

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

**ОСНОВИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ
ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ**

Методичні вказівки
до проведення лабораторних занять для здобувачів
вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за спеціальністю
174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

Електронний ресурс

Рецензенти:

О. М. Черняк – кандидат технічних наук, доцент кафедри мехатроніки та електротехніки Національного аерокосмічного університету імені М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний університет»;

В. М. Князева – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій ННІ «Українська інженерно-педагогічна академія» Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна.

*Затверджено до розміщення в мережі Інтернет рішенням Науково-методичної ради
Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна
(протокол № 1 від 23 жовтня 2025 року)*

О-75 **Основи** автоматичного регулювання теплоенергетичних об'єктів : методичні вказівки до проведення лабораторних занять для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за спеціальністю 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» [Електронний ресурс] / уклад. Т. М. Фурсова. – Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2025. –(PDF 46 с.)

Методичні вказівки до проведення лабораторних занять з дисципліни «Основи автоматичного регулювання теплоенергетичних об'єктів» присвячені вивченню базових практичних питань щодо роботи регулювальних пристроїв теплоенергетичних об'єктів і містять загальні положення з кожної теми, порядок проведення лабораторної роботи та рекомендації щодо оброблення отриманих даних.

Призначено здобувачам вищої освіти освітнього ступеня «бакалавр» денної і заочної форм навчання за спеціальністю 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка».

УДК 681.5(075.5)

© Харківський національний університет
імені В. Н. Каразіна, 2025

© Фурсова Т. М., уклад., 2025

ЗМІСТ

ВСТУП	4
Лабораторна робота № 1 ВИВЧЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ, ПАРОРОЗПОДІЛУ І ЗАХИСТУ ПАРОВОЇ ТУРБИНИ НА ПРИКЛАДІ К-500-240	5
Лабораторна робота № 2 КОНСТРУКЦІЯ ТА РОБОТА ОРГАНІВ ПАРОРОЗПОДІЛУ	12
Лабораторна робота №3 ВИВЧЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ВІДЦЕНТРОВИХ НАСОСІВ ТА СПОСОБІВ ЇХ РЕГУЛЮВАННЯ	21
Лабораторна робота №4 АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ТА ПРИНЦИП ДІЇ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ПАРОВОГО КОТЛА	26
Лабораторна робота №5 СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ПОТУЖНОСТІ ТЕС	31
Лабораторна робота №6 СИСТЕМА КОНТРОЛЬНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ І АВТОМАТИКИ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРІВ	35
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	45

ВСТУП

У сучасних умовах розвитку енергетичної галузі та зростання вимог до ефективності, надійності й екологічної безпеки теплових електростанцій особливої актуальності набуває підготовка фахівців, здатних впроваджувати сучасні засоби автоматичного регулювання технологічних процесів. Дисципліна «Основи автоматичного регулювання теплоенергетичних об'єктів» є невід'ємною складовою професійної підготовки здобувачів вищої освіти за спеціальністю 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка».

Автоматичне регулювання дозволяє забезпечити стабільну та економічно доцільну роботу теплоенергетичного обладнання, знижуючи втрати енергії, підвищуючи точність і динамічну стійкість процесів, а також сприяючи зменшенню впливу людського фактора. Вивчення принципів побудови, налаштування та аналізу основних елементів систем автоматичного регулювання є необхідною передумовою для успішного проектування й експлуатації сучасних енергетичних установок.

Актуальність дисципліни також визначається завданнями сталого розвитку, сформульованими ООН, зокрема Цілями 7 та 13, що стосуються забезпечення доступу до чистої енергії та боротьби зі зміною клімату. Використання ефективних систем регулювання сприяє оптимізації використання паливно-енергетичних ресурсів і зниженню викидів шкідливих речовин в атмосферу.

Методичні вказівки до лабораторних занять покликані допомогти здобувачам освіти засвоїти практичні аспекти роботи регулювальних пристроїв теплоенергетичних об'єктів, а також сформувати технічне мислення, необхідне для подальшої професійної діяльності в галузі автоматизації енергетичних систем.

Лабораторна робота № 1
**ВИВЧЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ,
ПАРОРОЗПОДІЛУ І ЗАХИСТУ ПАРОВОЇ ТУРБІНИ НА ПРИКЛАДІ
К-500-240**

1.1. Мета роботи

Вивчення загальної конструкції паротурбінної установки та її системи автоматичного регулювання, паророзподілу і захисту.

1.2. Методичні вказівки до проведення лабораторної роботи

Для виконання лабораторної роботи необхідно вивчити по робочим схемам, плакатам, кресленням, натурним стендам конструкцію паротурбінної установки, а також її системи автоматичного регулювання, паророзподілу і захисту.

У якості матеріальної бази для проведення лабораторної роботи використовується модель турбіни К-500-240-1 (рис.1.1). У даний час використовується і К-500-240-2, яка має незначні відмінності.

1.3. Порядок проведення роботи

Вивчення макету, робочих схем та креслень парової турбіни К-500-240

Технічні дані. Конденсаційна турбіна К-500-240-1 (рис. 1.1.-1.2) служить для безпосереднього приводу електричного генератора змінного струму типу ТГВ-500 з воднево-водяним охолодженням. Турбіна розрахована на номінальні параметри пари $P_0 = 23,6$ МПа (240 ата), $t_0 = 560$ °С, параметри пари після проміжного перегріву $P_{nn} = 3,65$ МПа (36 ата), $t_{nn} = 565$ °С і тиск у конденсаторі 0,00346 МПа (0,035 ата) при розрахунковому значенні температури охолоджувальної води на вході в конденсатор 12 °С з витратою її через один конденсатор 51800 м³/ч.

Турбіна призначена для роботи у блоці з двухкорпусним котлом типу ПП-1600/255 паровиробництвом 1600 т/г.

Номінальна потужність 500 000 кВт забезпечується при номінальних параметрах та витраті пари 1462 т/г, температура охолоджуючої води 12 °С, роботі з відборами пари : 90 т/г на сушку палива; 10 т/г на розгрів розтопочного мазуту; 29,2 т/г на підігрів повітря для котлоагрегату та добавкою конденсату в цикл.

Проточну частину турбіни у разі заносу солями можна промивати насиченою парою.

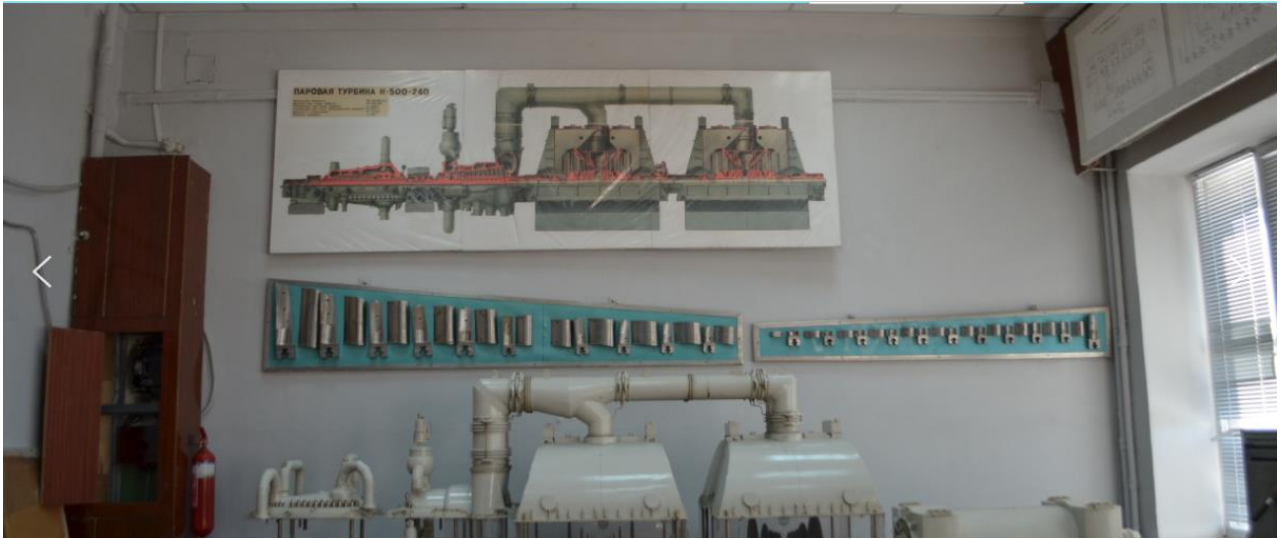


Рис. 1.1. Модель турбіни К-500-240-1 у лабораторії

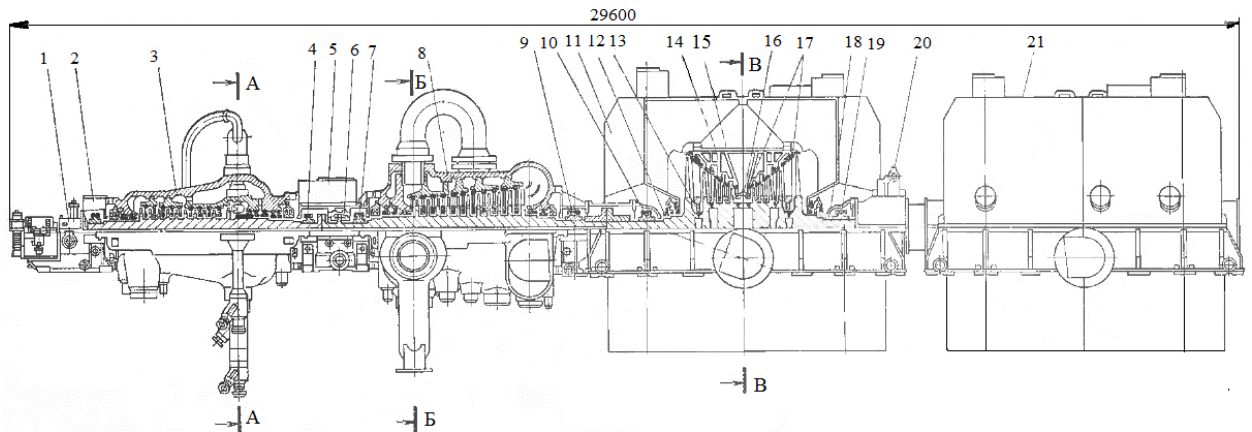


Рис. 1.2. Продольний переріз турбіни К-500-240 з поперечними розрізами за паровпусками ЦВТ, ЦСТ, ЦНТ [1]:

1 – опора підшипників №1; 2 – підшипник опорний №1; 3 – циліндр високого тиску; 4 – підшипник опорний №2; 5 – опора середніх підшипників; 6 – підшипник упорний; 7 – підшипник опорний №3; 8 – циліндр середнього тиску; 9 підшипник опорний №4; 10 – підшипник опорний №5; 11 – зовнішній корпус ЦНТ-I; 12 – ущільнення кінцеве ЦНТ; 13 – ущільнення діафрагмене; 14 – обойма діафрагм ЦНТ; 15 – екран обойми ЦНТ; 16 – направляючий апарат ЦНТ; 17 – діафрагма першої - п'ятої ступені ЦНТ; 18 – масловідбійник; 19 – підшипник опорний №6; 20 – валоповоротний пристрій; 21 – зовнішній корпус ЦНТ-II

Турбоустановка типу К-500-240-1 складається з одновальної чотирьохциліндрової (з чотирма вихлопами на два конденсатора) турбіни, системи регулювання і захисту, масляної системи, апаратури контролю, сигналізації і дистанційного керування, регенеративної установки. Покращення умов пуску та зменшення часу прогріву турбіни досягається паровим обігрівом фланцем та шпильок, підводом пари у полость між зовнішнім та внутрішнім ЦВТ, наявністю валоберткового пристрою з електродвигуном, що обертає ротор турбіни зі швидкістю близько 3 – 4 об/хв.

Температура зовнішнього шару ізоляції при роботі турбіни не повинна перевищувати 50 °С.

Конструкція турбіни. Турбіна К-500-240-1 є одновальним чотирьохциліндровим агрегатом, який складається з ЦВТ, ЦСТ та двох двухпоточних ЦНТ.

У ЦВТ розміщено 10 ступенів тиску та одновічна регулююча ступінь. Пара підводиться безпосередньо у внутрішній корпус відлитий разом з сопловими коробками.

Циліндр високого тиску у передній частині двухстінний. Паровпуском ЦВТ розвернут к паровпуску ЦСТ, між ними розташований упорний підшипник. Для розвантаження упорного підшипника діаметр ротору переднього кінцевого ущільнення збільшений до 585 мм (діаметр валу під діафрагмені ущільнення складає 565 мм).

Зовнішній корпус ЦВТ виконаний з легованої сталі 20 ХМЛФ. Для захисту зовнішнього корпусу від нагріву передбачені екрани, встановлені у паровпускних патрубках.

Внутрішній корпус ЦВТ виконаний з жароміцної сталі 15Х1М1ФЛ. Ротор ЦВТ цільнокований зі сталі ЕІ 415, гнучкий. Робочі лопатки з першої по четверту ступінь виконані з нержавіючої жароміцної сталі марки 1Х1212ВНМФ, робочі лопатки останніх ступенів – з нержавіючої сталі марки 1Х13. Усі робочі лопатки ЦВТ цільнофрезеровані, мають постійний переріз по висоті і зв'язані у пакети стрічковими бандажами. Хвостовики лопаток двухпорні типу АТ «Українські енергетичні машини» (ВАТ «Турбоатом»).

З ЦВТ пара відводиться по чотирьом трубам (діаметром 450 мм) на проміжний перегрів, після чого пара через три блоки клапанів проміжного перегріву надходить у ЦСТ.

У ЦСТ розміщено 11 ступенів тиску. Корпус ЦВТ сварно – литий. Головна частина відлита з легірованої сталі 15Х1М1ФЛ, вихлопна – з вуглеводної сталі 25Л. Три обойми ЦСТ відлиті із легірованої сталі, а четверта – з чугуну. Робочі лопатки першої – сьомої ступені виконані з нержавіючої жароміцної сталі марки 1Х12ВНМФ, лопатки 8 – 11 ступеней – зі сталі марки 1Х13. Лопатки всіх ступеней мають по висоті перемінний переріз. Хвостовики лопаток 1 – 10 ступеней трьохпорні, лопатки 2 – ої ступені виконані з ялинковим торцевим хвостовиком. Робочі лопатки 1 – 5 ступеней ЦСТ зв'язані у пакети стрічковими бандажами. На 4 – 5 ступенях додатково установлені дротові зв'язки. На 6 – 11 ступенях лопатки без бандажів, але мають потрійну (9 – 10 ступені) та подвійну (6 – 8 та 11 ступені) трубчатий зв'язок. Ротор ЦСТ цільнокований зі сталі ЕІ 415, гнучкий. Диск останній ступені насадний.

Перепуск пари до ЦНТ проводиться по двом зварним ресиверам. Дванадцять лінзових компенсаторів на кожному ресивері забезпечують необхідну свободу розширення. Зі сторони ЦСТ ресивер має проходний переріз діаметром 1400 мм; на стику зі фланцем паровпуску до ЦНТ – прохідний переріз діаметром 1000 мм. Особливістю ресивера є наявність у ньому направляючих лопаток, які знижують витрати.

Обидва ЦВТ двухпоточні. Корпус кожного ЦНТ складається з двох вихлопних патрубків, які з'єднуються вертикальними фланцями по осі

паровпуску. Внутрі кожного корпусу НЦ встановлені тепло – рухомі обойми діафрагм. У середній часті обойми виконана кільцева щільність, до якої підводиться пара з ЦСТ через паропідводячі патрубки. З кільцевої частини пара поступає на перший та другий потоки кожного ЦНТ. У кожному потоці ЦНТ розташовано 5 ступеней. Наружна поверхня обойми екранується. Діафрагми ЦНТ чугунні (зварні та литі). Направляючі лопатки виконані з нержавіючої сталі. Направляюча лопатка, п'ятої ступені ЦВТ виконана зварною. На 4 – 5 ступенях здійснюється влаговидалення. Ротори низького тиску виконані з насадними дисками. Лопатки 1 – 2 ступеней зібрані у пакети стрічковими бандажами, мають постійні перерізи по висоті. Хвости облопачування 1 – 3 ступеней двухопорного типу ВАТ «Турбоатом». Лопатки 3 – 5 ступеней мають тільки дротяні бандажі зі змінними перерізами по висоті.

Хвостові лопаток 4 – 6 ступеней ялинкового типу з торцевою заводкою. Максимальна сумарна напруга у лопатці досягає 455 МПа (4630 кг/см), тому робочі лопатки останніх ступеней виготовлені з нержавіючою сталі марки 1Х12ВНМФ.

Бандажні зв'язки робочих лопаток п'ятої ступені втулочного типу виконані зі сталі 1Х12ВНМФ. З метою зменшення ерозії вхідних кромek робочих лопаток 4 – 5 ступеней виконано електроіскрове зміцнення верхніх частин вхідних кромek твердим сплавом.

Ротори турбіни опираються на сім опорних підшипників ковзання з шаровими опорами. Опорні підшипники самовстановлюючі. Всі чотири ротора турбіни з'єднані між собою жорсткими муфтами. Критичні числа оборотів усього валопроводу турбіни з ротором генератора складають 1325; 1730; 1900; 2111; 2312 і 4605 об/хв.

У турбіні два фікспункти, розташовані на бокових опорних плитах першого та четвертого вихлопних патрубків ЦВТ, поблизу осі паровпуску. Свіжа пара підводиться по восьми ниткам паропроводу з двом а блокам паророзподілу, розташованим по обидві сторони турбіни. У кожному блоці паророзподілу об'єднані один стопорний та чотири регулюючих клапанів.

Корпуси блоку паророзподілу виконані зварно – литими зі сталі 15Х2М2ФБ. Кожне з чотирьох розподільних пристроїв має розподільний вал з кулачками, що забезпечують потребуєму послідовність їх відкриття. Пара через два блоки паророзподілу восьма трубами підводиться до чотирьох паровпускним патрубкам ЦВТ, які розташовані симетрично на корпусі циліндру. Паророзподіл турбіни сопловий.

При роботі турбіни на частковому навантаженні 400 МВт і нижче пара у ЦВТ буде поступати по одному патрубку в верхній та по другому у нижній половині внутрішнього корпусу. З кожного патрубка пара, розтікаєсь по напівколу, живить по два сегменти сопел, що розташовані у роз'ємах. Підвищення навантаження від 400 до 460 МВт здійснюється подачею пари до нижнього середнього сегменту. Подальше навантаження турбіни відбувається за рахунок подачі пари через четвертий верхній патрубок у верхній сегмент сопел.

Компоновка передбачає поперечне розміщення агрегату у машинному залі прольотом 42 м. Загальна довжина турбіни та генератора зі збуджувачем – 46,6 м. Вага найбільш важких частин турбоагрегату для монтажу: нижньої частини циліндру низького тиску – 100 т; ротора генератора без газоохолоджувачів до щитів – 218 т.

Система автоматичного регулювання, паророзподілу і захисту. Система паророзподілу містить регулюючі та стопорні клапани, а також передатні ричажні пристрої між ними та приводними механізмами – сервоприводами. Регулюючі клапаниздійснюють зміну витрати пари у турбіні для зміни потужності. Стопорні клапани повністю припиняють потрапляння пари до турбіни при спрацюванні автоматичних органів захисту або під впливом обслуговуючого персоналу на спеціальних пристроях.

Елементи паророзподілу знаходяться під дією системи автоматичного регулювання і захисту та переміщуються за допомогою гідравлічних приводних механізмів.

Паророзподіл турбін із проміжним перегрівом пари складається з 2 систем: перша – коректує витрату пари, що потрапляє до частини високого тиску (ЧВТ), друга – змінює потрапляння пари із проміжного перегрівача до частини середнього тиску (ЧСТ) і попереджує небезпечний розгін ротора при збросі навантаження енергією пари, що акамулюється в паропроводах проміжного перегріву та трубній системі.

Обидві системи повинні мати високу швидкодію, однак швидкодія паророзподільних органів ЧСТ є більш актуальною, оскільки контролює більш 70% загальної потужності турбіни.

Пуск турбіни, підтримка холостого ходу і розвантаження її до 30% номінальної потужності здійснюється регулюючими клапанами високого тиску і промперегріву.

Принципова схема регулювання турбіни К-500-240 зображена на рис. 1.3. За функціональним призначенням всі елементи АСР можуть бути розбиті на чотири групи. Перша – сервомотори із розподільними золотниками, друга – вимірювачі регулюємих параметрів або збуджень та перетворювачі в уніфікований сигнал керування сервомоторами (командні органи). Третя група – пристрої розхолодження окремих елементів АСР і клапанів на працюючій турбіні, четверта – елементи системи водопостачання.

В АСР є чотири сервомотори регулюючих клапанів 11: два – клапанів високого тиску (головні сервомотори 9, 10) і два – клапани промперегріву (14, 15).

Головні сервомотори, кожен з яких переміщує чотири регулюючі клапани – двухсторонні.

Сервомоторирегулюючих клапанів промперегріву – односторонні.

Командних органів системи регулювання три: регулятор швидкості із золотником 3 та механізмом управління турбіною (МУТ) 4; другий МУТ 16, на який як правило заводиться сигнал по тиску свіжої пари, і званий тому регулятором тиску, електрогідроперетворювач (ЕГП) 18, що перетворює вхідний командний стгнал зміни сили току в переміщення золотника.

Пристрої для індивідуального закриття окремих сервомоторів на працюючій турбіні (розходжуючі пристрої) є дроселями 12, що встановлені між напорними колекторами та лініями зворотних зв'язків сервомоторів. Нормально ці дроселі закриті повністю та не впливають на роботу АСР.

Автоматична система захисту (АСЗ) – електрогідравлічна, з електричними вимірювачами та гідравлічною виконавчою частиною. Захист по підвищенню частоти обертання (автомати безпеки) – механогідравлічний. Надійність та швидкодія АСЗ досягається дублюванням елементів, виключенням золотникових пар, введенням зворотних зв'язків та періодичними перевірками.

У таблиці 1 приведена характеристика системи регулювання, паророзподілу і захисту турбіни К-500-240.

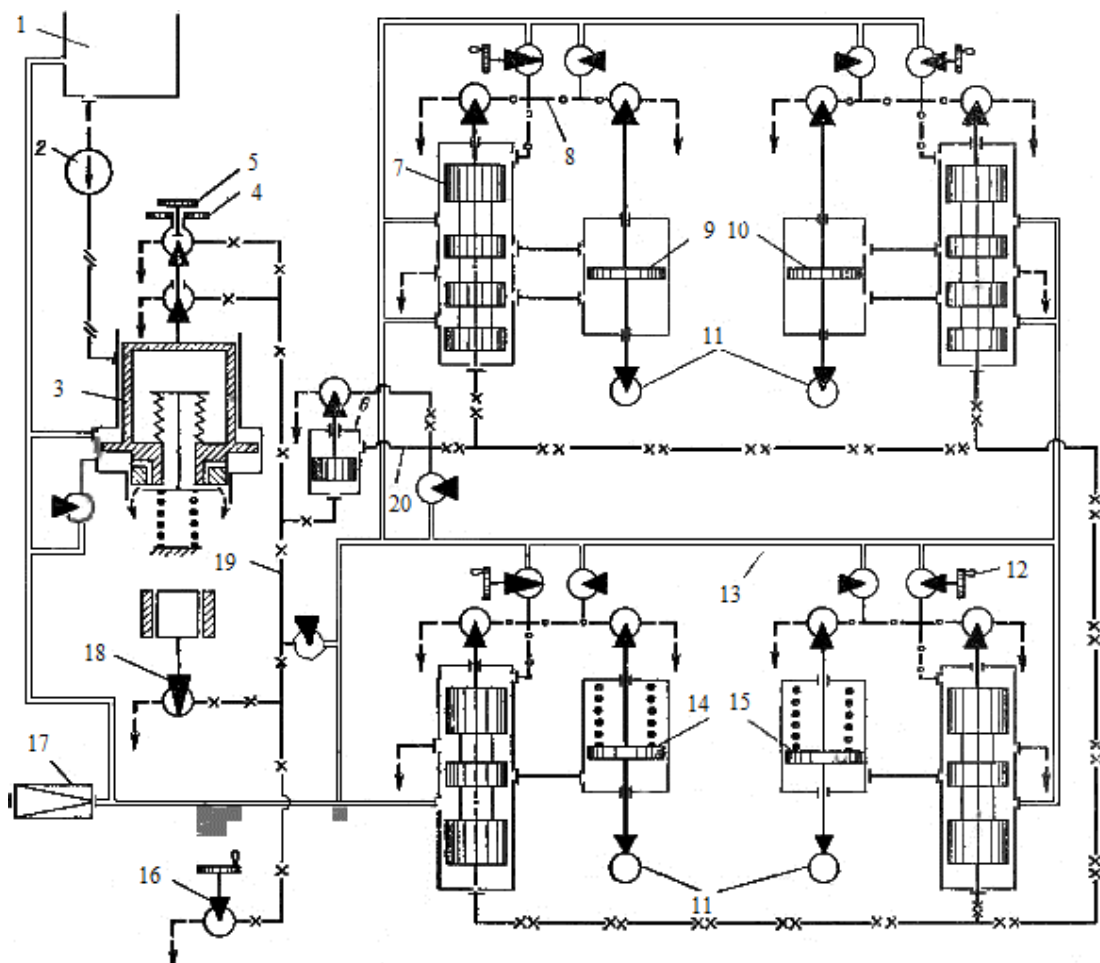


Рис. 1.3. Принципова схема регулювання:

1 – бак імелера; 2 – насос-імелер; 3 – золотник регулятора швидкості; 4, 16 – механізм керування турбіною; 5 – обмежувач швидкості; 6 – промзолотник; 7 – відчічний золотник; 8 – лінія зворотного зв'язку; 9, 10 – головні сервомотори; 11 – регулюючий клапан; 12 – пристрій для розхолоджування; 13 - силова вода; 14, 15 – сервомотори клапанів промперегріву; 17 – фільтр; 18 – електрогідроперетворювач; 19 – лінія 1-го підсилення; 20 – слідкуюча лінія 1-го підсилення

Таблиця 1.

Характеристика обладнання системи автоматичного регулювання,
паророзподілу і захисту турбіни К-500-240

Найменування	Показник
Тип системи автоматичного регулювання	Гідродинамічна з гідравлічними прямими і зворотними зв'язками та беззолотниковими пристроями захисту
Нерівномірність регулювання частоти обертання роторів	$4,5 \pm 0,5\%$ номінальної частоти обертання
Нечутливість регулювання	Не більш $0,2\%$ номінальної частоти обертання
Регулятор швидкості	Гідравлічний, золотниковий, із обмежувачем потужності та механізмом керування.
Датчик швидкості	Імпульсний відцентровий насос
Робоча рідина	Конденсат тиском приблизно $1,96$ МПа (20 кг/см ²)

1.4. Зміст звіту

Звіт повинен містити назву і мету роботи, а також наступні положення:

1. Схематично накреслити та описати роботу АСР парової турбіни К-500-240.
2. Пояснити призначення та принцип дії систем паророзподілу і захисту на прикладі К-500-240.
3. Дати характеристику обладнанню системи автоматичного регулювання, паророзподілу і захисту турбіни К-500-240 (таблиця 1).
4. Зробити висновки щодо перспективності використання К-500-240 в енергетиці.

1.5. Контрольні питання

1. Поясніть маркування парової турбіни К-500-240.
2. Дайте визначення поняттям: система паророзподілу турбіни, система автоматичного регулювання, система захисту.
3. Який вид системи паророзподілу у турбіні К-500-240?
4. Охарактеризуйте основні елементи системи регулювання парової турбіни.
5. Як досягають надійності та швидкодії автоматичної системи захисту парової турбіни?

Лабораторна робота № 2
КОНСТРУКЦІЯ ТА РОБОТА ОРГАНІВ ПАРОРОЗПОДІЛУ

2.1. Мета роботи

Вивчити конструкцію органів паророзподілу та розглянути їх роботу.

2.2. Методичні вказівки до проведення лабораторної роботи

Для виконання лабораторної роботи необхідно вивчити по робочим схемам, плакатам, кресленням, натурним стендам конструкцію та роботу органів паророзподілу.

2.3. Порядок проведення роботи

Призначення та вимоги до органів паророзподілу

Для подачі пари в турбіну використовують стопорні та регулюючі клапани. Призначення стопорних клапанів – раптове припинення подачі пари в турбіну, призначення регулюючих клапанів – регулювання витрати пари при зміні потужності турбіни.

Крім регулюючих та стопорних клапанів в турбінах з проміжним перегрівом встановлюють відсічний та регулюючий клапани на лінії після промперегрівача. Перед ЦНТ турбін насиченої та слабоперегрітої пари, тобто після сепаратора – перегрівача, встановлюють відсічні клапани.

Кожному регулюємому відбору пари в теплофікаційних турбінах відповідає регулюючий орган – клапан або поворотна діафрагма.

Регулюючі клапани, як і регулюючі (поворотні) діафрагми під час роботи можуть бути відкриті повністю або частково. Стопорні та відсічні клапани за звичаєм знаходяться у двох положеннях – вони або закриті, або повністю відкриті.

Клапани повинні задовольняти таким основним вимогам:

1. Перше відноситься до надійності та довговічності деталей, які працюють в паровому середовищі - корпусів та кришок клапанів, перехідних патрубків. Ці деталі зазнають дії корозії, ерозії та великих термічних напружень при перемінних режимах роботи, особливо при пусках та остановках

2. Робота клапанів повинна бути виключно надійною, тому що вони не тільки забезпечують задане навантаження турбіни, але й служать виконавчими органами одного з контурів захисту. Клапани повинні щільно притулятися до сідел при повному закритті для унеможливлення розгону турбіни у разі скидання навантаження. Конструкція клапана не повинна приводити до високих температурних напруг елементів, які вимушували б обмежувати швидкість пуску та навантаження турбіни.

3. При повному відкритті клапанів втрати тиску в них повинні бути невеликими, тому що дроселювання пари призводить до зменшення використаного теплоперепада турбіни.

4. Нормальна робота паророзподілу неможлива без надійної фіксації клапанів в заданому положенні. Це вимагає різних конструктивних засобів, які запобігають вібрації рухомих деталей клапана в осьовому, радіальному та тангенціальному напрямках. Вібрація може виникнути під дією змінних динамічних сил парового потоку.

5. Складним є питання ущільнення штоків клапанів в місці виходу з корпусу клапана. Ущільнення виконується у вигляді лабіринтів, через які відбувається витік пари. Зменшення зазору може призводити до заїдання штока, порушенню роботи системи регулювання, а в тяжких випадках – до аварії турбіни внаслідок її розгону.

6. Як правило, сумарна витратна характеристика регулюючих клапанів повинна бути лінійною, що значно полегшує керування турбіною та сприяє виконанню вимог лінійності статичної характеристики системи регулювання. Крива силового навантаження не повинна мати різких піків та западин, зміна зусиль по можливості повинна проходити плавно, бажано звести до мінімуму як найбільшу величину зусилля, так і різницю між найбільшим та найменшим його значеннями.

Конструкції регулюючих клапанів

З конструкцій регулюючих клапанів найбільш простим є тарільчатий клапан, який показано на рис. 2.1, а.

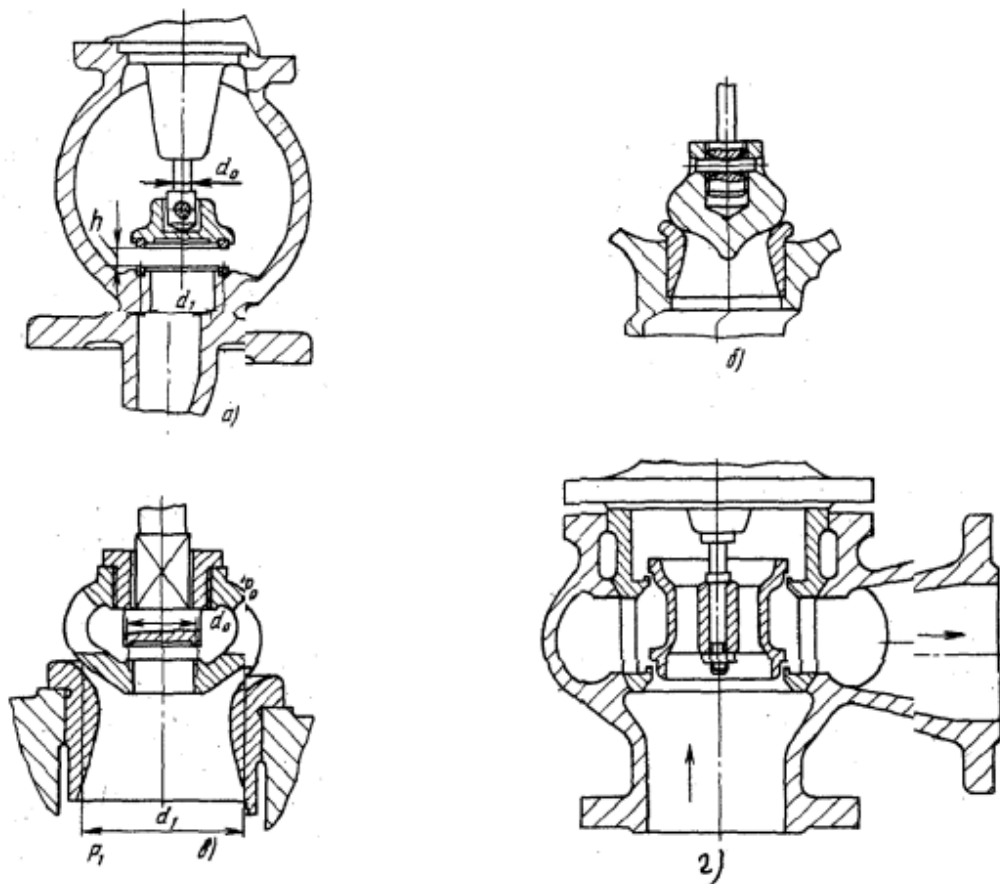


Рис. 2.1 - Типи регулюючих клапанів парових турбін [2]:

- а) – тарільчатий клапан; б) – обтічний клапан; в) – розвантажений клапан;
г) - двосідельний розвантажений клапан

Але цей клапан має певні недоліки. Для забезпечення щільного прилягання клапана до сідла потрібно прикласти значне зусилля. В такому клапані за звичаєм допускають невеликі швидкості пари – до 50 - 70 м/с, що вимагає збільшення його розмірів, а це, в свою чергу, призводить до збільшення зусиль для його відкриття.

Зусилля для відкриття клапана можна визначити:

$$R = \pi d_1^2 \cdot [1 + (d_0 / d_1)^2] \cdot (p_0 - p_1) / 4$$

де p_0 , p_1 – тиск пари перед клапаном і за ним; d_0 – діаметр штока клапана; d_1 – діаметр кільця контакту між клапаном та сідлом.

Клапан буде відкритим повністю за умови

$$\pi d_1^2 / 4 = \pi d_1^2 \cdot h_{\max} \quad \text{або} \quad h_{\max} = d_1 / 4$$

де h_{\max} – максимальна висота підйому клапана.

У разі необхідності здійснити заданий закон зміни прохідного перетину клапана в залежності від висоти його піднімання, клапан може бути забезпечено дросельним конусом. На початковій ділянці піднімання клапана відкривається тільки вузький кільцевий перетин, який утворюється між дросельним конусом і сідлом. Для клапана з дросельним конусом повне піднімання не повинно бути менше.

$$h_{\max} = (d / 4) + h_k$$

де h_k – висота дросельного конуса.

У момент відриву клапана від сідла значне підвищення швидкості течії через відкритий клапан призведе до збільшення втрат тиску в повністю відкритому каналі, а, значить, до зниження економічності турбіни. Ця втрата може бути зменшена, якщо клапану та його сідлу надати добре обтічну форму, а потім в дифузійній частині сідла частково відновити кінетичну енергію потоку.

На підставі таких аналізів був розроблений клапан, який показаний на рис. 2.1, б. В цьому клапані йому надана обтічна форма, а паровідвідний патрубок виконаний в формі розширеного сопла Вентурі, яке при дозвуковій швидкості пари дозволяє частково відновити в тиск швидкісну енергію потоку. В цьому разі швидкість пари допускається до 100 - 150 м/с, що дозволяє значно знизити діаметр клапана і скоротити парове зусилля, яке притискає клапан до сідла. Такі клапани набули широкого розповсюдження, особливо в турбінах високого тиску.

Подальші спроби зменшити зусилля, які необхідні для відриву клапана привели до такої конструкції (рис. 2.1, в). Клапан виконано подвійним. Всередині великого клапана розміщено клапан меншого діаметра (d_0). Під

час піднімання штока спочатку відкривається клапан меншого діаметра, що призводить до підвищення тиску пари за клапаном. Коли менший клапан увійде у зіткнення з великим, починається піднімання останнього при зменшеному перепаді тиску ($p_0 - p_1$). Таким чином, вдалося вдвічі зменшити зусилля для відриву клапана від сідла.

Ефективне розвантаження клапана може бути досягнуте в двосідельному клапані, який показано на рис.2.1, г. Пара до клапана підводиться знизу і при його підніманні частково направляється через щілину, яка відкривається нижньою кромкою клапана, а частково протікає всередині циліндричного тіла клапана і, обминаючи щілину, яка відкривається верхньою кромкою, поступає до сопел. Парове зусилля в двосідельній конструкції може бути ефективно зрівноважене. Але двосідельні клапани мають більші розміри, їх важко виконати щільними, тому в турбінах з початковим тиском, який перевищує 8,82 МПа, як правило, використовують односідельні регулюючі клапани. Двосідельні клапани знайшли використання в деяких турбінах насиченої пари, які встановлюються на АЕС.

У сучасних турбінах великі розміри клапанів створюють труднощі при компоновці в загальній схемі турбоагрегата, що пов'язані з тим, що у разі монтажу клапанів безпосередньо на турбіні слід враховувати вплив маси клапанів на вигин циліндру і на вібраційні характеристики агрегата, а в разі окремого розміщення клапанів утворюються проміжні об'єми пари, які можуть призвести до закидання частоти обертання ротора у разі відключення генератора.

Як вже вказувалось, в турбінах з великим початковим тиском пари зусилля, які необхідні для відкриття клапану в початковий період, складає кілька тон із-за великої різниці тисків перед і за клапаном. Особливо значних значень ці зусилля досягають в клапані, який відкривається першим, внаслідок того, що перед клапаном може бути повний тиск пари, а за клапаном – вакуум конденсатора. Ці зусилля збільшуються з ростом потужності турбіни, тому що витрата пари і площа клапана, необхідна для його пропуску, значно зростають.

Для таких умов раціональною є конструкція паророзподілу, з окремою клапанною коробкою, яка показана на рис. 2.2.

Регулюючі клапани 5 вставлені окремо в корпусах клапанів 7, з яких пара поступає до соплового апарата регулюючого ступеню (в сопловій коробці 8). Кожен клапан переміщується штоком та важелями 6. Шток серводвигуна 1 через систему важелів, рейку 2 та зчіплене з нею зубчате колесо повертає розміщений в підшипниках (не показаних на рис.2.2) кулачковий вал 3. Кулачкові шайби 4, встановлені на цьому валі, під час його обертання в певній послідовності відкривають регулюючі клапани.

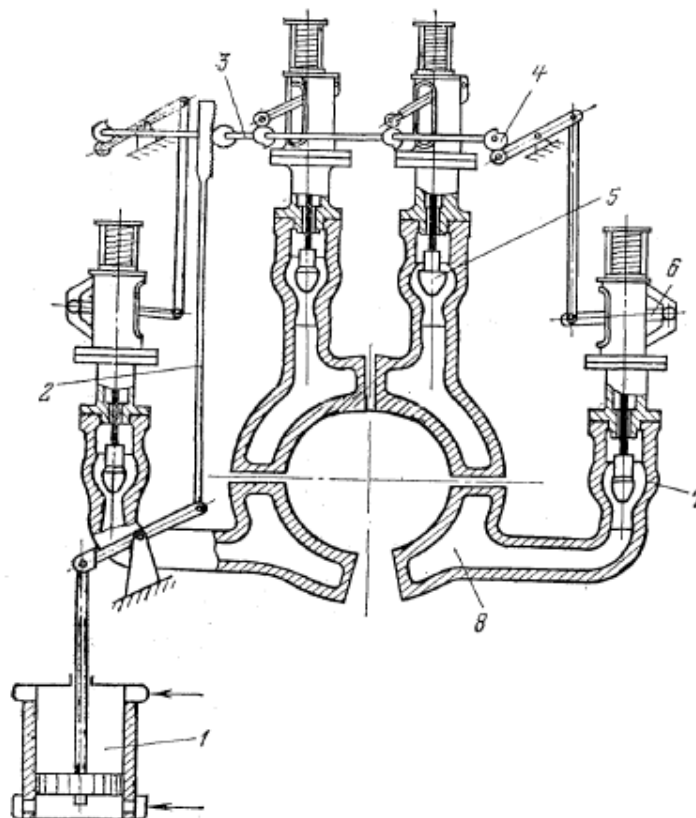


Рис.2.2 - Система паророзподілу з окремими клапанними коробками [2]:

1 – сервомотор; 2 – рейка; 3 – кулачковий вал; 4 – кулачкова шайба; 5 – регулюючий клапан; 6 – важіль; 7 – корпус клапанів; 8 – соплова коробка

Стопорні та зворотні клапани і заслонки

Під час роботи турбіни можуть виникнути обставини, які потребують негайного припинення подачі пари в турбіну, а іноді і відключення генератора від мережі. Необхідність термінового припинення подачі пари в турбіну виникає при: збільшенні частоти обертання ротора більш допустимої; неприпустимому осьовому зсуві ротора відносно статора; неприпустимому збільшенні тиску в системах змащення та регулювання; аварії обладнання (котел, реактор, генератор, конденсатор тощо), які вимагають негайного припинення подачі пари в турбіну.

Для запобігання тяжких наслідків таких явищ в турбіні передбачений автоматичний захист. Виконавчими органами системи захисту виступають стопорні та зворотні клапани. Кожна турбіна забезпечується одним або кількома стопорними клапанами, які розміщені перед регулюючими клапанами.

Стопорні клапани повинні швидко та надійно спрацювати для припинення подачі свіжої пари в турбіну. При цьому в блочних установках, де виробництво пари паровиробляючою установкою не може бути припинено раптово, пару направляють через швидкодіючу редукційно-охолоджуючу установку в конденсатор або через запобіжні клапани, які розміщені на паропроводі, – в атмосферу.

Для турбін з проміжним перегрівом пари відключення паропроводів тільки свіжої пари недостатньо, тому що якийсь час пара буде поступати з паропроводів проміжного перегріву в ЦСТ та розганяти турбіну. Тому безпосередньо перед ЦСТ або прямо на його корпусі встановлюють стопорні клапани, які відсікають пару проміжного перегріву від ЦСТ. Перед стопорними клапанами ЦСТ розміщують скидні клапани, які направляють пару з системи проміжного перегріву в конденсатор. В турбінах насиченої пари, в яких між ЦВТ і ЦНТ встановлюють сепаратор–перегрівач, передбачається встановлення за ним стопорних клапанів (заслонок), аналогічних стопорним клапанам ЦСТ турбін з проміжним перегрівом.

Але цього захисту від поступання пари в турбіну недостатньо, тому що пара в неї може попадати з паропроводів регулююємих відборів та з регенеративних підігрівачів. Таке положення виникає у разі закриття стопорного клапану та швидкого падіння тиску всередині турбіни. У цьому разі в регенеративних підігрівачах виникає вскіпання конденсата гріючої пари, який прямує в турбіну. Тому на трубопроводах відбору встановлюють зворотні клапани, часто з примусовим закриттям за допомогою сервомоторів, які одержують імпульс від кінцевих вимикачів, які встановлені на стопорних клапанах і подають сигнал при майже повному їх закритті.

В сучасних парових турбінах застосовуються **три схеми з'єднання парових стопорних та регулюючих клапанів**: 1) *стопорні та регулюючі клапани розміщені роздільно* та з'єднуються між собою перепускними трубами. На кожен стопорний клапан приходиться від двох до чотирьох регулюючих клапанів.

В турбінах надкритичного тиску регулюючі клапани, число яких складає від чотирьох до восьми на одну турбіну, розміщують окремо та з'єднують з ЦВТ тонкостінними перепускними трубами. В турбінах докритичного тиску регулюючі клапани розміщують безпосередньо на корпусі ЦВТ чи близько до нього, і вони зв'язані з циліндром короткими патрубками. Регулюючі клапани ЦСТ також встановлюють в безпосередній близькості до циліндру.

2) *стопорні та регулюючі клапани розміщені поряд та з'єднуються між собою короткими патрубками в блоки клапанів*, що полегшує умови рівномірного прогріву всіх клапанів під час пуску турбоагрегату.

3) *стопорні та регулюючі клапани розміщені в одному загальному корпусі* (рис. 2.3). Пара підводиться до центральної камери під стопорним клапаном та після нього подається в камеру над ним, загальну для трьох регулюючих клапанів, які знаходяться в тому ж корпусі.

Роздільне розміщення клапанів та циліндрів дозволяє спростити конструкцію та технологію виготовлення циліндра, систему керування клапанами, а також полегшити монтаж та демонтаж турбіни. Однак наявність додаткових парових об'ємів між клапанами та циліндрами збільшує розгін турбіни після закриття клапанів у випадках скиду навантаження.

Як вже вказувалось, стопорні та регулюючі клапани в сучасних турбінах часто конструктивно виконують в єдиному блоці, який встановлюють поряд з турбіною.

На рис. 2.4 показана конструкція комбінованого стопорно-регулюючого клапана іншого типу, який широко використовується ХТЗ.

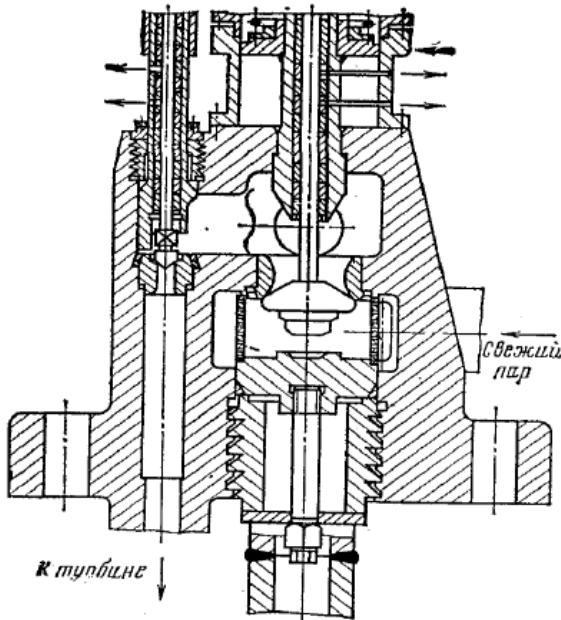


Рис. 2.3 - Блок клапанів ЦВТ турбіни К-300-240 ХТЗ (зараз АТ «Українські енергетичні машини») [2]

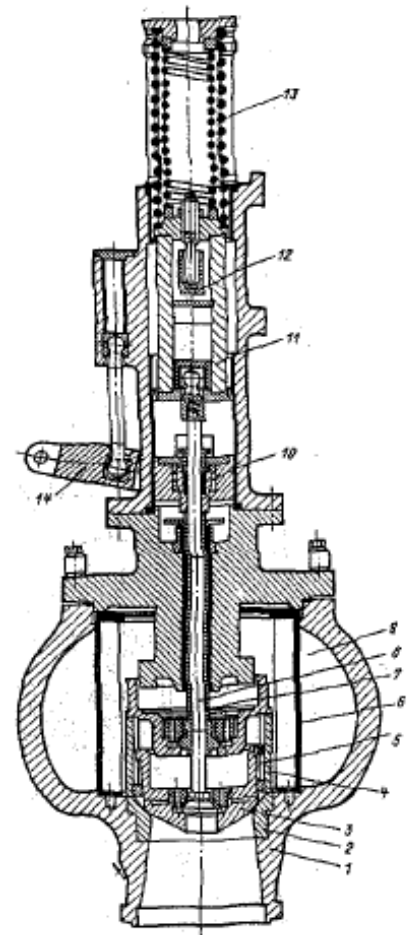


Рис. 2.4. Комбінований клапан турбіни К-500-60/1500 ХТЗ [2]:

1 – корпус; 2 – сідло; 3 – регулюючий клапан; 4 – стопорний клапани; 5 – чаша регулюючого клапана; 6 – парове сито; 7,8 – шток; 9 – парова коробка; 10 – сферична опора; 11 – рамка; 12 – траверса; 13 – пружина

Цей клапан має один корпус 1, всередині якого встановлено два клапани: стопорний 4 і регулюючий 3. Перед пуском турбіни сервомотор стопорного клапана приводить в дію важіль 14, який повертається навкруги сферичної стрижньової опори і захоплює через другу сферичну опору 10 трубчатий шток 7. Стопорний клапан 4 відкривається, відривається від сідла 2 і переходить у крайнє верхнє положення. Регулюючий клапан 3 приступає до виконання своїх функцій. Чаша 5 регулюючого клапана переміщується штоком 8 після попереднього відкриття розвантажувального клапана, який

розміщений всередині штока 7, рамкою 11 через палець, який пересувається траверсою 12. Привід траверси забезпечується по краям кулачками через розподільчий вал, який обертається рейкою та сервомотором. Закриття регулюючого клапана виконується пружиною 13. У разі відкритих стопорного та регулюючого клапанів пара поступає в парову коробку 9, проходить парове сито 6, між регулюючим клапаном і сідлом і направляється в турбіну. Стопорний та регулюючий клапани регулюються окремо та незалежно один від одного своїми сервомоторами. Основна перевага комбінованого клапана: практично вдвічі менше втрати тиску і дроселювання у разі повного відкриття та менша металоемкість і трудомісткість виготовлення.

На рис. 2.5 показано стопорно-регулюючу заслінку, яка встановлюється на паропроводі діаметром 1200 мм, який йде від СПП до ЦНТ турбіни К-220-44 ХТЗ.

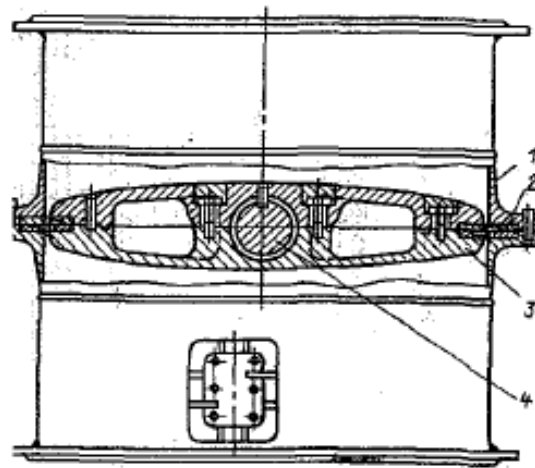


Рис. 2.5. Заслінка турбіни К – 220 – 44 ХТЗ [2]:

1 – корпус; 2 – сідло; 3 – диск; 4 – вал

У разі різкою скидання навантаження з відключенням генератора від мережі сервомотор за допомогою рейки повертає вал заслінки, закриваючи паропровід. Диск заслінки виконаний обтічної форми і не створює значного дроселювання пари у відкритому положенні. Клапан, який встановлений на паропроводі відбору, виконується одночасно і зворотнім, і запобіжним.

На рис. 2.6 показано положення клапана у закритому стані, коли у порожнину над поршнем подано конденсат з напорної лінії конденсатних насосів. При цьому шток клапана опускається униз, і тарілка клапана сідає на сідло. У разі зняття тиску конденсата пружина перемістить клапан угору, але при цьому тарілка залишиться на місці до тих пір, поки кінетична енергія пари, яка поступає, не оберне тарілку і не відкриє клапан до положення, яке вказано на рисунку пунктиром.

У разі зворотнього потоку пари чи води, цей потік потягне тарілку клапана і насадить її на сідло, відсікаючи прохід для пари, при цьому положення поршня 2 не буде мати ніякого значення. У разі закриття стопорних клапанів турбіни чи відключення генератора від мережі подається

сигнал на соленоїдний клапан, який подає силовий конденсат в порожнину над поршнем та примусово закриває зворотній клапан, не допускаючи таким чином пару із відбірного паропровода в турбіну.

В парових турбінах з регульованими відборами пари використовують поворотні діафрагми, які виконують дві функції – розділення внутрішньої порожнини циліндра на відсіки з різними параметрами пари та регулювання пропуску пари в наступні відсіки турбіни. Використання поворотних діафрагм, які заміняють собою регулюючі клапани, спрощує конструювання циліндрів та дозволяє виконати одноциліндрові турбіни з одним або двома регульованими відборами пари.

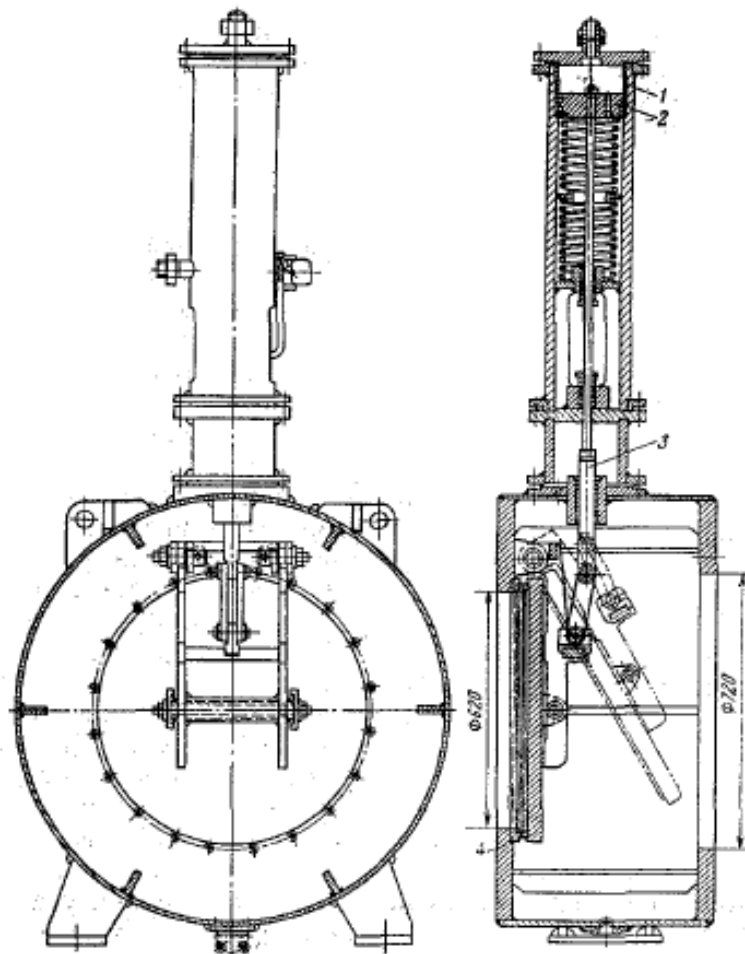


Рис. 2.6. Зворотній клапан паропроводів відбору [2]:
1 – втулка; 2 – поршень; 3 – шток; 4 – тарілка

2.4. Зміст звіту

Звіт повинен містити назву і мету роботи, а також наступні положення:

1. Накреслити стопорний або регулюючий клапан, пояснити його призначення.
2. Визначити зусилля на клапані при тиску $p_0 = 24$ МПа, $p_1 = 4$ МПа, $d_0 = 360$ мм, $d_1 = 0,4 d_0$.
3. Визначити максимальну висоту відкриття клапану при $d_0 = 360$ мм.

2.5. Контрольні питання

1. З яких міркувань регулюючі клапани виконують з розвантаженням?
2. Які використовуються засоби розвантаження клапанів турбіни?
3. Яка різниця у використанні стопорних та регулюючих клапанів?
4. Вказати основні схеми з'єднань парових коробок стопорних та регулюючих клапанів.

Лабораторна робота №3 **ВИВЧЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ВІДЦЕНТРОВИХ НАСОСІВ ТА СПОСОБІВ ЇХ РЕГУЛЮВАННЯ**

3.1. Мета роботи

Вивчити основні вузли і деталі відцентрового насоса, принцип його роботи та способів регулювання.

3.2. Методичні вказівки до проведення лабораторної роботи

Для виконання лабораторної роботи необхідно вивчити по робочим схемам, плакатам, кресленням, натурному обладнанню конструкцію відцентрового насоса та способи його регулювання..

У якості матеріальної бази для проведення лабораторної роботи використовується модель відцентрового насоса у лабораторії.

3.3. Порядок проведення роботи

Вивчення макету, робочих схем та креслень відцентрового насоса.

Основні дані

Відцентровим називається насос, у якому рух рідини та створення необхідного напору здійснюється за рахунок відцентрової сили, що виникає при впливі на рідину лопатей робочого колеса.

Принцип дії полягає в тому, що при обертанні валу відцентрового насоса рухається робоче колесо. У цей час насос усередині агрегату спрямовує рідину в центр крильчатки. Рух насоса пов'язаний з кінетичною енергією рідини, що надходить із насоса.

Опис лабораторного обладнання

1. Спіральний корпус (равлик), включаючи всмоктуючий і нагнітальний патрубок, в класичному виконанні (всмоктуючий патрубок - розташований горизонтально, нагнітальний - вертикально).
2. Робоче колесо.
3. Вузол ущільнення вала.
4. Вал.
5. Лабіринтове ущільнення масляної камери підшипників.
6. Підшипникова опора.

7. Несуча опора, що розвантажує вал.
8. Віконце-рівнемір для контролю рівня масла в камері підшипникового вузла

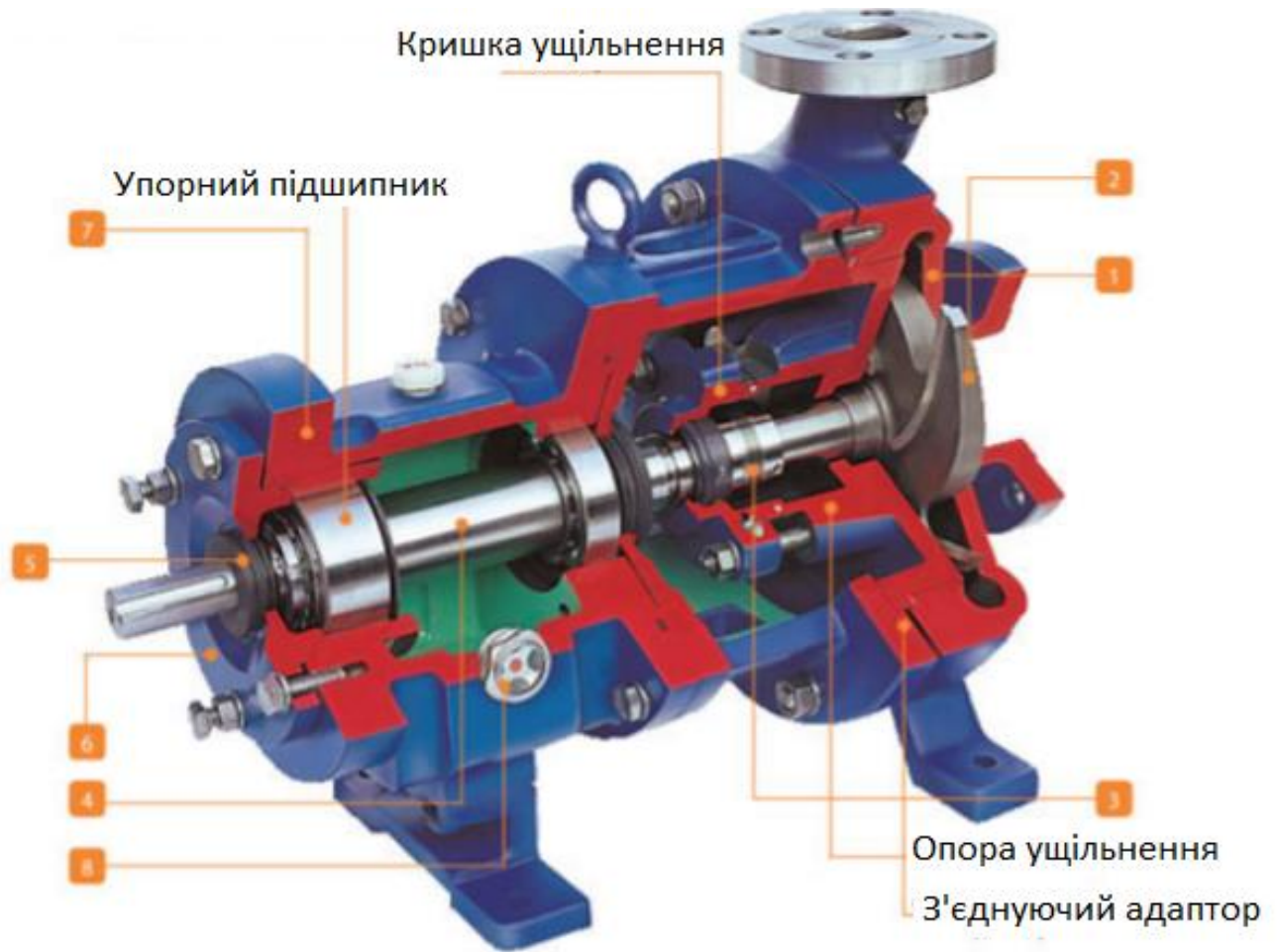


Рис. 1. Одноступеневий відцентровий насос

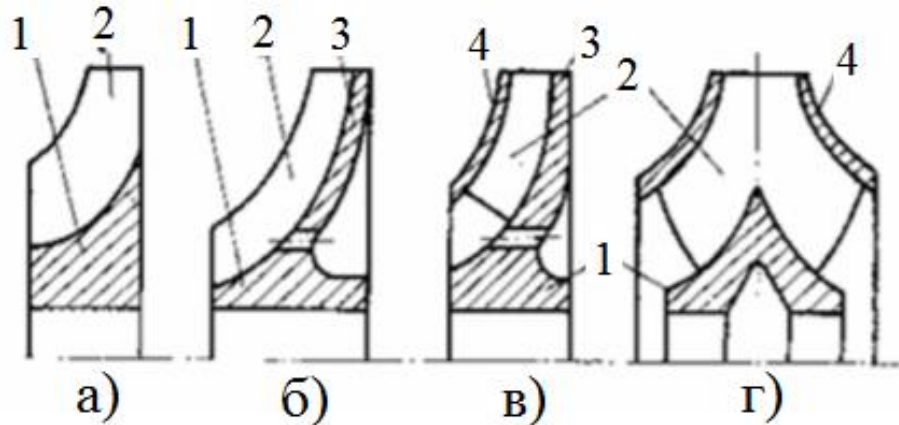


Рис.3.2. Облопачування відцентрового насоса:

а - відкритого типу; б - напівзакритого типу; в - закритого типу; г - робоче колесо закритого типу з двостороннім входом:

1 - втулка; 2 - лопатка; 3 - несучий диск; 4 - диск, що покриває



Рис. 3.3. Схема відцентрового насоса

Відомості щодо регулювання відцентрових насосів

Способи регулювання продуктивності роботи насосів зміною характеристик насоса є найбільш економічними. Найкращим з них є регулювання зміни частоти обертання робочого колеса (ротора) насоса.

Регулювання частоти обертання легко здійснюється при електродвигунах постійного струму. При змінному струмі для асинхронних електродвигунів доцільно застосовувати електромагнітні або гідравлічні муфти. Для живильних насосів за допомогою приводу потужністю більш 12 МВт застосовують паротурбінний привід, який забезпечує планове регулювання частоти обертання у широкому діапазоні і є більш економічним, ніж електропривід.

На рис. 3.4 приведена характеристика регулювання живильного насосу з конденсаційним турбоприводом.

Регулювання зміною частоти обертання приводить до нового положення характеристики $H(n_2)$ і $H(n_3)$ у порівнянні з базовою $H(n_1)$. Нові робочі точки A_2 і A_3 характеризуються новими значеннями подачі насоса Q_2 і Q_3 .

Частота обертання ротора у точці A_2 може бути визначена із рівняння подоби:

$$n_2 = n_1 \frac{Q_2}{Q_1} = n_1 (H_2 / H_1)^{1/2} \quad (3.1)$$

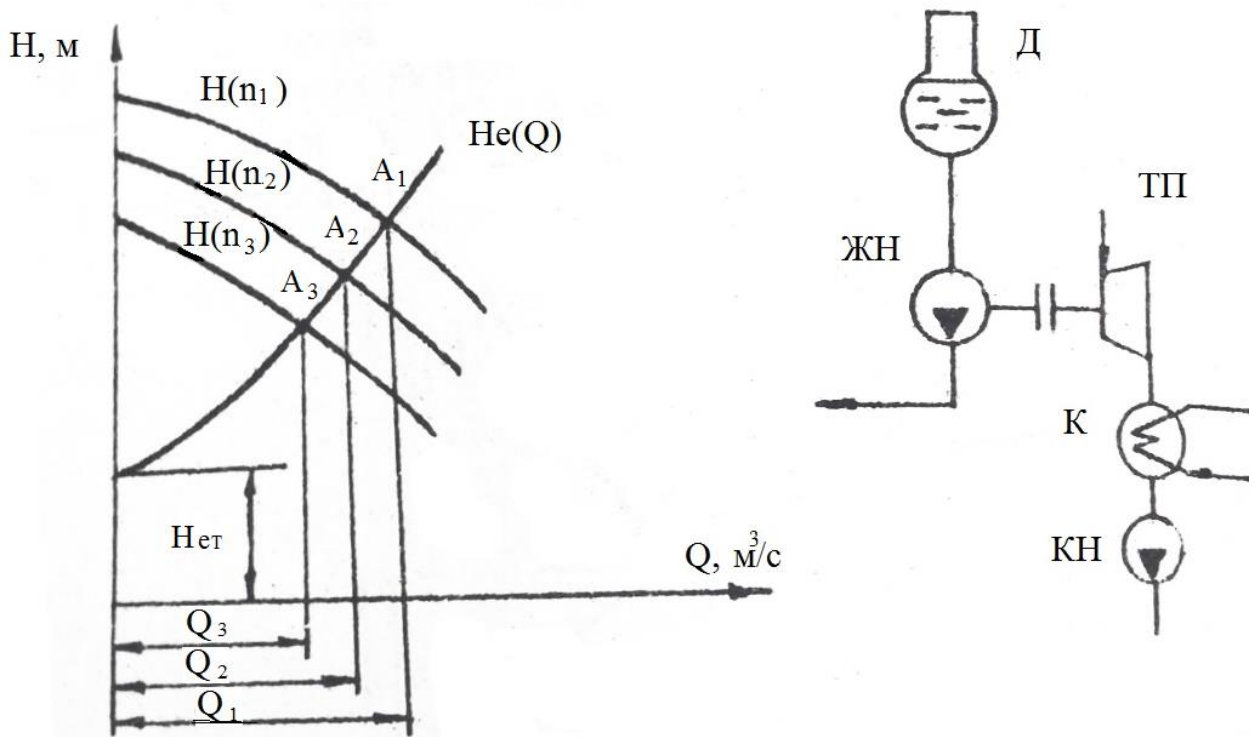


Рис. 3.4. Характеристика регулювання живильних насосів ($n = \text{var}$) - а) і схема насосної установки - б) [3]

Потужність насоса у точці A_2 :

$$N_2 = N_1 (n_2 / n_1)^3 \quad (3.2)$$

Для приводу живильних насосів невеликих потужностей використовують асинхронний двигун. Електропривід простий в експлуатації та має високий ККД. Двигуни номінальної потужності 200-8000 кВт розраховані на напругу 6 кВ. Для всіх асинхронних двигунів застосовується прямий запуск від повної напруги мережі. Оскільки енергоблоки на ТЕС працюють у режимах частих пусків і зупинок через нерівномірність графіка навантаження енергосистеми, виникає необхідність у частих пусках асинхронних двигунів, на що останні не розраховані, особливо потужністю понад 1000 кВт, у яких ресурс пускових режимів дуже обмежений. Часті пуски асинхронних двигунів призводять до прискореного зношування обмоток статора та ротора, що збільшує витрати на їх ремонт та знижує надійність роботи ТЕС.

Слід зазначити також, що з використанням електроприводу регулювання витрати поживної води може вестися або дроселюванням, або з допомогою гідромуфти. Регулювання дроселюванням є неекономічним і приводить до швидкого зносу насоса та арматури, тому на великих блоках живильна установка забезпечується гідромуфтою.

Регулювання за допомогою гідromуфти є більш економічним, однак при низьких навантаженнях енергоблоку втрати великі: ККД гідromуфти становить 95-98% при повному навантаженні (що відповідно збільшує потужність власних потреб на номінальному режимі) і лише 75 - 80% при навантаженні блоку, що становить 50% від номінального.

При використанні турбопривода регулювання роботи живильного насоса проводиться за рахунок зміни числа обертів ротора. Цей вид регулювання є більш економічним.

У залежності від співвідношення параметрів (Q , H , n) змінюється форма проточної частини робочого колеса насоса. Для її характеристики у відповідності із заданими параметрами застосовується критерій – коефіцієнт швидкодії насоса:

$$n_s = \frac{3,65n \cdot \sqrt{Q/I}}{(H/i)^{3/4}}, \quad (3.3)$$

де I – кількість потоків рідини, що з'єднуються у робочих колесах паралельно;

i – кількість ступенів робочих колес, що з'єднуються послідовно.

Фізично під коефіцієнтом швидкодії n_s мається на увазі частота обертання ротора еталонного насоса, хв^{-1} , що працює на воді ($\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$) з корисною потужністю 736 Вт при напорі 1 м і максимальному значенні ККД. Коефіцієнт швидкодії визначає тип проточної частини насоса при оптимальному режимі і є чисто розрахунковим параметром. Для живильних насосів електростанцій $n_s = 35-70 \text{ хв}^{-1}$.

Для оцінки надійності роботи насосних установок можна використовувати коефіцієнт готовності насосної установки до роботи у заданому режимі. При цьому насосну установку необхідно розглядати як складну систему, що складається із взаємопов'язаних елементів. Зокрема, для насосних установок, які оснащені електроприводом і гідromуфтою, це буде: електродвигун, гідromуфта (редуктор), насос і трубопроводи мережі.

На основі обробки статистичних даних отримані значення коефіцієнтів готовності кожного елемента установки:

- K_e – електроприводу;
- K_r – гідromуфти;
- K_n – насоса;
- $K_{тр}$ – трубопроводів мережі,

можна визначити коефіцієнт готовності насосної установки:

$$K_{\text{нв}} = K_e \cdot K_r \cdot K_n \cdot K_{\text{тр}}, \quad (3.4)$$

$$K_{\text{нвт}} = K_{\text{тп}} \cdot K_n \cdot K_{\text{тр}}, \quad (3.5)$$

де $K_{\text{тп}}$ – коефіцієнт готовності турбінного приводу.

3.4. Зміст звіту

Звіт повинен містити: назву і мету роботи; схему одноступеневого відцентрового насоса з призначенням кожного вузла; характеристику способів регулювання продуктивності роботи насосів; відповіді на контрольні питання; висновки.

3.5. Контрольні питання

1. Що таке відцентровий насос?
2. Який принцип дії відцентрового насоса?
3. Переваги і недоліки відцентрових насосів.
4. Вплив форми лопаток на роботу насоса.
5. Які типи насосів Ви знаєте?
6. Який спосіб регулювання роботи насосів є найкращим?
7. Поясніть характеристику регулювання живильного насоса.
8. Що таке коефіцієнт швидкодії насоса?
9. Що таке коефіцієнт готовності насосної установки?
10. Який фізичний сенс коефіцієнту швидкодії насоса?

Лабораторна робота №4

АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ТА ПРИНЦИП ДІЇ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ПАРОВОГО КОТЛА

4.1. Мета роботи

Проаналізувати загальну конструкцію парогенератора, а також елементи його системи автоматичного регулювання, паророзподілу і захисту.

4.2. Методичні вказівки до проведення лабораторної роботи

Для виконання лабораторної роботи необхідно вивчити по робочим схемам, плакатам, кресленням, натурним стендам конструкцію парогенератора, а також елементи його системи автоматичного регулювання, паророзподілу і захисту.

У якості матеріальної бази для проведення лабораторної роботи використовується модель парогенератора.

4.3. Порядок проведення роботи

Опис котла

Котел або парогенератор на ТЕС – це пристрій, призначений для одержання пари із тиском вище атмосферного за рахунок тепла, що виділяється при спалюванні палива. Основними елементами котла є топка й теплообмінні поверхні. Спеціальний пристрій котла, в якому відбувається спалювання палива, називається топкою або топковою камерою. Газовий тракт котла, тобто та частина котла, якою протікають продукти згорання, розділений на окремі газоходи. Взаємне розташування газоходів, що визначає напрямок руху продуктів згорання й розташування поверхонь нагріву, називається компоновкою. Найпоширенішими у даний час є П-подібна, Т-подібна та баштова компоновки. Можна виділити й конвективні газоходи, якими протікають уже відносно холодні гази. У котел подається вода, яка називається живильною. Живильна вода у котлі нагрівається, а потім перетворюється на насичену або перегріту пару необхідних параметрів. Під параметрами пари маються на увазі її тиск і температура. Основним споживачем водяної пари, що виробляється у котельних установках, є паросилові установки, а також вона може використовуватися для технологічних потреб [4].

Котельний агрегат Пп-1650-255 (П-57) призначений для роботи на кам'яному вугіллі в блоці з турбіною потужністю 500 МВт. Котел призначений для роботи з врівноваженою тягою та сухим шлаковидаленням. Технічні характеристики котла наведені нижче.

Технічні характеристики П-57 [5]:

Паропродуктивність, т/г	1650
Витрата пари через промперегрівач, т/г	1364
Тиск пари на виході, кгс/см ² :	
- пароперегрівача високого тиску	255
- промперегрівача	40
Температура, С°:	
- пари високого тиску	545
- пари промперегріву	545
- живильної води	277
- газів, що виходять	145
ККД (брутто), %	91,75
Габаритні розміри, м:	
- ширина по вісям колон	36
- глибина по вісям колон	24
- висота до верхньої хребтової балки	59,3
Питома металоємність, т/т.г	5,5

Система автоматичного регулювання котла забезпечує можливість експлуатації у базовому та регульовальному режимах із підтримкою

номінальних параметрів свіжої та перегрітої пари. Часткова автоматизація пускових операцій дозволяє стабілізувати основні параметри котла при розтопці.

Автоматичний захист котла попереджає виникнення і розвиток аварій при порушенні нормальних умов роботи його вузлів і систем та здійснює в залежності від технологічної ситуації останов котла або зниження навантаження, або окремі захисні операції.

Система дистанційного керування забезпечує зміну положення регулюючих і запорних органів безпосередньо з блочного щита керування.

На котлах встановлюють запобіжні клапани та клапани для підведення поживної води, палива, а також для відведення пари до споживачів. Для спостережень за нормальною та економічною роботою котлів передбачено контрольно-вимірвальні прилади (КВП): манометри, термометри та інші, а також інша додаткова арматура: клапани продування, випуску повітря, відбору проби та введення необхідних присадок, що забезпечують необхідний водний режим, прилади для визначення витрат робочих середовищ (води, пари, палива та повітря) та інші.

Головний стопорний клапан (рис. 4.1) є запірним органом, який забезпечує відключення котла від паропроводу. Клапан виконаний безповоротно-запірним. Він пропускає пару лише в одному напрямку – з пароводяного барабана до парової магістралі. При припиненні відбору пари з котла або у разі зниження тиску пари в ньому нижче тиску в паровій магістралі тарілка клапана 6, що вільно сидить на шпинделі 3, опускається і клапан закривається.

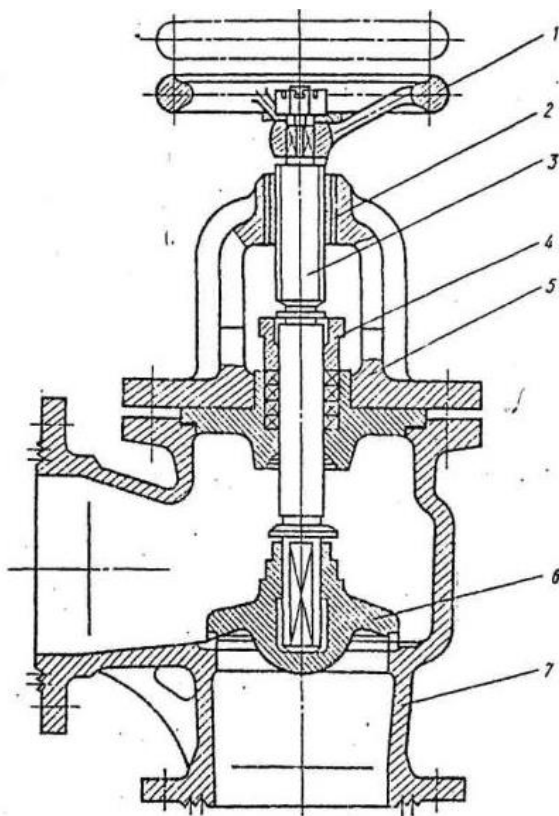


Рис. 4.1. Головний стопорний клапан [6]:

1- маховік; 2 – втулка нарізна; 3 – шпindelь; 4 – кришка сальника; 5 – кришка; 6 – тарілка; 7 - корпус

Запобіжний клапан (рис. 4.2) забезпечує автоматичне травлення надлишків пари з котла при підвищенні тиску понад встановлений. Він складається із двох однакових клапанів, скомпонованих у загальному корпусі. Тарілка кожного клапана 5 притискається до сидла 8 пружиною 2, натяг якої регулюється поворотом натискної втулки 3. Для регулювання посадки клапана після підриву служить регулювальне кільце 6, яке стопориться в потрібному положенні гвинтом 7. Важелі 4 дозволяють виробляти.

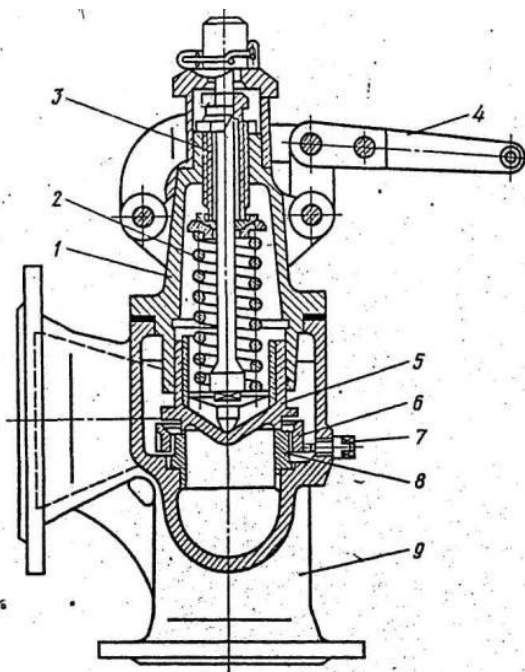


Рис .4.2. Запобіжний клапан [6]:

1 – кришка; 2 – пружина; 3 – втулка нажимна; 4 – ричаг; 5 – тарілка клапана; 6 – кільце регулювальне; 7 – винт; 8 – седло; 9 - корпус

Живильний клапан (рис. 4.3) призначений для сполучення котла з живильною магістраллю та пропуску поживної води тільки в одному напрямку від насоса в котел. Поживні клапани розміщуються на передньому днищі пароводяного барабана. Він складається із запірною (роз'єднувальною) та безповоротно-запірною клапанів, укладених у загальний корпус. 1.

Водовказівник (водомірна колонка) зображений на рис.4.4. Він служить для візуального спостереження за рівнем води в пароводяному колекторі та регулювання системи автоматики за рівнем.

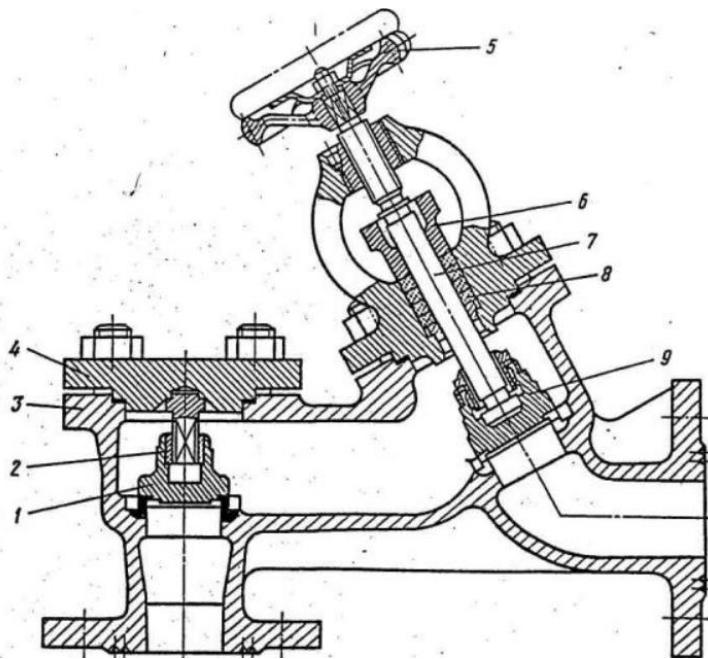


Рис. 4.3. Живильний клапан [6]:

1 – тарілка незворотного клапана; 2 – втулка; 3 – корпус; 4 – кришка; 5 – маховік; 6 – кришка сальника; 7 – шпindelь; 8 – набивка асбестова; 9 – тарілка запірною клапана

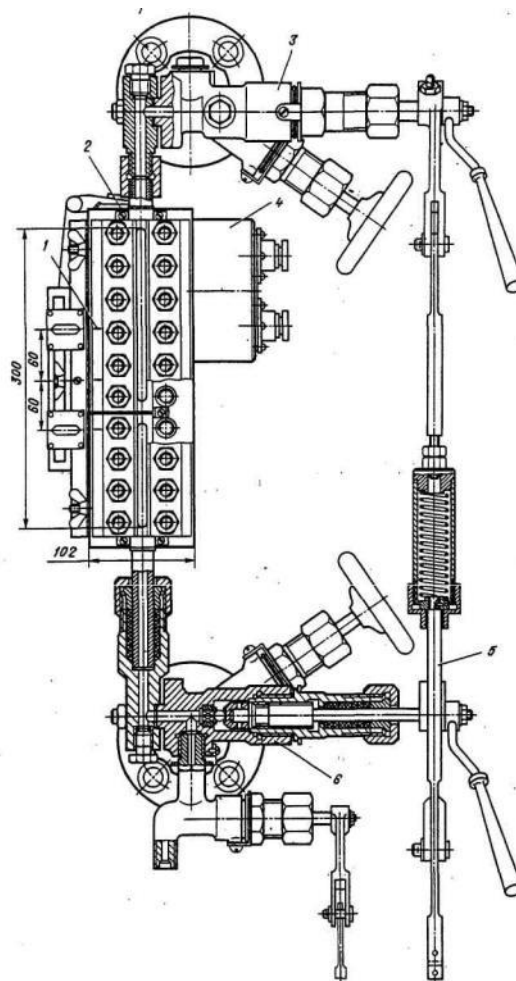


Рис. 4.4. Водопоказник (водомірна колонка) [6]:

1 – планка; 2 – корпус; 3 і 6 – головки клапанів відповідно верхнього і нижнього продувів; 4 – освітлення; 5 – тяга привода клапанів

Кожен котел повинен бути обладнаний двома незалежними водопоказниками однакової конструкції, що забезпечують необхідну надійність експлуатації. Водовказівник повідомлений з паровим та водяним просторами колектора спеціальними клапанами, запірними та продуваннями, керованими дистанційно за допомогою спеціальних тяг.

Важливим елементом колонки є рамка із встановленими в ній прозорими слюдяними пластинами або спеціальним склом, що притискається до рамки завзятими планками за допомогою болтів. Покращує видимість рівня води на рамці колонки освітлювальна головка із електричною лампою.

4.4. Зміст звіту

Звіт повинен містити: назву і мету роботи; короткий опис системи автоматичного регулювання та захисту котла; схеми головного стопорного та запобіжного клапанів з характеристиками їх роботи; відповіді на контрольні питання; висновки.

4.5. Контрольні питання

1. Поясніть маркування котельного агрегату Пп-1650-255 (П-57).
2. Опишіть конструкцію головного стопорного, запобіжного та живильного клапанів.
3. Призначення та конструкція водопоказника.
4. Обґрунтуйте призначення живильного клапану.

Лабораторна робота №5

СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ПОТУЖНОСТІ ТЕС

5.1. Мета роботи

Розглянути загальну технологічну схему теплової електричної станції (ТЕС), а також системи регулювання потужності.

5.2. Методичні вказівки до проведення лабораторної роботи

Для виконання лабораторної роботи необхідно вивчити по робочим схемам, плакатам, кресленням, натурному стенду принцип дії ТЕС та системи регулювання її потужності.

У якості матеріальної бази для проведення лабораторної роботи використовується стенд, який показує повний технологічний цикл роботи ТЕС (рис. 5.1).

5.3. Порядок проведення роботи

Системи регулювання потужності теплової електричної станції

Сучасні теплові електричні станції (ТЕС), які працюють на природному паливі, призначені для вироблення електроенергії. Для цього використовується проміжний теплоносій - перегріта водяна пара.

Автоматичні пристрої теплових електростанцій забезпечують відповідність між кількістю виробленої енергії і витратою пари, а також підтримують з високою точністю задані параметри пари: тиск і температуру. Вироблення електроенергії на ТЕС забезпечується в три етапи, які показані на рис. 5.1-5.2.

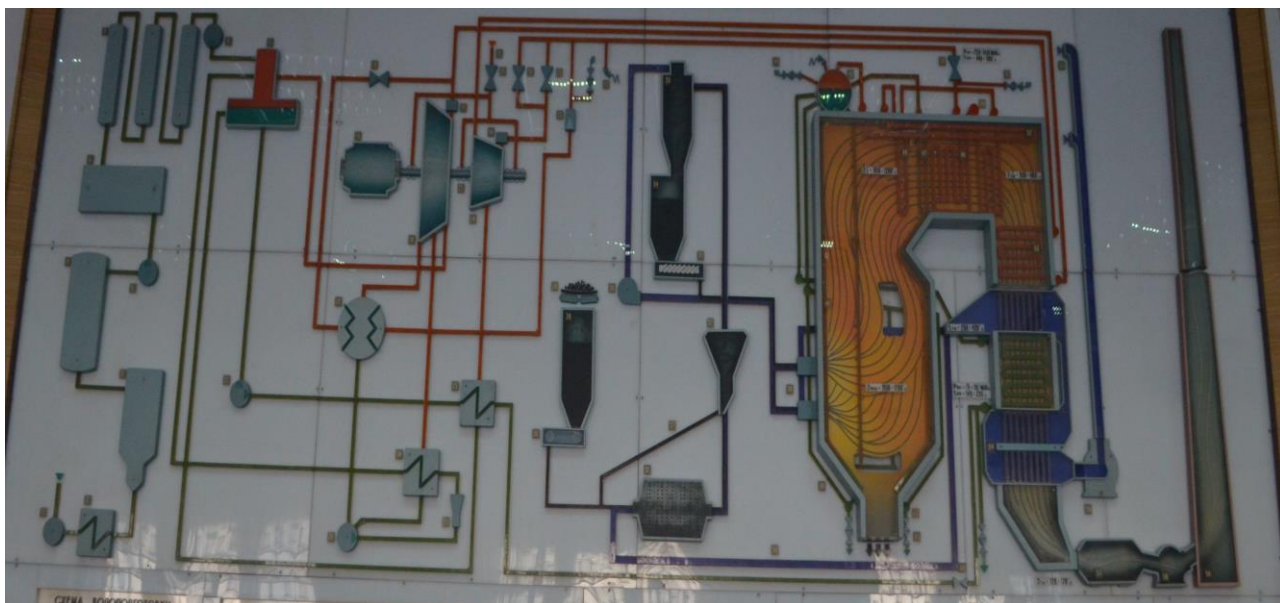


Рис. 5.1. Лабораторний стенд, який показує повний технологічний цикл роботи ТЕС

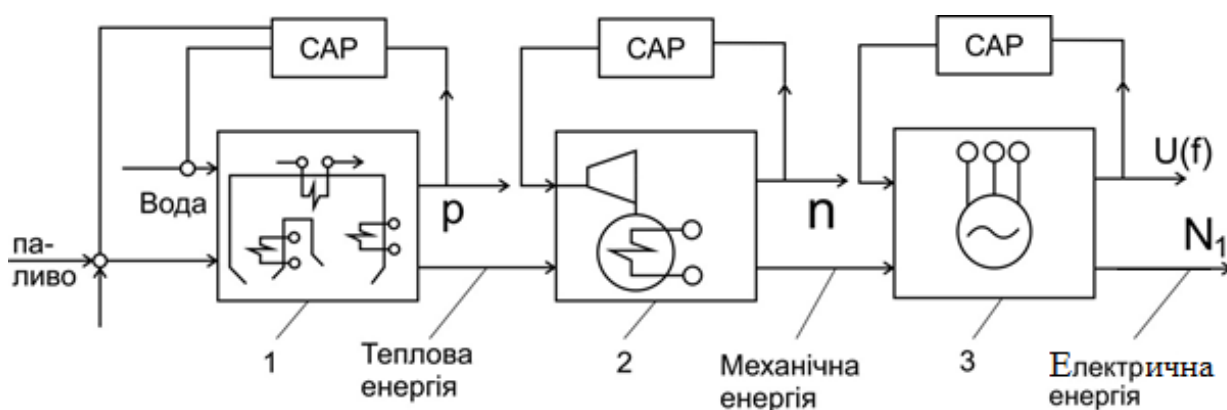


Рис.5.2. Системи регулювання потужності теплової електричної станції [7]:

1-парогенератор; 2-турбіна; 3-електричні генератори; p - тиск пара на виході з парогенератора; n -число обертів ротора турбіни; U -напруга; f -частота змінного току електричної сітки; N_1 -електрична потужність генератора.

Парогенератор 1, за рахунок тепла, яке виділяється при згорянні палива виробляє перегріту водяну пару. Парова турбіна 2 перетворює теплову енергію пари в механічну енергію обертання ротора, а генератор 3 завершує технологічний цикл ТЕС перетворюючи механічну енергію в електричну.

Крім основних агрегатів парогенераторів, турбіни і електрогенераторів на ТЕС є значна кількість допоміжних установок, які оснащені автоматичними пристроями.

Принципова теплова схема ТЕС та автоматичне регулювання теплового процесу

Розглянемо принципову теплову схему теплоелектростанції (рис. 5.3) і з'ясуємо на якому місці стоїть система автоматичного регулювання.

Водяна пара виробляється парогенератором 1 для цього в парогенератор подають воду від живильного насоса 14 і в його топку подається паливо B_T , кам'яно вугільний пил, горючий газ або інші суміші. Вентилятором 4 нагнітається повітря Q_B і димососом 5 відсмоктуються продукти згоряння, димові гази Q_G . Продуктивність паливоподаючих пристроїв, вентиляторів і димососів регулюється за допомогою автоматичних пристроїв в залежності від необхідної паропроодуктивності і тиску перегрітої пари. Насичена водяна пара вироблена випарною частиною парогенератора перегрівається до необхідної температури в пароперегрівачі 2. При цьому температура перегріву $t_{пп}$ підтримується близько заданого значення за допомогою автоматичного регулятора. Далі перегрітий пар через кран 6 надходить в проточну частину турбіни 7, де відбувається перетворення теплової енергії - перегрітої водяної пари в

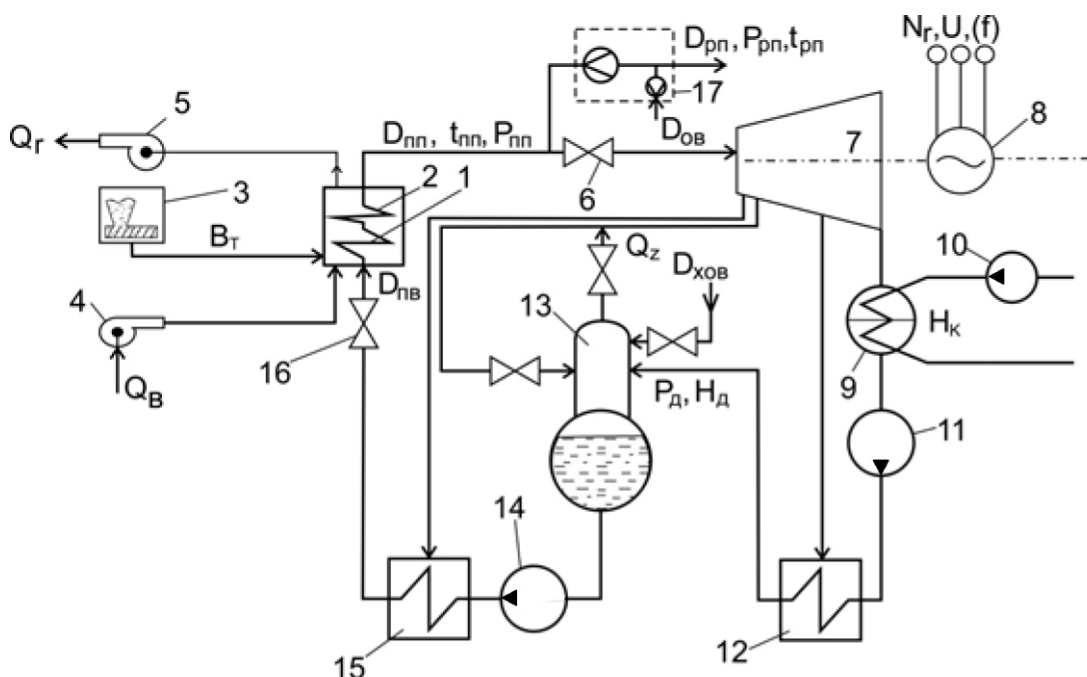


Рис.5.3. Принципова теплова схема ТЕС [7]:

- 1, 2 - випарна і пароперегрівальна частина парогенератора; 3 - система паливоподачі; 4 - вентилятор; 5 - димосос; 6 - паровий регулюючий клапан; 7 - турбіна; 8 - електричний генератор; 9 - конденсатор; 10 - циркуляційний насос; 11 - конденсатний насос; 12 - система підігріву низького тиску; 13 - деаератор; 14-живильний насос; 15-система підігріву високого тиску; 16 - регулюючий живильний клапан; 17-редуційно охолоджувальна установка.

механічну енергію обертання ротора турбіни та генератора 8. Для забезпечення сталої частоти напруги, що генерується обертання ротора має здійснюватися з постійною швидкістю незалежно від електричного навантаження генератора. Підтримання постійного числа обертів здійснюється системою автоматичного регулювання турбіни, що впливає на переміщення регулюючих клапанів.

Водяна пара виробляється парогенератором 1 для цього в парогенератор подають воду від живильного насоса 14 і в його топку подається паливо B_t , кам'яно вугільний пил, горючий газ або інші суміші. Вентилятором 4 нагнітається повітря Q_v і димососом 5 відсмоктуються продукти згорання, димові гази Q_r . Продуктивність паливоподаючих пристроїв, вентиляторів і димососів регулюється за допомогою автоматичних пристроїв в залежності від необхідної паропроодуктивності і тиску перегрітої пари. Насичена водяна пара вироблена випарною частиною парогенератора перегрівається до необхідної температури в пароперегрівачі 2. При цьому температура перегріву $t_{пп}$ підтримується близько заданого значення за допомогою автоматичного регулятора. Далі перегрітий пар через кран 6 надходить в проточну частину турбіни 7, де відбувається перетворення теплової енергії - перегрітої водяної пари в механічну енергію обертання ротора турбіни та генератора 8. Для забезпечення сталої частоти напруги, що генерується обертання ротора має здійснюватися з постійною швидкістю незалежно від електричного навантаження генератора. Підтримання постійного числа обертів здійснюється системою автоматичного регулювання турбіни, що впливає на переміщення регулюючих клапанів.

Відпрацьований пара з турбіни надходить в конденсатор 9, де охолоджується і конденсується на поверхні трубної системи, в якій циркулює охолоджуюча вода. Рівень конденсату в конденсаторі H_k повинен підтримуватися постійним незалежно від кількості конденсованого в ньому пара. Це завдання виконує автоматичний регулятор рівня конденсату. Далі конденсат турбіни прокачується конденсатним насосом 11, через систему підігрівачів низького тиску 12 і надходить у змішуючий підігрівач, деаератор 13. В деаераторі конденсат змішується з хімічно очищеною водою і подається для заповнення неминучих втрат конденсату і доводиться до температури насичення (кипіння) при якій відбувається видалення в атмосферу розчиненого у воді кисню.

Нормальний режим роботи деаератора і встановленого за ньому живильного насоса 14 можливий лише при сталості тиску пари деаераторною головки і рівня води в акумуляторному баці. Це забезпечується за допомогою автоматичних регуляторів рівня води в деаераторі. Далі суміш - конденсат, живильна вода перекачується живильним насосом 14 через систему підігрівачів високого тиску 15 і надходить у економайзерну та випарну частину парогенератора 1. При цьому її витрата регулюється за допомогою автоматичного регулювання підживлення. На цьому технологічний цикл перетворення теплової енергії в електричну замикається і описаний вище процес знову повторюється.

Теплові електростанції виробляють крім електричної енергії і теплову, а тому обладнуються редуційно - охолоджувальним пристроєм (РОП) 17, який служить для резервування теплофікаційних промислових відборів пари турбіни. Підтримування постійного тиску і температури редуційної пари забезпечується за допомогою автоматичних регуляторів тиску і температури.

Система управління групою теплоенергетичних установок

З метою централізації управління і скорочення обслуговуючого персоналу теплоенергетичні установки великих сучасних станцій об'єднуються в групи керовані центральним щитом. Групу складають кілька паро- і турбогенераторів або блок парогенератор - турбогенератор з їх допоміжними установками. В допомогу оператору видаються автоматичні пристрої контролю та регулювання , які дозволяють розвантажити його від виконання численних одноманітних дій . У число цих автоматичних пристроїв входять системи дистанційного керування механізмами, запірними і регулюючими органами, автоматичного регулювання і захисту, теплового контролю і сигналізації.

Оператор і підпорядковані йому системи складають єдину автоматичну систему управління об'єктами. Система автоматичного регулювання повинна підтримувати задану продуктивність (потужність) установок і стабілізувати технологічні параметри на заданому рівні.

5.4. Зміст звіту

Звіт повинен містити: назву і мету роботи; опис та схему системи регулювання потужності теплової електричної станції; принципову теплову схему ТЕС; відповіді на контрольні питання; висновки.

5.5. Контрольні питання

1. Призначення автоматичних пристроїв теплових електростанцій.
2. Охарактеризуйте системи регулювання потужності теплової електричної станції:
3. Поясніть систему управління групою теплоенергетичних установок.
4. Принцип роботи блочного щита керування на електростанції.

Лабораторна робота №6

СИСТЕМА КОНТРОЛЬНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ І АВТОМАТИКИ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРІВ

6.1. Мета роботи

Вивчити призначення, конструкцію та роботу системи автоматичного регулювання, контрольно-вимірювальних приладів сучасних теплогенераторів; ознайомлення з технічними характеристиками теплогенераторів конденсаційного типу та перевагами конструкції

технічного обслуговування автоматики з контрольно-вимірювальними приладами сучасних теплогенераторів.

6.2. Зміст роботи

Для опалення та гарячого водопостачання різноманітних споживачів сьогодні розробляються та впроваджують нові технології виробництва сучасних контактено-поверхневих теплогенераторів конденсаційного типу нового покоління тепловою потужністю від 100 до 3000 кВт. Ці ефективні енергозберігаючі системи автономного теплозабезпечення працюють з використанням природного газу. Вони мають європейський рівень, високі технологічні, експлуатаційні, ремонтні, екологічні характеристики, високий коефіцієнт корисної дії (ККД), який не нижче 98 %, значну економію газу, невисокі ціни в порівнянні з іншими котлами вітчизняного виробництва, та значно нижчі – з котлами західних аналогів. Вони прості в експлуатації, працюють при атмосферному тиску, не потребують хімпідготовки, відрізняються простотою та надійністю конструкції, в них використовується інший принцип нагріву води – прямий контакт нагріваємої води з продуктами згорання палива, повністю автоматизовані, мають високотехнологічний контроль. Ці високі техніко-економічні показники підтверджуються довгостроковим досвідом експлуатації опалювальних котелень. Їх можливо монтувати під дахами будівель, або як мобільні котельні біля споруд та приміщень, що дуже важливо у зв'язку з тенденціями подальшої децентралізації теплозабезпечення, його реформуванням, що дає можливість часткової, або повної відмови від зовнішніх теплових мереж та значно економить кошти при будівництві та реконструкції опалювальних котелень.

6.3. Сфера застосування та переваги

Основною й безумовною перевагою теплогенераторів ТГа є високий ККД = 104 % (конденсаційний режим).

У контактено-поверхневих теплогенераторах відбувається природна деаерація води, що дозволяє видалити надлишок кисню та вуглекислого газу.

Відсутність потреби у хімічній підготовці води, можливість роботи з водою різної жорсткості.

Вміст оксиду вуглецю й оксиду азоту на виході з теплогенератора в перерахунку на сухі продукти згорання про коефіцієнті надлишку повітря, рівному одиниці ($\alpha = 1$) не перевищує 80 мг/м². У котлах конденсаційного типу за рахунок технологічних особливостей, емісія шкідливих речовин істотно нижча від найсуворіших норм.

6.4. Принцип дії конденсаційної техніки

Прагнення оптимізувати витрати палива та скоротити шкідливі викиди, які виникають під час роботи, спонукало виробників до розробки принципово нового покоління котлів. Зростання цін на енергоносії та

підвищення вимог до економічності опалювального устаткування призвело до появи конденсаційного котла. До того ж у країнах ЄС особливу увагу надають проблемам екології. Уряди багатьох країн стимулюють перехід на нове енергозберігаюче обладнання дотаціями з бюджету.

Щоб розібратися, як здійснюється економія палива при використанні конденсаційної техніки, розглянемо принцип роботи конденсаційних котлів. У техніці цього типу крім традиційної енергії використовується тепло водяної пари, яке виділяється при конденсації водяної пари з димових газів. Через цю властивість сьогодні часто можна знайти дані про те, що коефіцієнт корисної дії таких котлів становить понад 100 %. Такий ККД виходить у результаті порівняння роботи звичайних котлів з конденсаційними. Коефіцієнт корисної дії котла визначається як відношення відпущеної споживачеві кількості теплової енергії до кількості теплової енергії, отриманої при спалюванні палива в котлі.

Кожний вид палива має свою теплотворну здатність або питому теплоту згоряння, значення, що залежить від вмісту у паливі горючих компонентів (для газу це в основному вуглець і водень). У теплотехніці розрізняють вищу й нижчу теплоту згоряння палива. Між ними такі принципові відмінності:

- вища теплота згоряння – це вся кількість теплоти, що може бути використана при спалюванні палива, включаючи й ту його частку, що міститься у водяній парі газів, що відходять;
- нижча теплота згоряння – кількість теплоти без урахування конденсації водяної пари у димових газах.

6.4. Технічні характеристики теплогенераторів конденсаційного типу [7]:

Найменування показника	ТГа- 0,1	Га- 0,2	Га- 0,3	Га- 0,5	Га- 0,9	Га- 2,0	Га- 2,8
Номинальна теплопродуктивність, МВт, ± 7	0,1	,2	,3	,5	,9	,0	,8
Коефіцієнт корисної дії (ККД), відносно Q_P^H , не менше				98			
Діапазон регулювання теплопродуктивності, не менше*				40 – 100			
Номинальна витрата води при розрахунковому перепаді $\Delta t = 35 \text{ }^\circ\text{C}$, м ³ /час, ± 10	2,5	4,9	7,4	12,3	22,1	49,1	68,8
Максимальна температура води на виході з				85			

теплогенератора, °С								
Температура води на вході, °С, не більше						50		
Номінальний тиск води на вході у зворотний водорозподільник, МПа, не більше			0,2					0,3
Температура газів, що входять, °С						60		
Тиск у теплогенераторі						атмосферний		
Водяний об'єм, м ³ , не більше	0,05	0,11	0,27	0,66	0,75	1,55	2,24	
Температура охолоджувальних поверхонь, °С, не більше						45		
Діаметр димаря, мм	150	175	200	300	400	500	600	
Опір у топці, Па, не більше	100	150	250	250	700	700	700	

Габаритні розміри, мм, не більше

Довжина	1100	1400	1700	2000	2650	3606	4225
Ширина	600	750	900	1000	1400	1746	1750
Висота	750	900	1050	1200	1450	1690	1896

Геометрія топки, мм

Довжина	800	1000	1330	1651	2031	2850	3400
Ширина	446	446	594	784	784	1190	1194
Висота	333	333	546	569	582	600	695
Маса, кг, не більше	180	270	600	970	1100	1900	3000

* за винятком теплогенераторів з одноступеневими пальниками

Теплогенератор контактної-поверхневого типу призначений для роботи на природному газі ГОСТ 5542 – 87 і легкому рідкому паливі ГСТУ 320.00149943.010-98.

6.5. Система автоматичного регулювання та контрольні-вимірювальні прилади

На рис. 6.1 показано блок автоматичного регулювання – котловий контролер (КК).



Рис. 6.1. Блок автоматичного управління – котловий контролер (КК)
[7]

Теплогенератори ТГа комплектуються системою контрольно-вимірювальних приладів і автоматики (КВП і А) призначеної для надійної та безпечної роботи устаткування й забезпечує роботу теплогенератора в системах опалення, гарячого водопостачання (ГВП), а також у комбінованих системах (опалення й ГВП).

До системи автоматичного регулювання входить комплект датчиків, виконавчих пристроїв і блок автоматичного керування (БАК).

Система автоматичного регулювання виконує такі основні функції:

- забезпечення безаварійної роботи обладнання;
- контроль і візуалізація параметрів технологічного процесу з можливістю їхньої дистанційної передачі за протоколом RS-485 і передачі повідомлення про аварію по GPRS;

- керування технологічним процесом.

До функцій забезпечення безаварійної роботи устаткування належать:

- попередня перевірка, динамічний контроль і забезпечення необхідного рівня води в апараті, перевищення якого може призвести до аварійної ситуації;

- аварійна зупинка при виході з ладу сітьового або рециркуляційного насосу;

- аварійна зупинка при перевищенні заданої температури газів, які відходять, що може призвести до виходу з ладу ТГа й порушення герметичності димоходу;

- аварійне вимкнення пальника у разі: зникнення факела, неможливості запалювання, порушення герметичності газового тракту, падіння тиску нижче від допустимого або відхилення тиску газу нижче або вище від припустимого, несправності вузлів пальника;

- автоматичне вимкнення насосів через брак води в системі, що може призвести до виходу їх з ладу;

- контроль тиску в трубопроводі зворотної води, зниження якого нижче від заданого призведе до порушення роботи теплогенератора;

- подача звукових сигналів при аварійних ситуаціях;

- можливість встановлення параметрів аварійних ситуацій.

Система автоматичного регулювання забезпечує літерно-цифрову візуалізацію таких параметрів системи:

- увімкнення пальника;
- режим роботи пальника;
- момент подачі імпульсу керування потужністю пальника;
- температуру завдання (необхідну температуру опалення та ГВП);
- температуру прямої води опалення та ГВП;
- температуру зворотної води опалення;
- температуру вихідних газів;
- температуру зовнішнього повітря;
- рівень води в ТГа;
- стан клапана подачі інгібітору;
- стан клапанів підживлення та дренажу.

Вимірювальні прилади призначені для візуального контролю і дублювання показників датчиків.

До функцій автоматичного керування технологічним процесом належить керування:

- потужністю ТГа для досягнення заданої температури прямої опалювальної води шляхом зміни значень модуляції пальника;
- потужністю ТГа для досягнення заданої температури прямої води ГВП шляхом зміни значень модуляції пальника;
- автоматична зміна заданої температури, залежно від температури зовнішнього повітря по заданій режимній карті;
- автоматичне додавання інгібітору в систему опалення;
- дистанційний доступ (диспетчеризація);
- можливість під'єднання двох або більше систем керування у каскад.

Система автоматичного регулювання передбачає також можливість ручного управління теплогенератором.

На рис. 6.2 показана принципова тепломеханічна схема підключення теплогенератора конденсаційного типу.

На рис.6.2 призначення патрубків показані у такій послідовності:

- 1 – зворотне опалення;
- 2 – зворотна рециркуляція;
- 3 – пряма рециркуляції;
- 4 – пряме опалення;
- 5 – підживлення;
- 6 – рівнемір;
- 7 – перелив;
- 8 – злив апарата;
- 9 – злив рубашки.

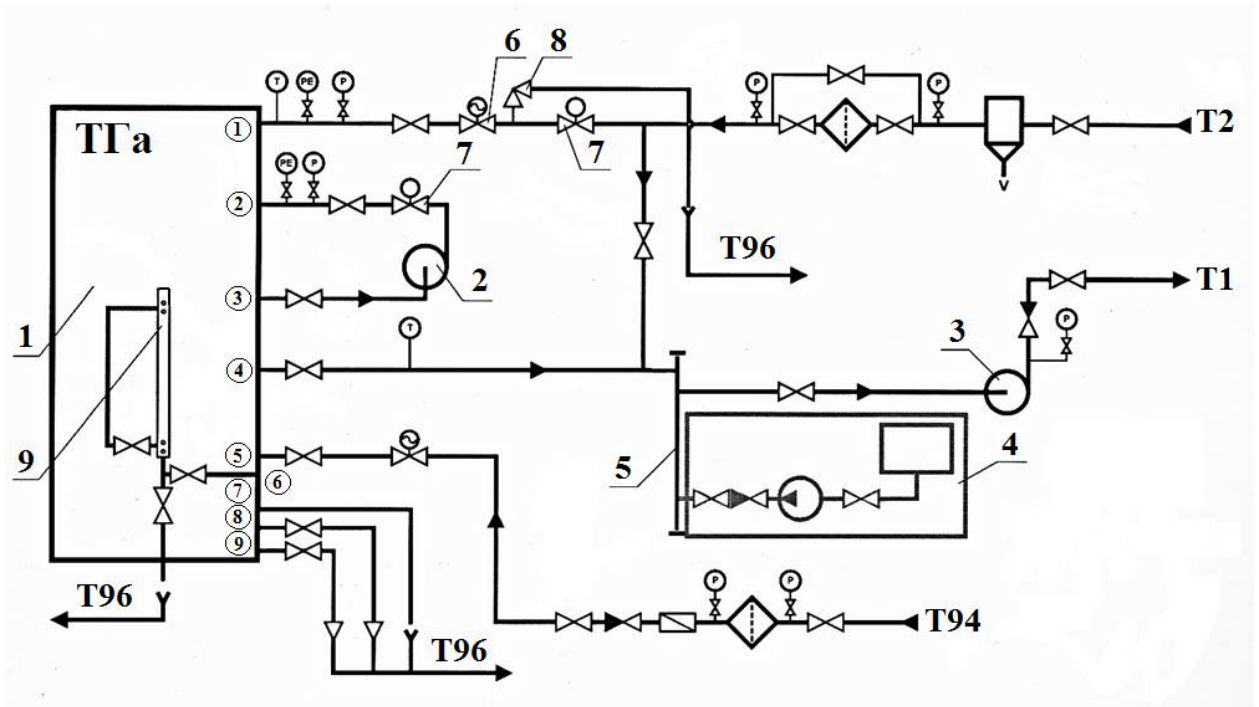


Рис.6.2. Принципова тепломеханічна схема підключення теплогенератора [7]:

1 – теплогенератор ТГа; 2 – насос рециркуляції; 3 – насос циркуляції; 4 – установка дозування хімічного реагенту; 5 – колектор прямої води; 6 – клапан з електроприводом; 7 – балансувальний клапан; 8 – запобіжний клапан; 9 – рівномірна колонка; Т1 – прямий трубопровід опалення; Т2 – зворотній трубопровід опалення; Т94 – трубопровід підживлюючої води; Т96 – лінія дренажу

Кількість і потужність встановлюваних теплогенераторів визначається відповідно до проекту виконаного у відповідності з СНІП II-35-76 «Котельные установки».

При встановленні більш ніж одного теплогенератора необхідно встановлювати колектор прямої мережної води, який можна виготовити зі стандартної труби, завареної з обох сторін.

Мережеві насоси підбираються за гідравлічними характеристиками мережі і параметрами витрати води через теплогенератор. Під час вибору насоса слід мати на увазі, що теплогенератор працює практично під атмосферним тиском води і вибір насоса має враховувати подолання п'єзометричного напору і гідравлічного опору теплової мережі.

Мережевий насос необхідно встановлювати після теплогенератора, підключати до колектора прямої мережної води. Вісь насоса необхідно розташовувати не вище від осі патрубку виходу прямої мережної води.

Для заповнення теплової мережі водою передбачений запасний трубопровід від технічного водопроводу до патрубка підживлення теплогенератора.

Для збільшення терміну служби системи тепlopостачання передбачене встановлення пристрою дозування хімічного реагенту для антикорозійного захисту трубопроводів і устаткування. Установку реагентної

місткості необхідно проводити з урахуванням забезпечення гідростатичного тиску між ємністю і точкою підключення в колекторі не менше 1 м. вод. ст.

Щоб запобігти зливанню води з трубопроводу зворотної мережевої води при зупинці насоса або при розриві теплової траси прямої мережної води, необхідно передбачити установку електромагнітного відсічного клапана загально котельної системи управління.

Для забезпечення нормального положення рівня води в теплогенераторах необхідно передбачити установку клапана з електроприводом для підживлення або підживлювального насоса. Рекомендується управління клапаном здійснювати автоматично, блоком загальнокотельного управління (при пусконаладжувальних роботах в ручному режимі) за сигналами датчиків рівня, які відповідають за чотири характерні положення рівня води в теплогенераторах:

- верхній аварійний рівень (ВАР);
- нижній аварійний рівень (НАР);
- нижній робочий рівень (НРР);
- верхній робочий рівень (ВРР);

Величини ВАР, ВРР, НАР, НРР встановлюються при пусконаладжувальних роботах.

Діапазон нормального рівня води в теплогенераторі має бути між нижнім і верхнім робочим рівнем. Блок управління при підключенні двох або більше теплогенераторів здійснює управління загальнокотельними параметрами: підтримкою рівня води в апаратах шляхом закриття і відкриття клапана підживлення, або увімкнення й вимкнення насоса і закриттям клапана зворотної води при падінні тиску в прямому трубопроводі нижче від заданого.

Для безпеки при експлуатації теплогенераторів необхідно використовувати систему автоматичного захисту під час виникнення аварійних ситуацій, як то пожежа, загазованість чадним газом або метаном, несанкціоноване проникнення в приміщення, де розташовані теплогенератори.

На рис.6.3 показана принципова схема системи автоматичного регулювання теплогенератора конденсаційного типу.

На рис.6.3 показані призначення патрубків у такій послідовності:

- 1 – зворотне опалення;
- 2 – зворотна рециркуляція;
- 3 – пряма рециркуляції;
- 4 – пряме опалення;
- 5 – підживлення;
- 6 – рівнемір;
- 7 – перелив;
- 8 – злив апарата;
- 9 – злив рубашки.

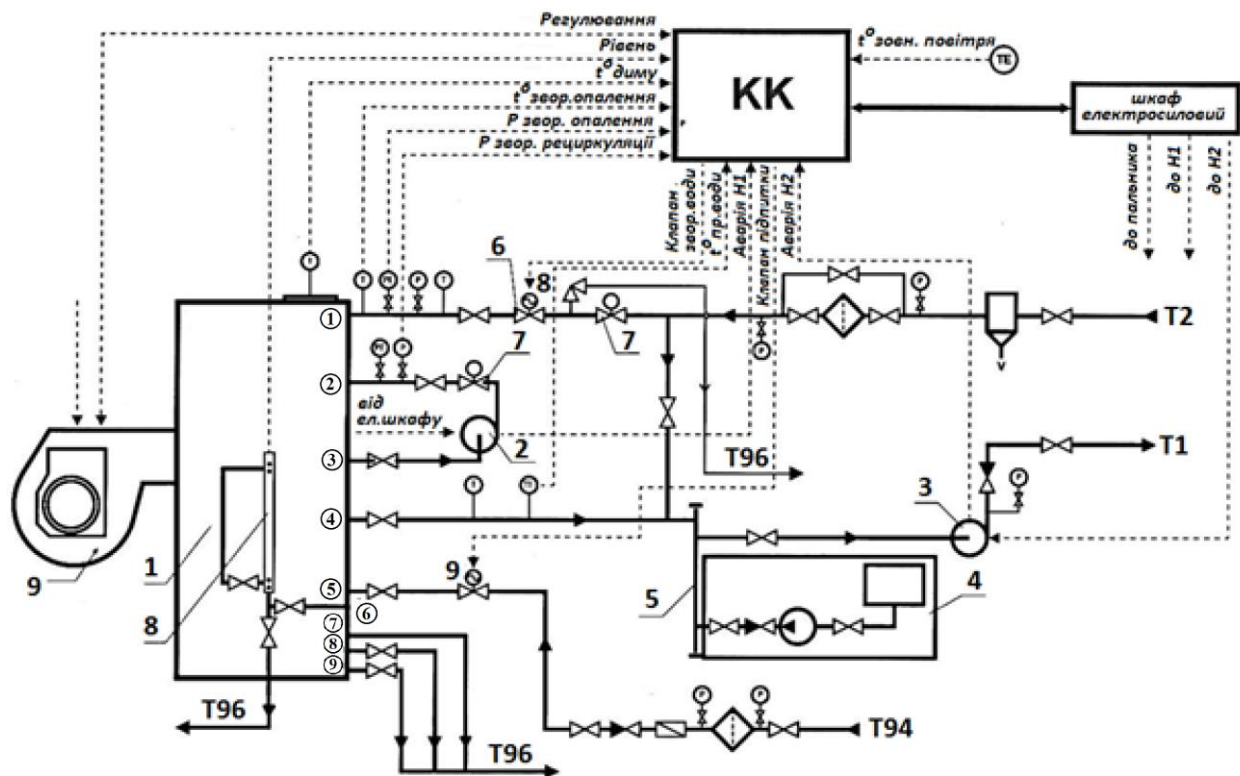


Рис.6.3. Принципова схема автоматичного регулювання теплопостачання [7]:

1 – теплогенератор ТГа; 2 – насос рециркуляції; 3 – насос циркуляції; 4 – установка дозування хімічного реагенту; 5 – колектор прямої води; 6 – клапан з електроприводом; 7 – балансувальний клапан; 8 – запобіжний клапан; 9 – рівномірна колонка; Т1 – прямий трубопровід опалення; Т2 – зворотній трубопровід опалення; Т94 – трубопровід підживлюючої води; Т96 – лінія дренажу.

Система контрольно-вимірювальних приладів (КВП) та автоматичного регулювання забезпечує надійну і безпечну роботу устаткування і складається з таких компонентів:

- блоку автоматичного управління (котловий контролер КК);
- датчика температури зовнішнього повітря;
- датчика температури прямої мережної води;
- датчика температури зворотної мережної води;
- датчика температури вихідних газів;
- датчика тиску зворотної мережної води;
- датчика тиску рециркуляції;
- датчика рівня води в ТГа;
- електромагнітного клапана зворотної води;
- електромагнітного клапана підживлення.

Система КВП і автоматики теплогенератора ТГа забезпечує:

1. Автоматичне регулювання:
 - потужності ТГа для досягнення заданої температури прямої мережної води шляхом зміни ступенів модуляції пальника;

- зміни заданої температури прямої мережної води залежно від температури зовнішнього повітря, часу доби і графіка вихідних днів;
- підтримка рівня води в апараті шляхом увімкнення електромагнітного клапана підживлення у разі пониження рівня води нижче від нижнього робочого рівня.

2. Захисні функції ТГа при аварійних ситуаціях.

2.1. Аварійна зупинка пальника із звуковою сигналізацією при:

- зникненні факела;
- порушенні герметичності відсічного клапана газу;
- падінні тиску повітря нижче від допустимого або відхилення тиску газу нижче або вище від допустимого;

- досягненні верхнього і нижнього аварійних рівнів води в ТГа;
- підвищенні температури вихідних газів вище допустимого;
- перевищення температури зворотної води вище встановленого.

2.2. Аварійної зупинки ТГа (зупинка пальника і насосів) із звуковою сигналізацією при:

- тиску зворотної води нижче/вище від допустимого;
- тиску рециркуляційної води нижче/вище від допустимого.

3. Літерно-цифрову індикацію:

- температуру зовнішнього повітря;
- температуру задання прямої мережної води;
- температуру прямої мережної води;
- температуру зворотної мережної води;
- температуру вихідних газів;
- стану рівня води в ТГа;
- стану насосів (ввімк./вимк.);
- стану пальника (ввімк./вимк.);
- стану електромагнітних клапанів (ввімк./вимк.).

6.6. Зміст звіту

Накреслити схему системи автоматичного регулювання з контрольно-вимірювальними приладами теплогенератора конденсаційного типу з позначенням і найменуванням складових та описати ті функції, що виконує САР в технологічному процесі керування та безаварійної роботи системи теплопостачання.

6.7. Контрольні питання

1. Де використовують теплогенератори конденсаційного типу і які їх переваги?
2. Які елементи входять до системи автоматичного регулювання теплогенераторів конденсаційного типу та яке їх призначення?
3. Система автоматичного регулювання забезпечує літерно-цифрову візуалізацію яких параметрів системи:

4. Для чого використовують вимірювальні прилади в установках теплогенераторів конденсаційного типу?
5. Що забезпечує система КВП і автоматики теплогенератора?

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Парові і газові турбіни та комбіновані енергетичні установки: метод. вказ. до лабораторних робіт № 1-2 для студ. денної та заоч. форм навч. напрямку підготовки 6.050601 Теплоенергетика/ Укр. інж.-пед. акад., Каф. теплоенергетики та енергозберігаючих технологій; упоряд. Т. М. Фурсова. - Харків: УПА, 2016. - 23 с. Режим доступу: http://library.uipa.edu.ua/jirbis/index.php?option=com_irbis&Itemid=1596

2. Конструкція основних елементів парових турбін ТЕС та АЕС. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів теплоенергетичних спеціальностей денної та заочної форм навчання. /Уклад: О.Ю.Черноусенко, Л.С.Бутовський, О.О. Грановська, Т.В. Нікуленкова / – К.: ВПІ ВПК “Політехніка”, 2014 – 70 с. Режим доступу: <http://tes.kpi.ua/wp-content/uploads/2016/02/%D0%9C%D0%B5%D1%82.%D1%83%D0%BA%D0%B0%D0%B7.%D0%BA-%D0%9B%D0%A0-%D0%A2%D1%83%D1%80%D0%B1%D0%B8%D0%BD%D1%8B-9%D1%87-1.pdf>

3. Канюк Г.І., Методи та моделі енергозберігаючого управління енергетичними установками електростанцій / Канюк Г.І., Мезеря А.Ю., Сук І.В. –Харків: «Точка», 2016. –332 с. ISBN 978-617-669-195-2.

4. Електронний ресурс. Енергетика: Історія, сучасність, майбутнє. Режим доступу: [<http://energetika.in.ua/ua/books/book-3>].

5. OpenAI. ChatGPT (2025). Відповіді на запити користувача \ [Електронний ресурс] / OpenAI. – Режим доступу: <https://chat.openai.com>

6. Бабій М.В. Судові котельні установки та їх експлуатації. Конспект лекцій з дисципліни. Херсон: ХДМА, 2019. 111 с.

Режим доступу: <https://www.scribd.com/document/671850345/%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1%81%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82-%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%86%D1%96%D0%B9-2%D0%A1%D0%9F>

7. Автоматика теплових процесів: Навчальний посібник / А.Ф. Головчук – Дніпропетровськ, ДНУЗТ, 2015. – 54 с. Режим доступу: <https://studfile.net/preview/5411587/>

Електронне навчальне видання комбінованого використання
Можна використовувати в локальному та мережному режимі

Фурсова Тетяна Миколаївна

ОСНОВИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

Методичні вказівки
до проведення лабораторних занять для здобувачів
вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за спеціальністю
174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

В авторській редакції

Підписано до розміщення 23.10.2025. Гарнітура Times New Roman.
Ум. друк. арк. 2,93. Обсяг 1,725 Мб. Зам. № 521/25.

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,
61022, м. Харків, майдан Свободи, 4.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3367 від 13.01.2009
Видавництво ХНУ імені В. Н. Каразіна