунку

Параметр	Позначення, розмірність	Остання цифра шифру									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Паропродуктивність котла	$D, \frac{\text{кг}}{\text{с}}$	13.9	16.7	19.4	22.2	25	27.8	30.6	33.3	36.1	38.9
Тиск пари у котлі	$P_{\text{п.п.}}, \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48
Довжина трубного пучка пароохолодника	$l, \text{м}$	3.1	3.4	3.8	4.1	4.3	4.6	4.8	5.0	5.1	5.3

Параметр	Позначення, розмірність	Передостання цифра шифру				
		0	1	2	3	4
Температура перегрітої пари на вході у пароохолодник	$t'_{\text{п.п.}}, ^\circ\text{C}$	340	345	350	355	360
Витрата живильної води	$D_{\text{ж.в.}}, \frac{\text{кг}}{\text{с}}$	0.24D	0.26D	0.28D	0.30D	0.32D
Температура живильної води на вході у пароохолодник	$t'_{\text{ж.в.}}, ^\circ\text{C}$	105	115	125	135	145

Тиск живильної води $P_{\text{ж.в}}$ залежить від аеродинамічного опору економайзера і пароперегрівника. У зв'язку з тим, що в завданні задається тиск перегрітої пари $P_{\text{п.п.}}$, то тиск живильної води $P_{\text{ж.в}}$ повинен бути збільшений порівняно з тиском перегрітої пари на 10-15 %, тобто

$$P_{\text{ж.в}} = (1,1 \div 1,15) P_{\text{п.п.}}$$

Але через те, що залежність ентальпії живильної води від тиску незначна, у розрахунках замість $P_{\text{ж.в}}$ можна використовувати значення $P_{\text{п.п}}$ без великої похибки, тобто можна припустити, що $P_{\text{ж.в}} = P_{\text{п.п.}}$.

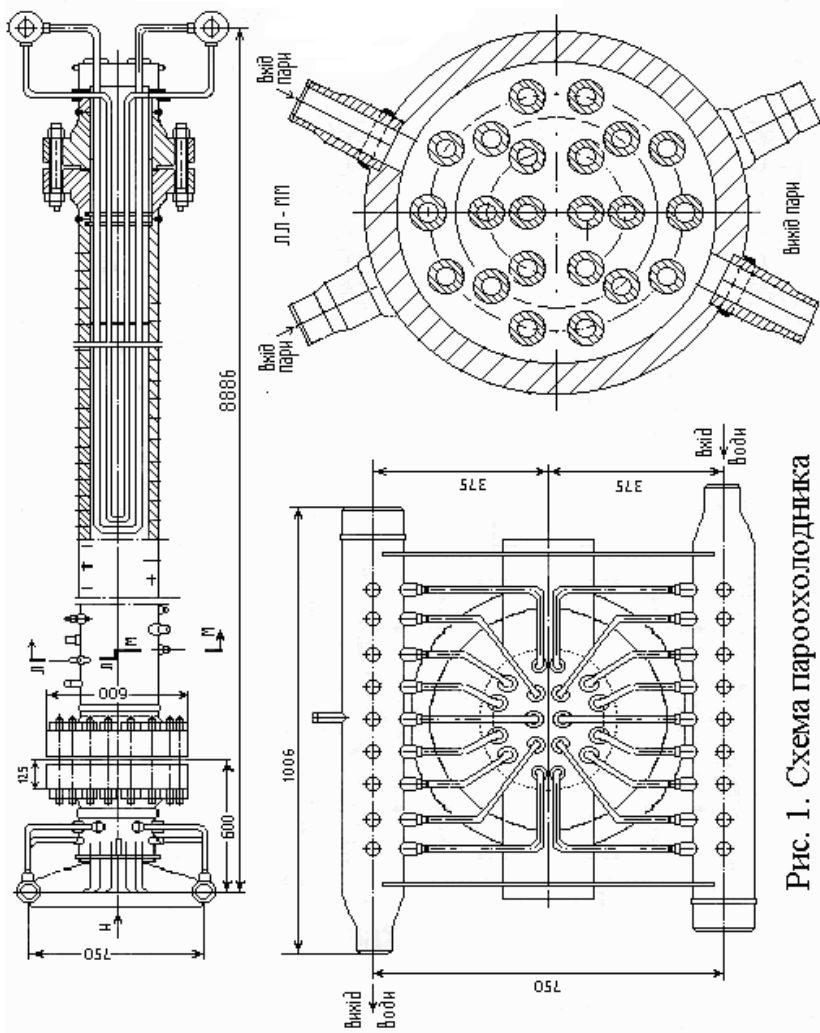


Рис. 1. Схеми парохолодника

Після визначення за рівнянням (2) ентальпії живильної води на виході з пароохолодника шляхом інтерполяції за табл. XXIV необхідно знайти температуру живильної води $t''_{ж.в.}$.

Якщо у завданні до курсової роботи установка пароохолодника передбачена за схемою “в розсічку” (між щаблями пароперегрівника) або за пароперегрівником, то температуру пари на виході з пароперегрівника визначають таким чином:

- за табл. XXV [1, с.209] при заданих значеннях тиску $P_{п.п}$ і температури пари на вході в пароохолодник $t'_{п.п}$ знаходять ентальпію $i'_{п.п}$;

- попередньо прийнявши значення Δi , розраховують ентальпію $i''_{п.п}$ за формулою

$$i''_{п.п} = i'_{п.п} - \Delta i; \quad (3)$$

- відповідно до $i''_{п.п}$ і $P_{п.п}$ визначають за вищевказаною таблицею температуру пари $t''_{п.п.}$.

Якщо пароохолодник встановлюється на насиченій стороні пароперегрівника (перед ним), то температури пари на вході та виході пароохолодника будуть однаковими і рівними температурі насиченої пари $t_{п.п.}$.

3 Відповідно до завдання необхідно визначити дійсне теплосприймання пароохолодника Δi_1 і порівняти його з прийнятим значенням Δi . Для визначення Δi_1 використовується рівняння

$$\Delta i_1 = \frac{Q}{D}, \quad (4)$$

де Q - кількість теплоти, яка передається парові живильній воді в пароохолоднику, ккал/ с.

Визначення Q здійснюється шляхом розв'язання рівняння теплообміну

$$Q = k H \Delta t, \quad (5)$$

де k - коефіцієнт теплопередачі, ккал/(м² г °С); H – поверхня теплообміну, м²; Δt - температурний напір, °С.

Якщо відношення діаметрів трубного пучка $d_{зov}$ і $d_{вн}$ менше 1.8, то коефіцієнт теплопередачі можна визначати за формулою, яка застосовується для плоскої стінки [1], тобто

$$k = \frac{\xi}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_M}{\lambda_M} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (6)$$

де $\xi = 0.9$ – коефіцієнт використання поверхні нагріву; α_1 – коефіцієнт тепловіддачі при поперечному обтіканні труб паром для горизонтально розташованих пучків, ккал/(м² г °С); δ_M – товщина стінки труби, м; λ_M – коефіцієнт теплопровідності матеріалу труби, ккал/(м г °С); α_2 – коефіцієнт тепловіддачі при протіканні живильної води в трубному пучку, ккал/(м² г °С);

4. Відповідно до методики [1] коефіцієнт тепловіддачі α_1 визначається за формулою

$$\alpha_1 = 0,5 \cdot \beta \sqrt[4]{\frac{3600 \lambda_p^3 r \rho_p^2}{\mu_p \delta t d_{зов}}}, \quad (7)$$

де β – коефіцієнт, що враховує вплив руху пари на тепловіддачу; λ_p – теплопровідність конденсату при температурі насичення $t_{н.п}$, ккал/(м г °С); визначається за табл.VI [1, стор.172-173]; r – теплота пароутворення при заданому тиску $P_{п.п}$, ккал/кг; визначається за табл.ХХІІІ [1, стор.204]; ρ_p – щільність конденсату на лінії насичення при $P_{п.п}$, кг/м³; та визначається за формулою:

$$\rho_p = \frac{1}{\vartheta_{ж.в.}},$$

де $\vartheta_{ж.в.}$ – питомий об'єм живильної води, м³/кг, який визначається за табл.ХХІІІ [1, стор.204]; μ_p – коефіцієнт динамічної в'язкості конденсату при $P_{п.п}$, кгс с/м²; визначається за табл.V [1, стор.171-172]; δt – перепад температур «пара-стінка», °С (задається); $d_{зов}$ – зовнішній діаметр труб (додаток 3).

У формулі (7) враховується, що на поверхні трубного пучка має місце локальна конденсація водяної пари.

Коефіцієнт тепловіддачі α_1 визначається методом послідовних наближень. З цією метою необхідно спочатку задатися значенням δt , розрахувати коефіцієнт теплопередачі k (6) і здійснити перевірку за формулою

$$\delta t_1 = \frac{k(t_{н.п} - t_{ж.в.})}{\alpha_1}, \quad (8)$$

де $t_{ж.в}$ – середня температура живильної води, °С, яка знаходиться згідно з формулою

$$t_{ж.в} = \frac{t'_{ж.в} + t''_{ж.в}}{2} \quad (9)$$

Якщо прийняте значення δt відрізняється від розрахункового δt_1 більш ніж на 25 %, то задається нове значення δt і здійснюється друге наближення. Орієнтовно значення δt знаходиться в межах 20 - 40 °С.

Для оцінки слушності визначення коефіцієнта тепловіддачі α_1 (7) необхідно знайти значення α_1 за допомогою номограми 33 [1, с.274]:

$$\alpha_1 = \beta \alpha_0, \quad (10)$$

де α_0 - коефіцієнт тепловіддачі за умови, що пара не рухається, ккал/(м² г °С).

Для визначення коефіцієнта тепловіддачі α_1 (10) необхідно знайти швидкість руху пари у парохолоднику за формулою

$$w_n = \frac{Dv_{н.п.}}{f_1}, \quad (11)$$

де $v_{н.п.}$ - питомий об'єм насиченої пари, м³/кг (визначався раніше);
 f_1 - площа поперечного перерізу трубного пучка для проходження пари, м²;

$$f_1 = f \ell, \quad (12)$$

де f і ℓ задані.

Попередньо прийнявши перепад температур δt , за номограмою 33 [1, стор. 274] знаходиться значення α_0 . Потім, визначивши добуток ($\alpha_0 w_n^2$), по лівій частині номограми 33 [1, стор. 274] (тому що рух пари здійснюється зверху вниз), знаходиться коефіцієнт β і розраховується α_1 (10). Похибка в розрахунках коефіцієнта тепловіддачі α_1 (7) і (10) звичайно не перебільшує 5 %.

Коефіцієнт тепловіддачі α_2 при подовжньому обтіканні труб водою визначається за формулою

$$\alpha_2 = \frac{Nu \lambda_{ж.в.}}{d_{вн}}, \quad (13)$$

де Nu - критерій Нуссельта; $\lambda_{ж.в}$ - коефіцієнт теплопровідності живильної води, визначений за даними табл. VI [1, с.172] при заданих тиску $P_{п.п}$ і температурі $t_{ж.в}$, Вт/(м °С); $d_{вн}$ – внутрішній діаметр труби, м, $d_{вн} = d_{зов} - 2\delta_m$, де $d_{зов}$ та δ_m задані (додаток 3).

5. Критерій Нуссельта при турбулентному режимі течії води в трубному пучку відповідно до [1, с.41] визначається в такий спосіб:

$$Nu = 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,4} C_t C_d C_\ell, \quad (14)$$

де Re - критерій Рейнольдса; Pr - критерій Прандтля, що визначається за даними табл. VII [1, с.174] при $P_{п.п}$ и $t_{ж.в}$; C_t , C_d , C_ℓ - коефіцієнти: $C_t = 1$, тому що в'язкість води слабо залежить від температури; $C_d = 1$, тому що в пароохолоднику має місце двосторонній обігрів труб; $C_\ell = 1$, якщо $\ell/d > 50$ (в даному випадку ця умова дотримується, але перевірку в курсовій роботі необхідно зробити).

Критерій Рейнольдса визначається за формулою

$$Re = \frac{w_{ж.в} d_{вн}}{\nu_{ж.в}}, \quad (15)$$

де $w_{ж.в}$ - швидкість руху живильної води в трубах, м/с; $\nu_{ж.в}$ - коефіцієнт кінематичної в'язкості живильної води, м²/с.

Швидкість руху живильної води визначається за формулою

$$w_{ж.в} = \frac{D_{ж.в} v_{ж.в}}{f_{ж.в}}, \quad (16)$$

де $D_{ж.в}$ - питомий об'єм води при середній температурі $t_{ж.в}$ і заданому тиску $P_{п.п}$, м³/кг, що визначається за табл. XXIII [1, с.204]; $f_{ж.в}$ - площа живого перетину трубного пучка для проходження живильної води, м²:

$$f_{ж.в} = \frac{2\pi d_{вн}^2 n}{4}, \quad (17)$$

де n - кількість U -образних труб з однієї сторони пароохолодника, $n = 17$ шт.

Коефіцієнт кінематичної в'язкості живильної води визначається за формулою

$$V_{\text{ж.в}} = 9.81 \mu_{\text{ж.в}} \nu_{\text{ж.в}}, \quad (18)$$

де $\mu_{\text{ж.в}}$ - коефіцієнт динамічної в'язкості води, кгс·с/м², що визначається по середній температурі живильної води $t_{\text{ж.в}}$ при заданому тиску за допомогою табл. V [1, с.171].

Після розрахунку коефіцієнта тепловіддачі α_2 (13) необхідно підтвердити його слушність за допомогою номограми 16 [1, с.257]. При користуванні номограмою слід припустити, що $d_{\text{ек}} = d_{\text{вн}}$. Це дає можливість оцінити порядок величини α_2 , тобто переконатися у відсутності помилок у розрахунках.

6. Термічний опір теплопровідності стінки труби становить

$$\frac{\delta_{\text{м}}}{\lambda_{\text{м}}}, \quad \text{м}^2 \cdot \text{Г} \cdot \text{°C} / \text{ккал},$$

де $\delta_{\text{м}}$ – товщина стінки труби, м; $\lambda_{\text{м}}$ – коефіцієнт теплопровідності металу, з якого виготовлена труба, ккал/м²·Г·°C.

7. Для визначення коефіцієнта теплопередачі k (6) необхідно використовувати розрахункові значення коефіцієнтів тепловіддачі α_1 і α_2 , визначені згідно з формулами (7) і (13).

8. Температурний напір визначається за формулою

$$\Delta t_{\text{нрпг}} = \frac{\Delta t_{\sigma} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln \frac{\Delta t_{\sigma}}{\Delta t_{\text{м}}}}, \quad (19)$$

де Δt_{σ} і $\Delta t_{\text{м}}$ - відповідно більша і менша різниці температур на вході і виході пароохолодника, °C.

$$\Delta t_{\sigma} = t_{\text{н.п.}} - t'_{\text{ж.в.}} \quad (20)$$

$$\Delta t_{\text{м}} = t_{\text{н.п.}} - t''_{\text{ж.в.}} \quad (21)$$

Щоб уникнути помилки у визначенні Δt_{σ} й $\Delta t_{\text{м}}$ у роботі варто навести схему руху теплоносіїв у пароохолоднику з вказівкою їхнього температурного рівня. Реально у пароохолоднику має місце перехрестний двоходовий рух теплоносіїв, тому для визначення температурного напору використовується формула;

$$\Delta t = \psi \Delta t_{\text{прт}}, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (22)$$

де ψ - коефіцієнт перерахунку від протитечійної схеми до більш складної, який можна визначити за допомогою номограми 31 [1, стор. 272] та формул:

$$P_{\text{п.п}} = \frac{\Delta t_{\text{м}}}{t'_{\text{п.п}} - t'_{\text{ж.в}}}; \quad (23)$$

$$R = \frac{\Delta t_{\text{б}}}{\Delta t_{\text{м}}}. \quad (24)$$

Однак, згідно з методикою теплового розрахунку пароохолодника [1], температурний напір може бути визначений за формулою (19) без врахування коефіцієнта ψ . У зв'язку з тим, що пара у процесі її охолодження конденсується на поверхнях трубного пучка, при розрахунку $\Delta t_{\text{б}}$ і $\Delta t_{\text{м}}$ варто брати замість температур пари на вході і виході пароохолодника температуру насиченої пари $t_{\text{п.п}}$.

Якщо $\Delta t_{\text{б}} / \Delta t_{\text{м}} < 1,7$, то для розрахунку температурного напору можна використати формулу

$$\Delta t = \frac{\Delta t_{\text{б}} + \Delta t_{\text{м}}}{2}. \quad (25)$$

Варто пам'ятати, що середньоарифметичний температурний напір завжди більше середньологарифмічного, але похибка визначення в цьому випадку не перевищує 3 %.

9 Площа поверхні пароохолодника, що бере участь у теплообміні, визначається за формулою

$$H = 2\pi d_{\text{ср}} n \ell, \quad (26)$$

де $d_{\text{ср}}$ - середній діаметр труби, м; n - кількість труб у пучку, шт;

ℓ - довжина трубного пучка, м.

Для розрахунку поверхні теплообміну необхідно брати середній діаметр труби, тому що коефіцієнти тепловіддачі α_1 і α_2 мають однаковий порядок величин:

$$d_{\text{cp}} = \frac{d_{\text{зов}} + d_{\text{вн}}}{2}. \quad (27)$$

10 Після визначення кількості переданої теплоти Q (5) і дійсного теплосприймання пароохолодника Δi_1 (4) здійснюється оцінка похибки розрахунку Δi . Якщо похибка не перевищує встановленої завданням величини, розрахунок вважається закінченим, якщо перевищує – незакінченим і тоді необхідно прийняти нове значення Δi і розрахунок повторити.

Використовуючи рисунок 2, де зображено схему теплоносіїв у пароохолоднику, слід визначити невідомі температури і відобразити її на рисунку в роботі.

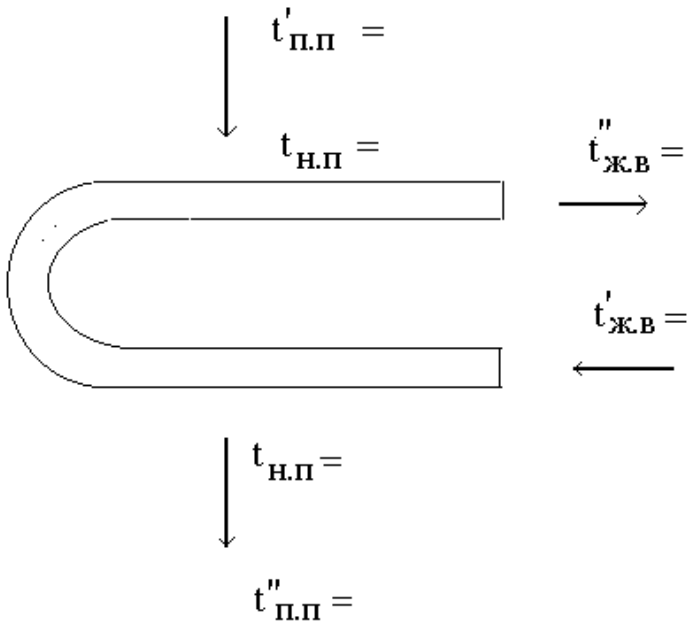


Рисунок 2 - Схема руху теплоносіїв у пароохолоднику

СПИСОК ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ

1. Тепловой расчет котельных агрегатов (нормативный метод) / Под ред. Н.В. Кузнецова, В.В. Митора, И.Е. Дубовского, Э.С. Карасиной. - М.: Энергия, 1973. - 296 с.
2. Резников М.И., Липов Ю.М. Паровые котлы тепловых электростанций: Учеб. для вузов. - М.: Энергоиздат, 1981.- 240 с.
3. Рабинович О.М. Котельные агрегаты.- М.-Л.: Машгиз, 1963. - 460 с.
4. Сидельковский Л.Н., Юренев В.Н. Котельные установки промышленных предприятий.- М.: Энергоатомиздат, 1988.- 527 с.
5. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи.- М.: Энергия, 1977.- 344 с.
6. Теория горения и топочные устройства: учеб. пособие для студентов высш. учебных заведений / под ред. Д. М. Хзмаляна – М.: Энергия, 1976.
7. Бузников Е. Ф. Производственные и отопительные котельные/ Е. Ф. Бузников – 2-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1984.
8. Парогенераторы / под ред. А.П. Ковалева, – М.;Л.: Энергия, 1988.
9. Д.Дэвинс. Энергия: Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1985.
10. Теплотехника: учеб. для вузов/ под ред.. А.П. Баскакова – М.: Энергоатомиздат, 1991 г.
11. Роддатис К. Ф. Котельные установки: учеб.пособие для студентов неэнергетических специальностей вузов./ К.Ф. Роддатис. – М.: Энергия, 1977. – 432 с.
12. Александров В. П. Паровые котлы малой и средней мощности / В.П. Александров – 2-е изд. перераб. и доп. – Л.: Энергия, 1972. – 200 с.
13. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. – 4-е изд. – М.: Энергия, 1981. – 466с.
14. Вороновський Г.К. Сучасна теплова електрична станція - Харків: ХДАМГ, 1997. – 152 с.
15. Енергетичні установки і навколишнє середовище. За ред.. проф. Маляренка В.А. Навчальний посібник. – Харків: ХДАМГ, 2002. – 398 с.
16. Тепловые электрические станции и атомные электрические станции: текст лекций/ В.И. Касилов, О.В. Касилов, Л.И.Тютюник, Л.А. Иванова. – Харьков: «Типография Мадрид», 2017. – 104 с.

17. Энергетические установки: учебное пособие / В.И. Касилов, О.В. Касилов, Л.И.Тютюник, Л.А. Иванова. – Харьков: «Типография Мадрид», 2018. – 100 с.

18. G. Bakharieva, T. Falalieieva, S. Petrov, I. Mezentseva, B. Kobylanskyi, I. Tolkunov, O. Bondarenko. Construction of a generalized model of the harmful substances biochemical destruction process kinetics under conditions of substrate inhibition using the methods of simulation modeling // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.-3/10 (99) 2019/ p. 6-16. ISSN 1729-3774

ЗМІСТ

Передмова.....	3
Вступ.....	3
Глава 1. Принципи вибору місця розташування, потужності ТЕС та її агрегатів.....	4
Глава 2. Технологічна схема ТЕЦ.....	6
Глава 3. Вихідні дані для проектування теплотехнічної частини ТЕЦ.....	7
Глава 4. Характеристики технологічного обладнання ТЕЦ-5.....	8
Глава 5. Основне теплотехнічне обладнання ТЕЦ-5.....	9
Глава 6. Допоміжне теплотехнічне обладнання ТЕЦ.....	12
Глава 7. Зниження шкідливих викидів з водогрійних котлів типу ПТВМ.....	14
Глава 8. Екологічний захист довкілля.....	14
Модульні контрольні роботи.....	16
Контрольне завдання.....	21
Список джерел інформації.....	34

Навчальне видання

Програма, методичні вказівки, контрольні завдання з курсу «Теплові електричні станції» для студентів спеціалізації 151-04 «Комп'ютерно-інформаційні технології в енергетиці» та спеціалізації 142-01 «Енергогенеруючі технології та установки» усіх форм навчання

Укладачі ТЮТЮНИК Лариса Іванівна
ІВАНОВА Лідія Анатоліївна
ФАЛАЛЄЄВА Тетяна Василівна
ТАРАСЕНКО Олександр Миколайович

Відповідальний за випуск О.В. Єфімов
Роботу до друку рекомендував Л.І. Тютюник

В авторській редакції

План 2019р., поз. 49

Підп. до друку 02.09.19. Формат 60x84 1/16. Роздрук.
Ум. друк. арк. 1,8. Обл.-вид. арк.. 1,7. Тираж 100 прим. Зам. №75

61108, Харків, вул. Академічна, 1
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 6187 від 17.05.2018 р.