

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ  
ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА

С.М. АНАСТАСЕНКО, І.С. БЛЮК, Л.І. БУГРИМ,  
С.О. ГАВРИЛОВ, В.В. ЖИГУЛІНА, М.М. СЕМЕНОВ,  
О.В. ШОСТАК

# **ОСНОВИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ**

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

*Рекомендовано Методичною радою НУК*

«Новий Світ-2000»  
Львів  
Миколаїв  
2020

УДК 621.7.011  
ББК 31.3(07)  
А 64

*Рекомендовано Методичною радою НУК,*

*Протокол № 2 від 28.02.20 р.*

*Рецензенти:*

*д-р. техн. наук, проф. Ю. П. Кондратенко*

*д-р. економ. наук, канд. техн. наук., проф. В.І. Гавриш*

*канд. техн. наук. доцент Ю.О. Шаповалов*

*Кафедра Автоматики НУК*

**Анастасенко С.М. Бугрім Л.І. Білюк І.С., Гаврилов С.О.  
Жигуліна В.В. Семенов М.М., Шостак О.В.**

**А64** Основи автоматизації об'єктів теплоенергетики. Навчальний посібник для студентів спеціальності 144 "Теплоенергетика". - Миколаїв: НУК, – Львів, «Новий Світ-2000», 2020. - 111 стор.

Навчальний посібник розроблений на основі Освітньої програми підготовки бакалаврів за спеціальністю 144 «Теплоенергетика» і призначений для вивчення дисципліни «Основи автоматизації об'єктів теплоенергетики».

У посібнику приводяться короткі відомості про структуру засобів автоматизації, про основні поняття теорії автоматичного регулювання. На основі аналізу технології роботи і протікання теплофізичних процесів розглянуті системи автоматичного регулювання і захисту різних теплофізичних установок. Розглянуто основні типи регулюючих органів. Наведено основні умовні позначки для побудови функціональних схем автоматизації.

ISBN 978-617-7519-45-3

**УДК 621.7.011  
ББК 31.3(07)**

© Анастасенко С.М., Білюк І.С., Бугрім Л.І.,  
Гаврилов С.А. Жигуліна В.В., Семенов М.М,  
Шостак О.В., 2020

© Національний університет кораблебудування  
імені адмірала Макарова, 2020

© ФОП Піча С.В., «Новий Світ-2000», 2020

## ЗМІСТ

Список умовних скорочень.....	5
Передмова.....	6
Тема 1. Завдання курсу, зміст дисципліни. Концепції автоматизації теплоенергетичних процесів.....	8
1.1. Завдання курсу, зміст дисципліни.....	8
1.2. Концепції автоматизації теплоенергетичних процесів.....	8
Тема 2. Структура засобів автоматизації. Регулюючі органи теплоенергетичних установок.....	27
2.1. Структура засобів автоматизації.....	27
2.2. Регулюючі органи теплоенергетичних установок.....	34
Тема 3. Основи теорії автоматичного керування (регулювання).....	38
3.1. Загальні положення.....	38
3.2. Основні властивості теплоенергетичних об'єктів регулювання.....	41
3.3. Принципова структурна схема аналогової САК при її технічній реалізації.....	45
Тема 4. Автоматизація регулювання парових котлів, допоміжного обладнання котелень та ТЕС. Автоматичний тепловий захист агрегатів ТЕС.....	48
Тема 5. Автоматизація водогрійних котлів.....	54
5.1. Загальні положення.....	54
5.2. Регулювання водогрійних котлів, що працюють за відкритою схемою.....	54
5.3. Необхідні регулятори водогрійних котлів.....	56
5.4. Контроль технологічних параметрів і захисту водогрійних котлів.....	59
5.5. Автоматика регулювання.....	64
5.6. Регулювання водогрійних котлів, що працюють за закритою схемою.....	66
Тема 6. Регулювання теплових навантажень опалення, вентиляції та гарячого водопостачання.....	67
6.1. Регулювання теплового навантаження опалення.....	67
6.2. Регулювання теплового навантаження вентиляції.....	68
6.3. Регулювання теплового навантаження в системі ГВП.....	68
6.4. Автоматизація центральних (ЦТП) і індивідуальних (ІТП) теплових пунктів.....	69
Тема 7. Автоматичне регулювання процесів водопідготовки.....	74
Додаток А. Структура АСК ТП.....	78
Додаток Б. Автоматичне регулювання парових котлів.....	79
Додаток В. Автоматизація допоміжного обладнання котелень агрегатів ТЕС.....	88

Додаток Г. Автоматичний тепловий захист котельних агрегатів ТЕС.....	92
Додаток Д. Автоматизація опалювальних і виробничих котельних.....	96
Додаток Е. Автоматичне регулювання водогрійних котлів.....	102
Додаток Ж. Автоматизація процесів в теплових мережах.....	106
Література.....	110

## СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АСК ТП – автоматичні системи керування технологічними процесами  
АЦП – аналогово-цифровий перетворювач  
ВБ – вимірювальний блок  
ВМ – виконавчий механізм  
ВО – вимірювальне обладнання  
ВПУ – водопідготовча установка  
ДУ – дистанційне керування  
ЕБ – електронний блок  
ЕВМ – електричні виконавчі механізми  
ЕКМ – електроконтактний манометр  
ЕП – елемент порівняння  
ЕХД – електрохімічний датчик  
ЗП – задаючий пристрій  
ІВ – інформаційно вимірювальна система  
ІТП – індивідуальний тепловий пункт  
КЕ – контрольний електрод  
КЗК – комплект засобів керування  
КК – ключ керування  
КП – керуючий пристрій  
КТС – система контролю стану комплексу технічних засобів  
МП – магнітний пускач  
НАВ – напрямні апарати вентиляторів  
НП – нормуючий перетворювач  
ОР – об'єкт регулювання  
ПК – перемикач керування  
ПН – підживлювальний насос  
ПП – показчик положення  
РЕК – регулювання економичності спалювання палива  
РО – регулюючий орган  
РТН – регулятор теплового навантаження  
САК – система автоматичного керування  
ТЕО – теплоенергетичне обладнання  
ТЗ і Б – технологічно-захисні і блокувальні системи  
ТОМ – термометр опору мідний  
ТОП – термометр опору платиновий  
ЦТП – центральний тепловий пункт  
ФГК – система функціонально групового керування

## ПЕРЕДМОВА

Основу сучасної енергетики становлять великі теплові електростанції (ТЕС), виробничі та опалювальні котельні, системи теплопостачання виробничих, адміністративних і житлових будинків, системи повітропостачання, виробництва кисню для потреб підприємств, холодильні установки різного призначення, сушильні установки та інші.

Трудомісткі процеси, пов'язані з виробництвом і розподілом теплової та електричної енергії як на сучасних ТЕС, так і в інших галузях промислової теплоенергетики, в основному механізовані, і праця оператора полягає в тому, щоб керувати машинами, механізмами й установками (переміщувати регульовальні органи, вмикати або вимикати устаткування та т.п.) і спостерігати за їхньою роботою безпосередньо або за показниками контрольно-вимірювальних приладів.

Однак, механізація (навіть повна) цілодобово працюючого енергетичного устаткування не рятує оператора від стомлюючої і одноманітної праці з керування основним та допоміжним обладнанням і не гарантує їх надійної й економічної роботи, навіть у разі високої кваліфікації експлуатаційного персоналу. Саме це обумовило активний розвиток автоматизації енергетики.

У 30-40-х рр. ХХ ст. автоматизація теплового устаткування на ТЕС і в котельнях проводилася в основному на базі автоматичних регуляторів електромеханічної системи, в якій вимірювальне, командно-підсилювальне та виконавче обладнання є єдиною конструкцією. Жорстка структура такого регулятора, а також наявність великої кількості рухливих частин і електричних контактів у ланцюгах керування виконавчими механізмами, перешкождали створенню надійних автоматичних систем регулювання та вирішенню складних завдань керування.

У 50-х рр. ХХ ст. в енергетиці, завдяки розвитку приладобудування і галузей промисловості, що випускають електронну техніку та малогабаритну апаратуру керування, стали широко застосовуватися автоматичні регулятори теплових процесів нового типу, що складаються з окремого первинного приладу з вихідним електричним сигналом, електронного регулюючого приладу і окремо розташованого виконавчого механізму з незалежним дистанційним керуванням. Це дозволило розмістити частини регулятора окремо, відповідно до їх функціонального призначення: первинний прилад і виконавчий механізм на об'єкті, а регулюючий прилад і органи керування на оперативному щиті.

У 60-70-х рр. ХХ ст. відбувається новий якісний стрибок в енергетиці. Одиничні потужності агрегатів ростуть, кількість контрольованих параметрів також росте, досягаючи 500-2000 точок вимірів. Розроблені раніше технічні засоби автоматизації в цих умовах не підходять. З'являються датчики і перетворювачі з нормованими вихідними сигналами. Відбувається бурхливий розвиток засобів обчислювальної техніки (електронно-

обчислювальні машини і мікропроцесорні засоби). Обчислювальні машини стали використовувати для збору і переробки інформації про роботу промислових об'єктів. За допомогою обчислювальних машин виявилось можливим вирішення завдань щодо керування та видачі результатів у вигляді порад оператору або сигналів - команд винятковим механізмам. У результаті частина функцій з керування та контролю складними технологічними процесами стала передаватися обчислювальній машині, у тому числі, масовий контроль і сигналізація, розрахунки техніко-економічних показників окремих агрегатів та виробництва в цілому, оптимізація деяких режимів роботи устаткування і інше.

Поряд з цифровою обчислювальною машиною, продовжують широко використовуватися системи індивідуального контролю найважливіших параметрів, автоматичне регулювання окремих ділянок технологічного процесу, автономні системи дистанційного керування і автоматичних захистів енергетичного устаткування.

У такий спосіб поступово сформувалися автоматизовані системи керування технологічними процесами (АСК ТП).

Кожна АСК ТП, незалежно від виду технологічного процесу, яким вона керує, являє собою систему "людина - машина", що виконує збір інформації для вироблення та реалізації керуючих впливів на технологічний об'єкт керування відповідно до прийнятого критерію керування. Оперативно-диспетчерське керування енергоустаткуванням і контроль найбільш відповідальних параметрів в АСК ТП залишаються за оперативним персоналом, який ефективно використовує технічні засоби автоматизації.

Автоматизація теплоенергетичного устаткування здійснюється за допомогою засобів (системи керування), що виконують наступні функції: автоматичний контроль (вимір) поточних значень параметрів технологічного процесу; технологічна сигналізація про стан основного і допоміжного устаткування; автоматичний захист основного і допоміжного устаткування від можливих ушкоджень в процесі експлуатації; дистанційне керування машинами і механізмами на відстані; автоматичне безперервне регулювання технологічних процесів і керування основними та допоміжними механізмами; автоматичне дискретне керування вмиканням або вимиканням регуляторів, машин, механізмів і установок у заданій послідовності. Перераховані функції виконуються підсистемами керування.

Людина - оператор і підлеглі йому підсистеми повинні управляти технологічними процесами та підтримувати такі значення технологічних параметрів, які забезпечують максимально можливі техніко-економічні показники установок. Ці підсистеми, підлеглі оператору, у разі використання обчислювальних машин, утворюють автоматизовану систему керування технологічними процесами об'єктів, наприклад, АСК ТП енергоблоку на тепловій електростанції, АСК ТП парового (водогрійного) котла, АСК ТП парової водогрійної котельні й т.п.



## Завдання курсу, зміст дисципліни. Концепції автоматизації теплоенергетичних процесів.

### 1.1. Завдання курсу, зміст дисципліни

Дисципліною «Основи автоматизації об'єктів теплоенергетики» розглядається комплекс питань, пов'язаних з використанням сучасних інформаційних технологій для забезпечення надійної роботи і діагностування елементів теплових енергетичних установок під час експлуатації.

Особливістю цього курсу є постійне оновлення навчальних матеріалів, які використовуються під час викладання. Це пов'язане з тим, що дисципліна базується на матеріалах, які постійно оновлюються на сайтах фірм виробників відповідного електронного устаткування.

Ціль вивчення дисципліни - формування у здобувачів освіти уяву про сучасні інформаційні системи, які використовуються в промисловості і комунальному господарстві для діагностики та керування теплоенергетичними установками і їх складовими елементами.

Завдання дисципліни - дати основні поняття щодо організації розробки і впровадження систем автоматизованого устаткування ТЕО; розглянути складові елементи інформаційних систем і їх взаємодію.

### 1.2. Концепції автоматизації теплоенергетичних процесів

Розвиток технологічних процесів генерації і використання пари йшов паралельно зі створенням систем автоматизації. На обсяг автоматизації впливає компонування технологічного устаткування. На рис. 1.1 показана структурна схема енергетичного устаткування при компонуванні котлів і турбін з поперечними зв'язками. Ці зв'язки існують щодо пари та живильної воді між котельнями і турбінними установками. Компонування дозволяє реалізувати високу маневреність устаткування, наприклад, при відключенні з якихось причин одного котла або турбіни. Ця схема компонування устаткування була єдиною у вітчизняній енергетиці до 50-х років минулого сторіччя, коли нарощування потужностей електростанцій проходило окремими чергами по мірі створення відповідного устаткування.

До останнього часу на теплоелектроцентралях були черги тиску 30, 90, 130 кПа. У цей час залишилися лише останні черги. В 50-х роках з'явилися блокові установки, структура яких показана на рис. 1.2. Вони мають більш високу ефективність (приблизно на 10%), хоча в плані взаємозамінності



Автоматизація енергетичного устаткування велася за ідеологією автономних підсистем. Хід технологічного процесу повинен контролюватися оператором за допомогою засобів технічного контролю параметрів контрольно-вимірювальних приладів (КВП). Структура каналу контролю параметрів звичайно складається з:

- первинного вимірювального перетворювача (скорочена назва - датчик);
- лінії зв'язку;
- вторинного приладу (він може бути таким, що показує або реєструє).

Вторинні прилади, як правило, розташовані в одному місці на щиті керування, де перебуває оперативний персонал, що контролює хід технологічного процесу. Розрізняють щит керування місцевий і блоковий (навіть якщо компонування устаткування не блокове). Вторинні прилади розміщуються на панелях оперативного контуру в межах видимості оперативного персоналу.

На рис. 1.3 показаний план щита керування з розміщенням панелей оперативного і неоперативного (невидимого для оператора) контурів. На рис. 1.4 показаний фронтальний вид панелі із зонами розміщення устаткування.

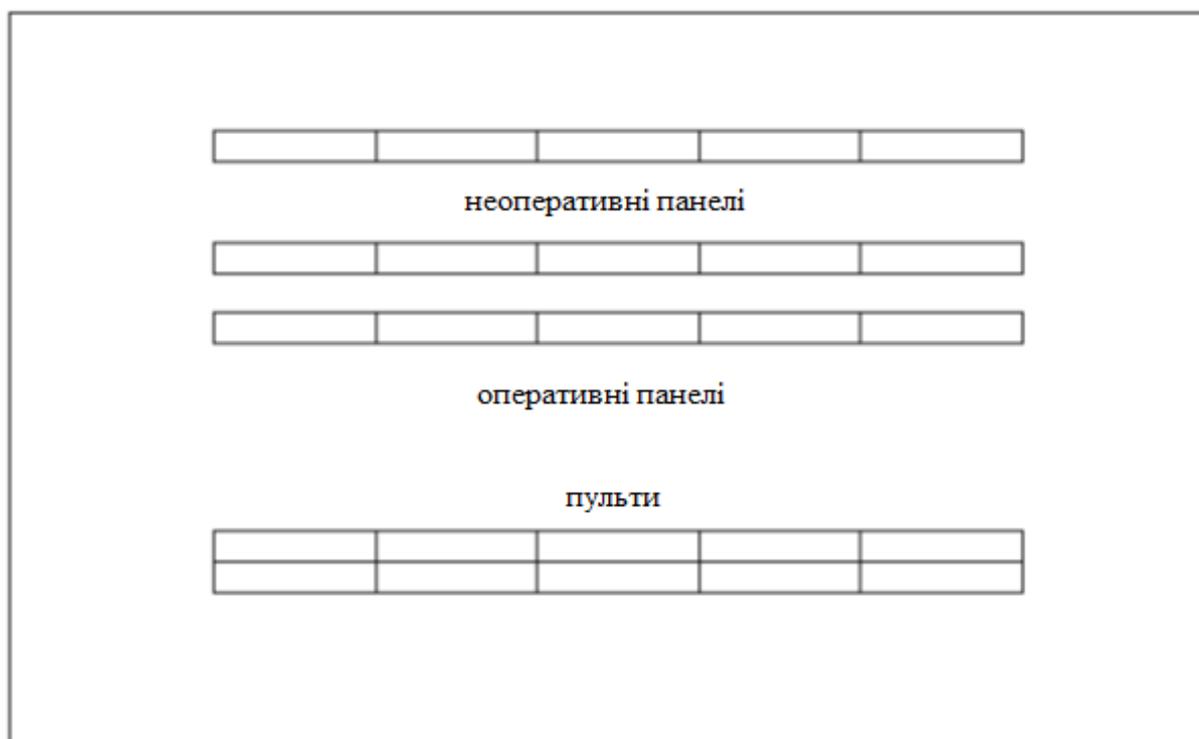


Рис. 1.3. План щита



Рис. 1.4. Фронтальний вид панелі

Підсистема контролю технологічного процесу – технічні виміри - має за мету забезпечити оперативний персонал інформацією щодо ходу технологічного процесу. Підсистема пасивна, тобто вони одержують інформацію про процес, але вона не має засобів впливу на процес. При відхиленні будь-якого параметру, що спочатку виявляється оперативним персоналом тільки візуально, повинен бути впливом на регулюючу арматуру та повернути параметр до нормального значення. Ріст числа контрольованих параметрів, обмежені можливості людини-оператора змусили створити технологічну сигналізацію, джерелом інформації якої є контакти вторинних приладів. Технологічна сигналізація з ряду причин включена до складу іншої підсистеми, де вона і буде розглянута.

За необхідності впливу оператора на хід технологічного процесу, він використовує схеми електропривода регулюючої і запірної арматур. Виконавчими механізмами переміщення регулюючої і запірної арматур у вітчизняній практиці є електродвигуни та електромагніти. Очевидно це пов'язане з тим, що електроенергія є вихідним продуктом теплоенергетичних установок. У західній практиці, наприклад, фірма Bailey (США) часто застосовує пневмоприводи, в яких використовується стиснене повітря. Підготовка повітря здійснюється в спеціальній установці, що включає компресори, установки очищення повітря, осушення, ресивери (баки зберігання стисненого повітря), сервомотори. Особливістю виконавчих органів західної ідеології є пропорційне переміщення вихідного штока від тиску повітря в одній порожнині плунжерного механізму. При зникненні тиску повітря пневмопривод переміщується в одне із крайніх положень, що відповідно веде до відкритого або закритого положення затвору арматури. Несправності системи підготовки повітря призводить до виникнення позаштатних ситуацій на технологічній установці.

Схема приводу арматури з використанням електродвигуна містить органи керування (електросхема, ключі керування, комутуюча апаратура), електродвигун, редуктор. Органи керування арматурами зосереджені на пультах щитів керування. Там же розміщені органи індикації положення приводу (індикатори положення (ІПП) - стрілочні прилади). Привод, що має тільки відкрите або закрите положення, видає інформацію про його стан на мнемосхему установки, розташовану зверху панелей оперативного контуру. При переміщенні арматур з одного крайнього положення в інше, хід її відображається миготінням лампи змінюваного положення. Використання електродвигуна надає схемі інтегральний характер, а при зникненні напруги живлення привід залишається в доаварійному положенні ("заморожений" стан), що запобігає позаштатним ситуаціям на технологічній установці. Час переміщення (ходу) виконавчого механізму в регулюючій арматурі від 10с до 160с, а запірної - до декількох хвилин (головна парова засувка (ГПЗ), що закриває вихід пари від котла та має час ходу 4-5 хвилин). Елементи електросхеми керування приводами розміщуються в шафах засувок, що розташовуються у спеціальних приміщеннях, як правило, по сусідству із щитом керування.

Схеми приводу арматури являють собою підсистему дистанційного керування. Обмежені людські можливості не дозволяють оператору запобігти розвитку позаштатних ситуацій, які можуть виникнути в ході технологічного процесу. Відомо, що тривалість перехідних процесів в електричній частині енергетичних установок становить секунди, у частині газотурбінних

установок - десятки секунд, а в частині котлових установок - сотні і навіть тисячі секунд. Для запобігання розвитку позаштатних ситуацій, запобігання ушкодження устаткування і загрози життю оперативному персоналу була створена підсистема технологічних захистів і блокувань, дія яких відбувається незалежно від оператора, якому заборонено втручання в дію захистів.

Контрольовані цією підсистемою параметри технологічного процесу визначаються фірмами виробниками і уточнюються в ході налагоджувальних робіт та в процесі експлуатації енергетичних установок. Накопичений досвід налагодження та експлуатації дозволив узагальнити матеріали за обсягом і побудовою технологічних захистів та блокувань. Нові "Правила вибухонебезпечності спалювання газу і мазуту в котлових установках", що з'явилися в 1984 році, вимагали уточнення технічних умов дії, обсягу і виконання технологічних захистів. Розроблені мінімальні обсяги й вимоги до побудови технологічних захистів наступних енергетичних установок:

- установки з поперечними зв'язками й водогрійних котлів;
- блокові установки з барабанными котлами;
- блокові установки 300 МВт;
- моноблочні установки з прямоточними установками 250, 500 і 800°МВт.

Технологічні захисти діляться за впливом на технологічний процес на наступні групи:

- що зупиняють устаткування (котел, турбіна, насос, блок), так звані граничні захисти;
- що знижують навантаження установок;
- локальні захисти.

Дії захистів - спрямовані, тобто, з появою ініціативного сигналу (вихід параметра за припустимі межі) дія захисту виконується навіть якщо параметр повернувся до нормального значення (крім локальних захистів). В локальних захистах, що виконують місцеві впливи на технологічний процес, при відновленні параметрів припиняється вплив на виконавчі органи.

Технологічні захисти діляться на групи А та Б. Захисти групи А забезпечують безпеку устаткування та людей. Захисти групи Б мінімізують економічні втрати від виникнення позаштатних ситуацій. Перелік захистів обох груп регламентований. Реалізація технологічних захистів до використання мікропроцесорної техніки здійснювалася на базі релейно-контактних схем. Підсистема захистів абсолютно автономна, тобто має свої датчики, свої виконавчі органи. Слід зазначити, що нерідко змішуються поняття локальних захистів і технологічних блокувань, тому що їх вплив на технологічний процес практично однаковий. До технологічних блокувань

відносять схеми, що одержують ініціативний сигнал зі схеми керування, а в локальних захистах ініціативний сигнал подається від спеціальних датчиків. Прикладом технологічного блокування може бути схема, що закриває шибери на всмоктуванні і напорі димососа при відключенні приводного електричного двигуна вентилятора. Прикладом локального захисту може бути захист від підвищення тиску гострої пари, промпари.

Датчиком захисту є електроконтактний манометр (ЕКМ), а виконавчим органом - запобіжні клапани котла. Введення технологічних захистів у роботу здійснюється оперативним персоналом за допомогою накладок або спеціальних ключів. Використання схем захистів на базі реле робить схеми технологічної сигналізації аналогічними, і тому остання включена до підсистеми технологічних захистів і блокувань. Ініціативний сигнал для схем сигналізації дається контактами вторинних приладів або надходить від вихідних реле схем захистів.

Технологічна сигналізація ділиться на попереджувальну і аварійну. Канал сигналізації складається з ініціюючого обладнання (датчика або контакту вторинного приладу), обладнання порівняння миттєвого і заданого значення, каналу зв'язку, обладнань, що забезпечують заданий алгоритм дії, індикатору. В якості індикатору використовуються сигнальні табло, розташовані у верхній частині панелей. Сигнальне табло вмикає дві лампи, з'єднані паралельно. Табло містить напис, який параметр він індукує. Аварійні табло мають оптимальне фарбування (червоне).

У разі виходу значень параметра за межі норми, відповідне табло починає миготіти, звертаючи увагу оператора, який повинен квитиувати миготінням, натиснувши відповідну кнопку. Коли спрацьовує сигналізація звучить звуковий сигнал: для попереджувальної сигналізації - дзвінок, для аварійної - сирена. Після квитиування табло не миготить, а горить рівним світлом до повернення параметра в норму.

З розвитком засобів автоматизації з'явилися можливості полегшення праці людини-оператора шляхом створення автоматичних систем регулювання технологічних параметрів. Склад параметрів, які необхідно регулювати автоматично, залежить від технологічного процесу, реалізованого основним устаткуванням. Наприклад, процес генерації пари може бути реалізований за допомогою смолоскипового спалювання палива в котлах із природною або прямоочною технологією, або в топках з киплячим шаром, або в котлах-утилізаторах парогазових установок без допалювання. Для кожного з цих процесів склад АСР свій, які, однак, можна класифікувати за окремими категоріями. Є АСР, що забезпечують процес горіння, перегріву пари.

Процеси, що відбуваються в технологічних установках, можна розділити на:

- пускові;
- штатні;
- аварійні, позаштатні.

У цей час найбільш освоєні АСР штатних режимів, але розпочато освоєння АСР пускових режимів. При пускових режимах параметри змінюються за заданою програмою, їх зміна не повинна порушувати критерії надійності. Штатні режими характеризуються відносно плавними, невеликими за величинами змінами навантаження з обмеженою швидкістю. Діапазон навантажень, реалізованих без зміни складу устаткування, називають регульованим, і відповідно до СОУ-Н ЕЕ 25.302:2007: для газомазутних котлів він становить 30-100%, для пиловугільних - 60 - 100% (для котлів із твердим шлаковидаленням), 70 - 100% (з рідким шлаковидаленням). Завдання АСР - забезпечення підтримки параметрів стійкими з певною якістю регулювання (точністю підтримування). В теплоенергетиці прийняті наступні критерії якості:

- динамічна помилка (максимальне відхилення) менше припустимої (за умовами надійності і економічності роботи устаткування);
- інтегральна квадратична оцінка повинна бути мінімальна;
- ступінь загасання коливань регульованої величини

$$\psi = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1}$$

де  $\sigma_1$ ,  $\sigma_3$  – відповідне перше і третє відхилення регульованої величини (повинно бути 0,9-0,95).

Кожна АСР автономна, тобто має свої датчики, що регулюють прилади, виконавчі механізми і не мають зв'язків з іншими системами. В кожній АСР передбачені датчики, що змінюють підтримувану величину регульованого параметра та дозволяють за необхідністю оператору корегувати технологічний процес.

Прийнято оцінювати поведінку регульованих параметрів у двох режимах:

- при 2-3% змінах навантаження;
- при 10% зміні (східчастому) навантаження в межах регульованого діапазону.

Усі підсистеми можна охарактеризувати за одержуваною інформацією від об'єктів регулювання і впливу на нього:

- підсистема виміру параметрів і надання інформації оператору - пасивна, вона не виявляє впливу на об'єкт;

- підсистема дистанційного керування тільки впливає на об'єкт регулювання;

- підсистеми, що одержують інформацію та впливають на об'єкт регулювання.

Якщо уявити гіпотетичний одночасний вплив на органи керування технологічним процесом трьох активних систем, що виявляють вплив на об'єкт регулювання, то пріоритети будуть наступними:

- перший – підсистеми ТЗ і Б;
- другий - підсистема дистанційного керування;
- третій - підсистема АСР.

На рис. 1. 5 показаний вид БЦК блока 200 МВт с прямоточним котлом і теплофікаційною турбіною.



Рис. 1.5. Вид БЦК блока 200 МВт с прямоточним котлом і теплофікаційною турбіною

Розглянуту концепцію автоматизації теплоенергетичного устаткування з поділом на окремі підсистеми називають підсистемною архітектурою. Структура даної системи автоматизації наведена на рис. 1.6.

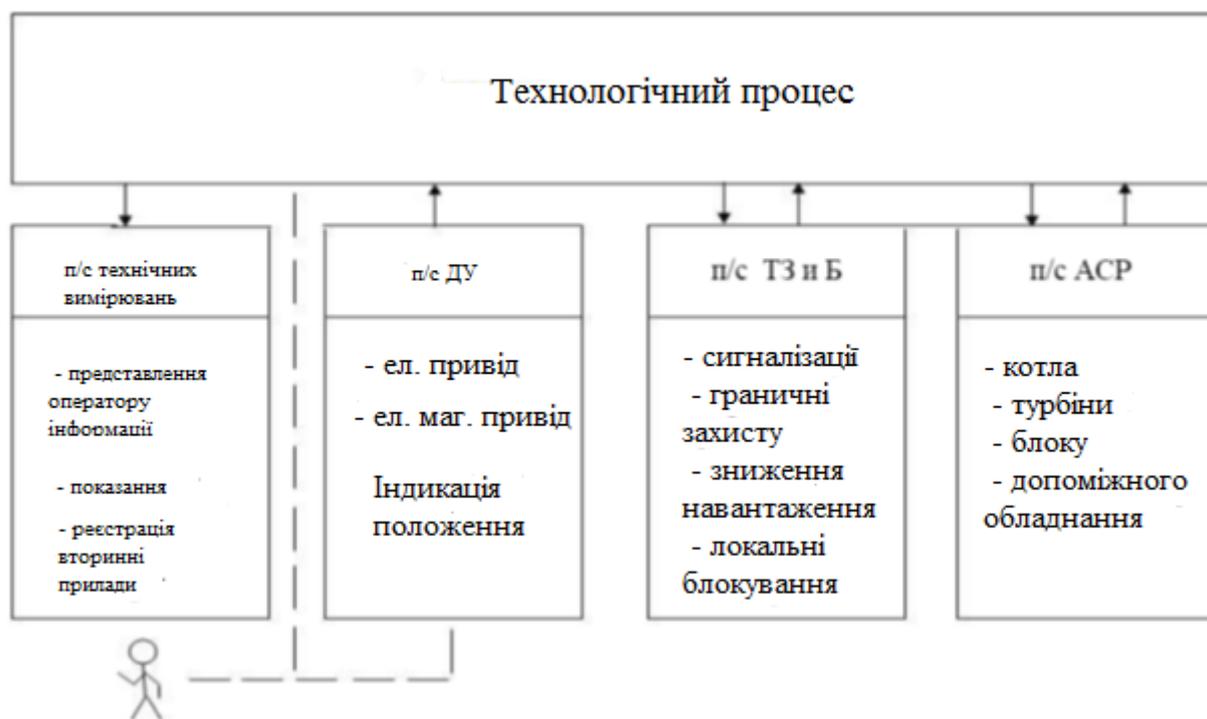


Рис. 1.6. Архітектура автоматизації з підсистемами

Сучасний стан енергетики характеризується значним числом теплосилових установок, що виробили свій розрахунковий строк. Мова йде не тільки про основне устаткування. У частині систем автоматизації особливо помітне моральне і фізичне зношування засобів вимірів та надання інформації про хід технологічного процесу. Надійні прилади-індикатори досить коштовні, а використання дешевих приладів призводить до недостатньої надійності засобів контролю і вимірів. Експлуатація таких приладів вимагає значних видаткових матеріалів, ручної праці персоналу щодо обслуговування цих приладів, вимагає значного обсягу оперативної обробки результатів вимірів (наприклад, щодо визначення техніко-економічних показників технологічних процесів). Виконавчі механізми і арматури енергоустановок у силу зношеності цього устаткування також підлягають заміні, але це вимагає значних витрат, що набагато перевищують вартість робіт зі створення нової системи керування.

Вимоги правил технічної експлуатації (ПТЕ) щодо перевірки працездатності повного обсягу технологічних захистів і блокувань (ТЗ і Б) приводить до значних витрат часу (більш 8 годин). Крім того, ТЗ і Б побудовані на застарілих технічних засобах (промислове реле РП-23, -24,-252 і реле часу ЕВ-100,-200), які підлягають заміні. Як варіант - це варіант заміни на арматури УКТЗ-М, побудовану на більш сучасних малогабаритних реле РЕС-8 і малогабаритних реле часу.

В частині автоматичного регулювання теплоенергетичного устаткування також спостерігається серйозне відставання у впровадженні теоретичних розробок, що серйозно стримує підвищення ефективності цих систем. Аналогове регулююче обладнання, що панувало близько 50 років, не дозволяло використовувати, навіть, ПІ-закон регулювання. Мікропроцесорні вітчизняні регулятори перших поколінь "Протар", "Ремиконт" використовували процесори з надзвичайно низькою частотою, а значить і продуктивністю. Закордонна практика автоматизації теплових процесів на базі мікропроцесорних обладнань нараховує вже 40-50 років.

Це визначило випередження закордонних фірм у плані створення нових систем автоматичного керування теплоенергетичним устаткуванням. Широке і бурхливе впровадження нової бази технічних засобів - високонадійної мікропроцесорної техніки дало новий поштовх впровадженню розподіленої системи керування. І раніше були спроби створення функціонально-групового керування теплосиловими установками, благо окремі елементи технологічних процесів дозволяли легко виділити ці функціональні вузли (наприклад, циркуляційна система, що включає вузол харчування, екранну систему, барабан).

Так виникла друга сучасна концепція автоматизації теплоенергетичного устаткування - автоматизована система керування технологічними процесами (АСК ТП). Схеми АСК ТП представлені в додатку А. В основі цієї нової системи керування лежать наступні положення:

- розширена база даних, тобто більше число аналогових і дискретних сигналів, що використовуються;
- нова система надання оператору інформації про хід технологічних процесів (візуалізація процесів);
- шинна архітектура АСК ТП;
- робота АСК ТП у реальному масштабі часу технологічних процесів;
- архівування інформації про значення технологічних параметрів в їхніх змінах;
- можливість організації зв'язків з вищою системою керування - АСК В.

Зупинимось більш докладно на шинній організації АСК ТП. Під шинною організацією АСК ТП розуміють реалізацію потоків даних у системі через спеціалізовані програмні шини, що забезпечують незалежність окремих програмних модулів, які реалізують функції системи у разі обміну даними. У системі передбачено три програмні шини (рис. 1.7).

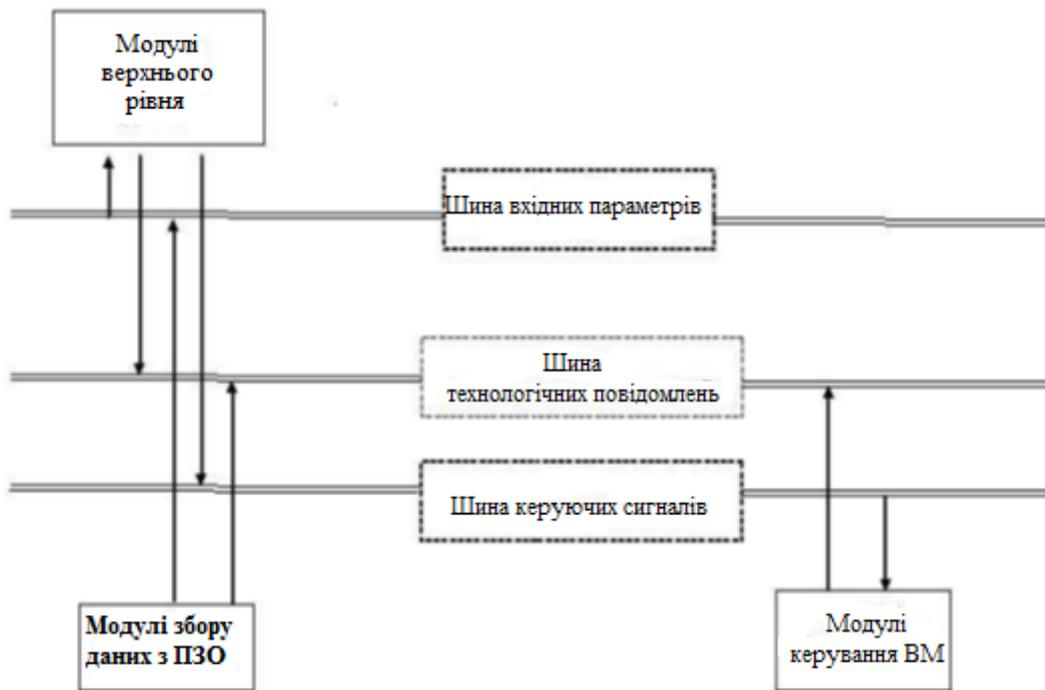


Рис. 1.7. Шинна архітектура АСК ТП

Шина вхідних параметрів забезпечує взаємодію програмних модулів-постачальників технологічних параметрів від обладнань зв'язку з об'єктом (УСО) і модулів-споживачів цих параметрів. Модулі-постачальники роблять зчитування значень параметрів з устаткування нижнього рівня відповідно до протоколу взаємодії з апаратними засобами, первинну обробку сигналів і розміщення даних параметрів на шині. Обмін даними через програмні шини дозволяє розв'язати програмні модулі, що реалізують функції АСК ТП, які враховують специфіку використовуваних технічних засобів збору даних, керування і зв'язку. Це "розв'язує" верхній рівень АСК ТП (рівень відображення інформації і реалізації технологічних завдань) і нижній рівень (збір даних від первинних вимірювальних перетворювачів-датчиків). Модулі-споживачі технологічних параметрів одержують доступ до значень вхідних параметрів через так звану "підписку". Інтерфейс шини вхідних параметрів забезпечує необхідний набір вхідних параметрів, потрібних для роботи даного модуля, і адреси, куди ці параметри повинні бути надіслані у разі їх зміни. Тим самим, тільки при змінах вхідних параметрів, використовуваних даним модулем, ініціюється його робота. Завдання набору вхідних параметрів, зміни яких повинне бути відпрацьоване даним модулем, виконується досить просто і індивідуально для кожного модуля.

Шина технологічних повідомлень забезпечує обмін технологічними повідомленнями між їхніми постачальниками.

Постачальники - це модулі, за роботи яких може виникнути необхідність передачі повідомлення модулям-споживачам.

Споживачі – це модулі, що реалізують реакцію на ці повідомлення. Основними споживачами є модуль візуалізації технологічних повідомлень і модуль збереження цих повідомлень у журналі технологічних повідомлень. Через цю шину проводиться також обмін повідомлень про стан апаратних і програмних засобів АСК ТП для цілей діагностики.

Шина керуючих сигналів забезпечує передачу керуючих сигналів від модулів, що ініціюють їх появу, до виконавчих механізмів (ВМ). На цій шині також передбачена "підписка" на керуючі сигнали, що забезпечує додатковий контроль над видачею некоректних керуючих впливів. Можливе створення локальної мережі регуляторів, що одержують вхідні сигнали, що й видають керуючі сигнали. У цьому випадку вона є нижнім рівнем з погляду шинної організації АСК ТП.

На рис. 1.8 показаний вид БЦК вітчизняного блоку 200 МВт з прямоточним котлом і теплофікаційною турбіною при шинній архітектурі реалізації системи автоматизації теплоенергетичного устаткування.

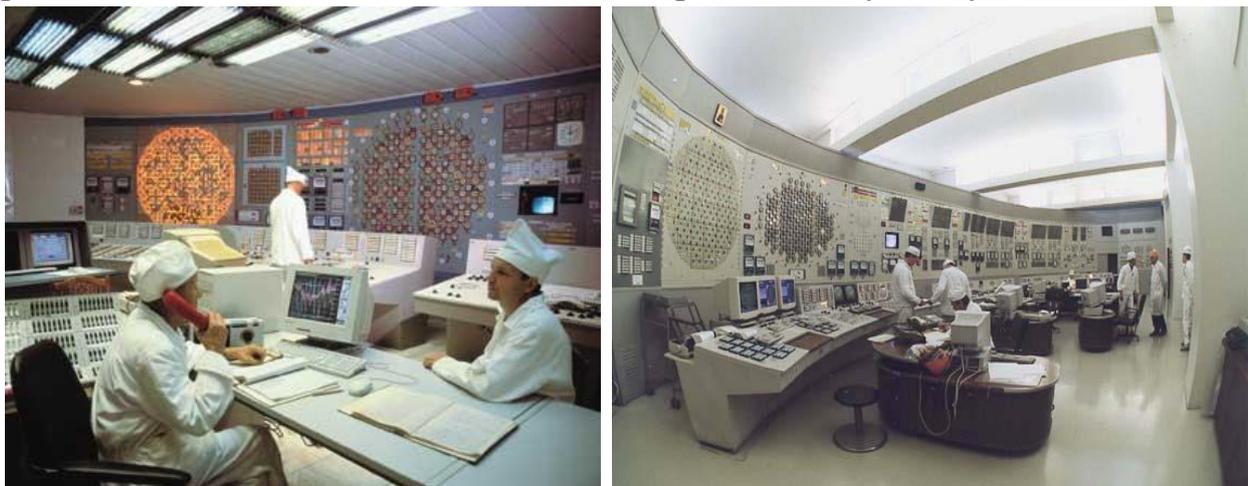


Рис. 1.8. Загальний вид БЦК вітчизняного блоку 200 МВт з прямоточним котлом і теплофікаційною турбіною при шинній архітектурі реалізації системи автоматизації теплоенергетичного устаткування

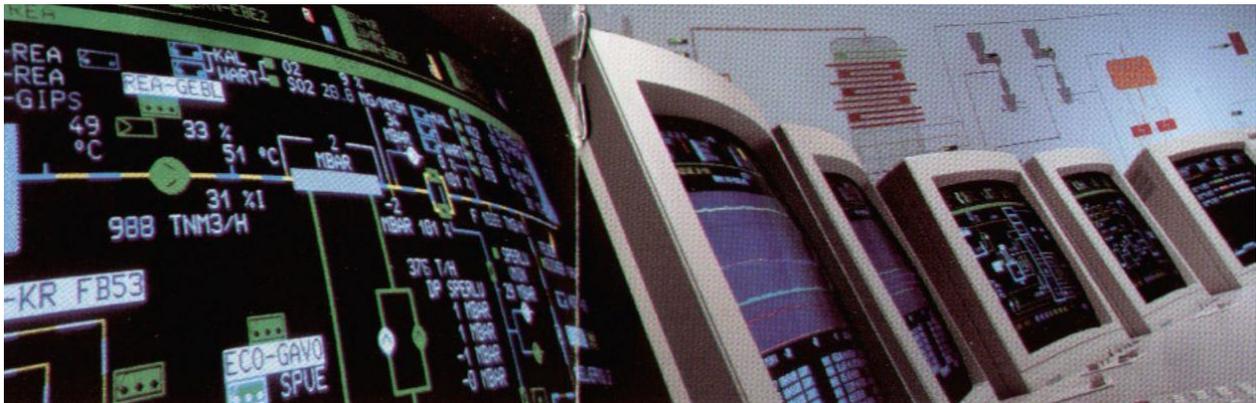


Рис. 1.9. Світлина центрального щита керування фірми Siemens

Для порівняння на рис. 1.9 наведена світлина центрального щита керування фірми Siemens. Для ілюстрації принципу показу інформації оператору про хід технологічного процесу на рис. 1.10 - 1.13 показані відеограми ділянок керування. Відеограми розроблені для однієї вітчизняної електростанції з поперечними зв'язками. При шинній архітектурі сигналізація порушень ходу технологічного процесу виконана на відеограмах шляхом пульсації параметра й зміни кольору його значення.

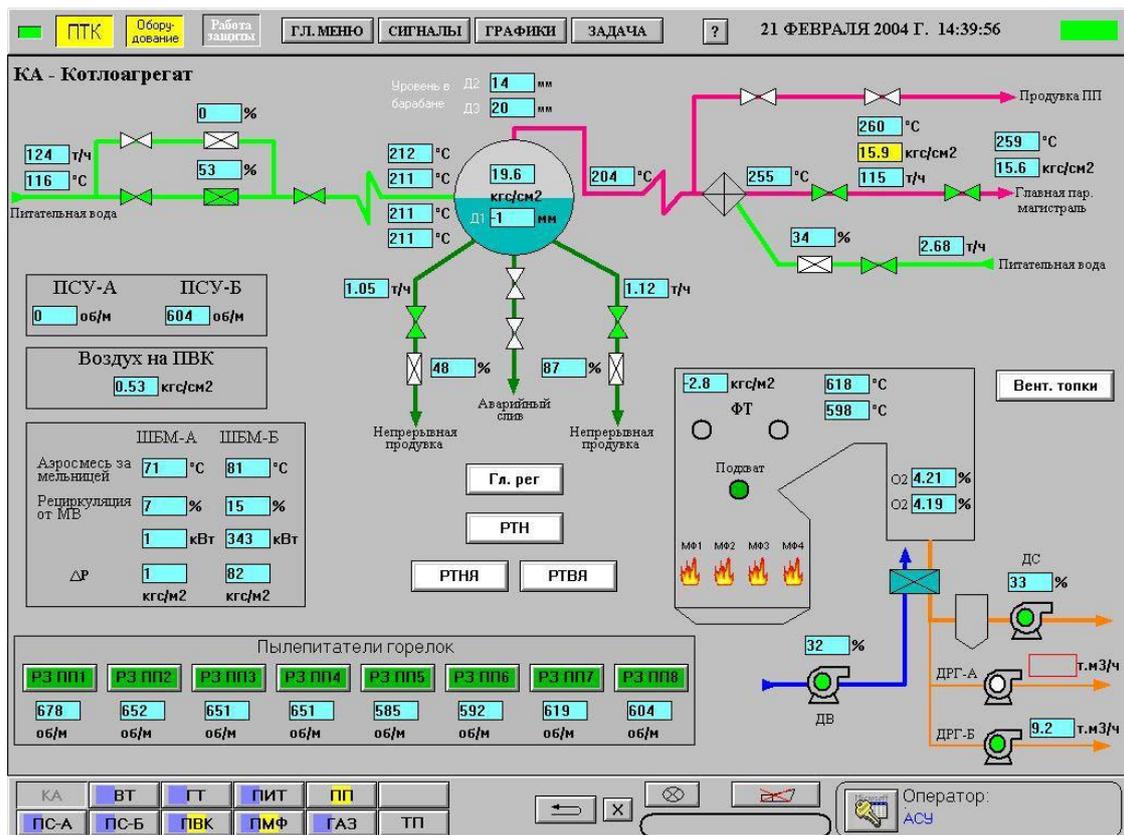


Рис. 1.10.

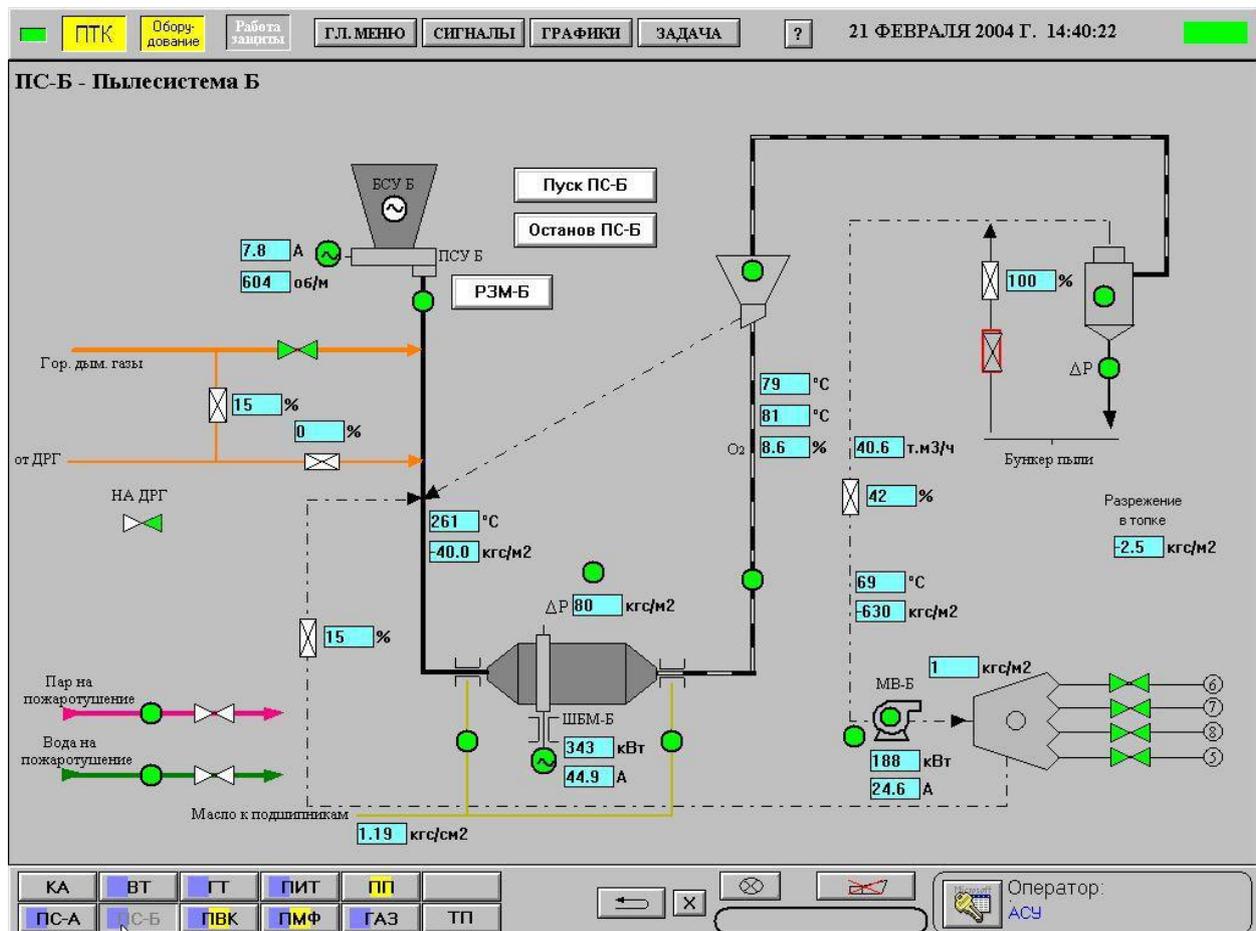


Рис. 1.11

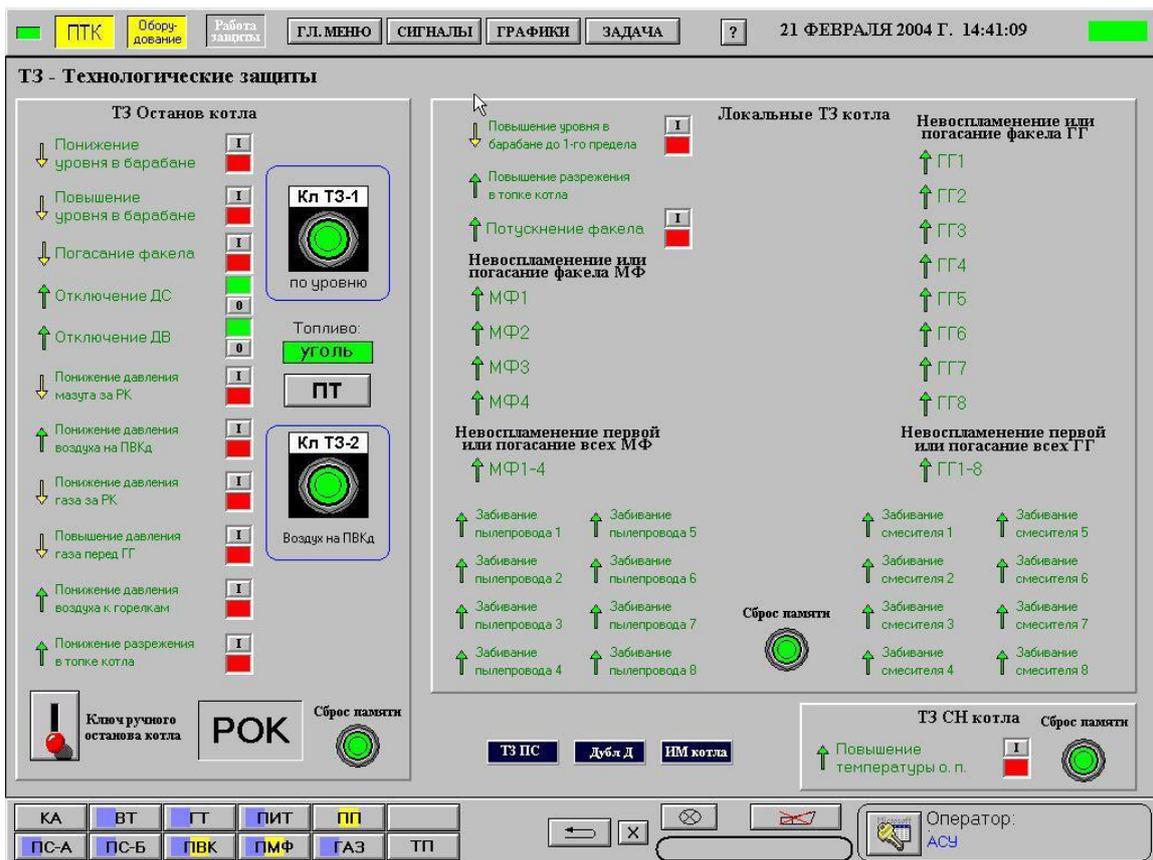


Рис. 1.12

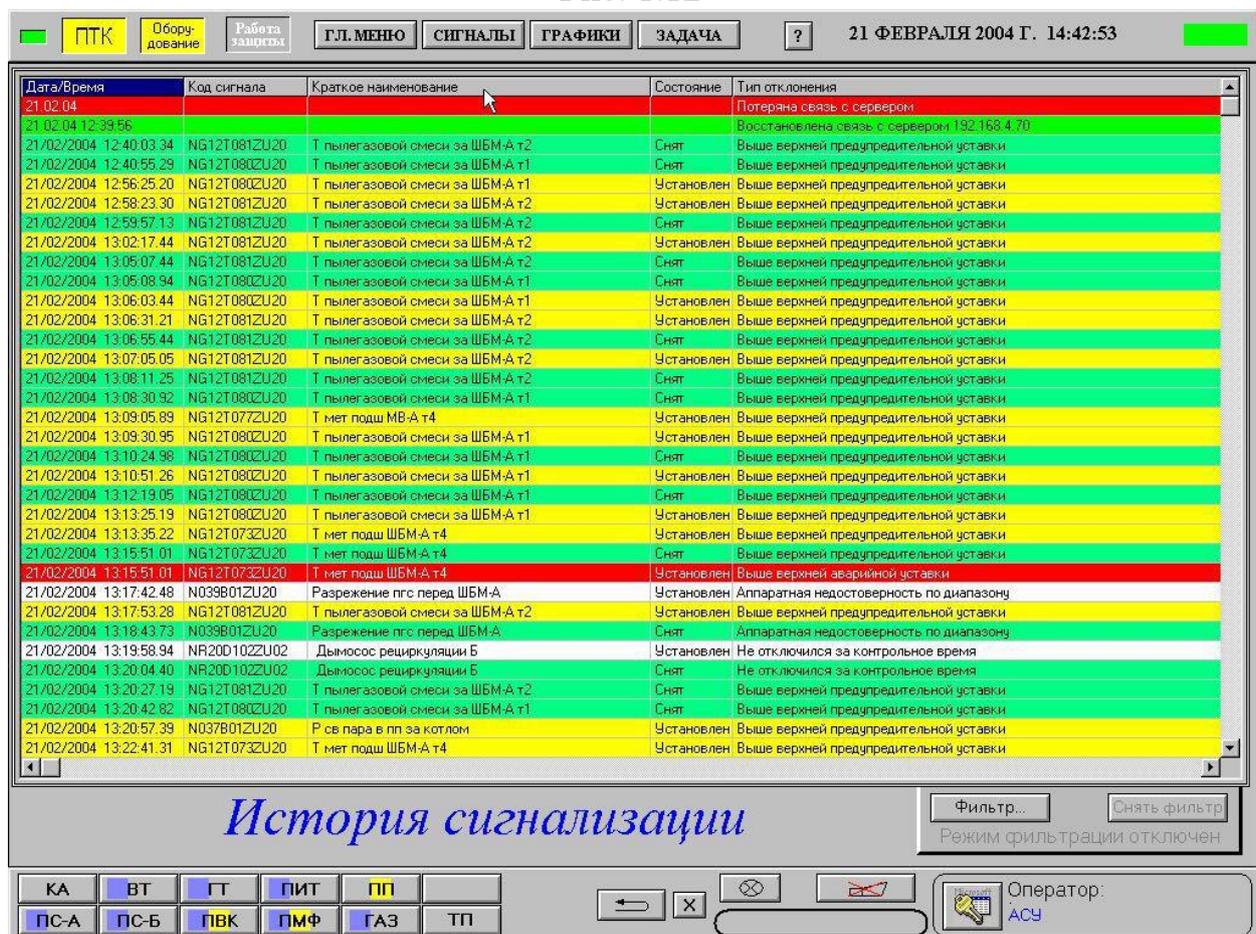


Рис. 1.13

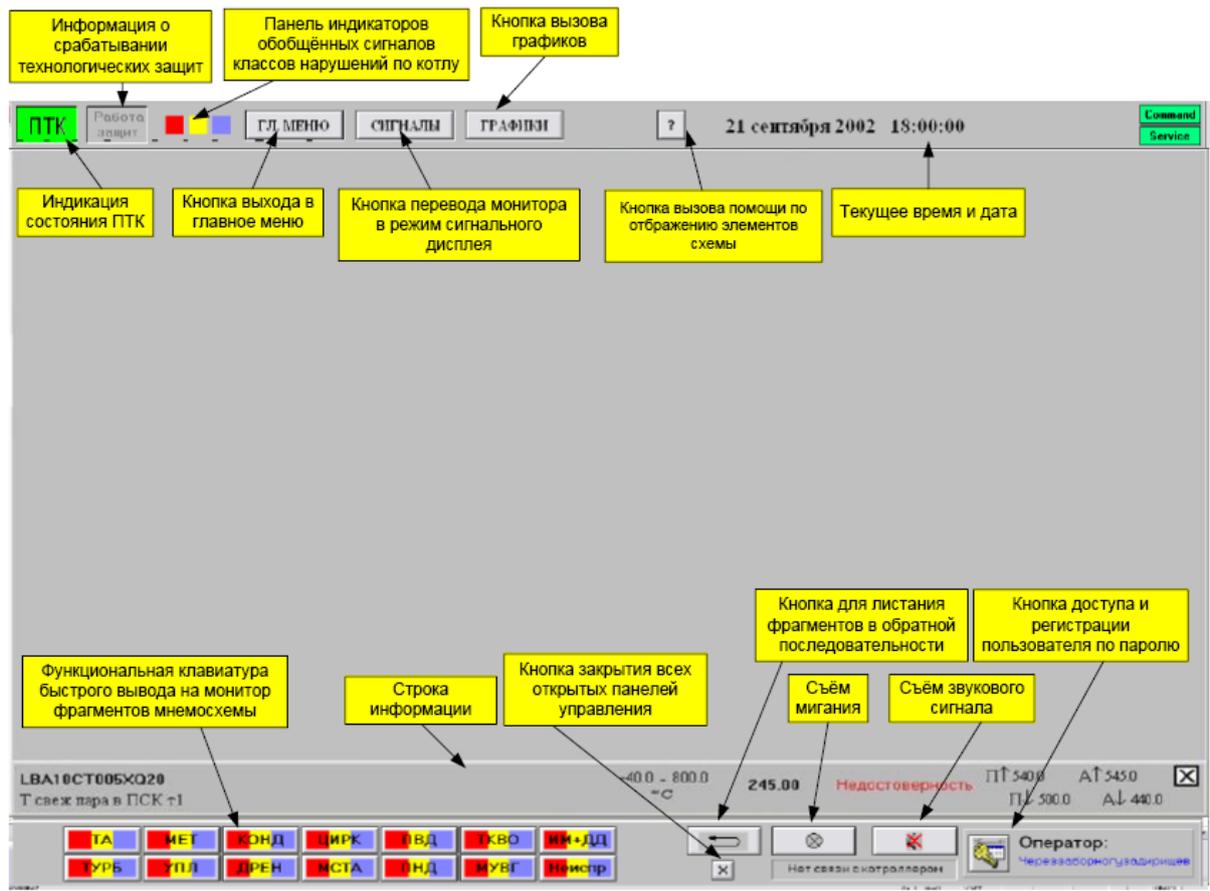


Рис. 1.14. Экране меню АРМ

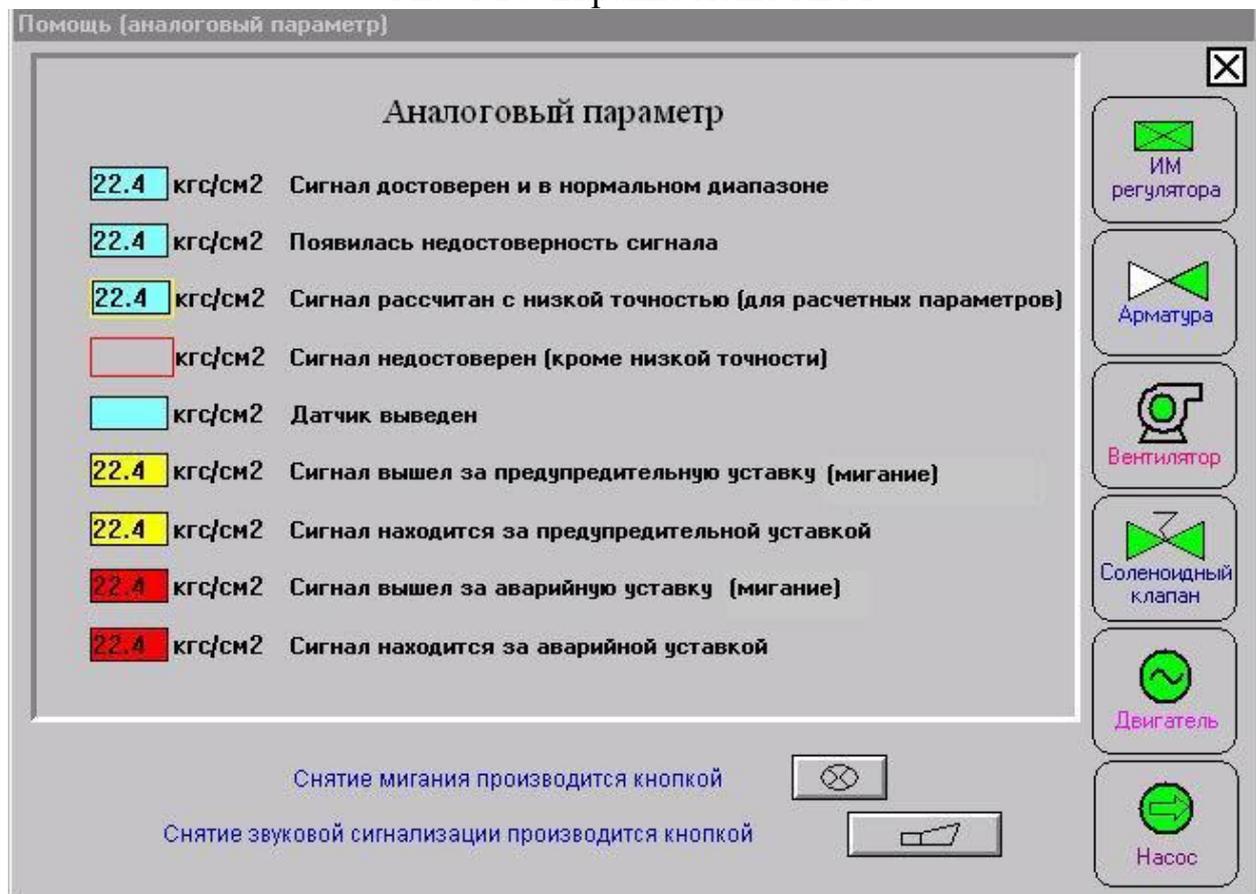


Рис. 1.15. Вікно відбиття аналогових параметрів

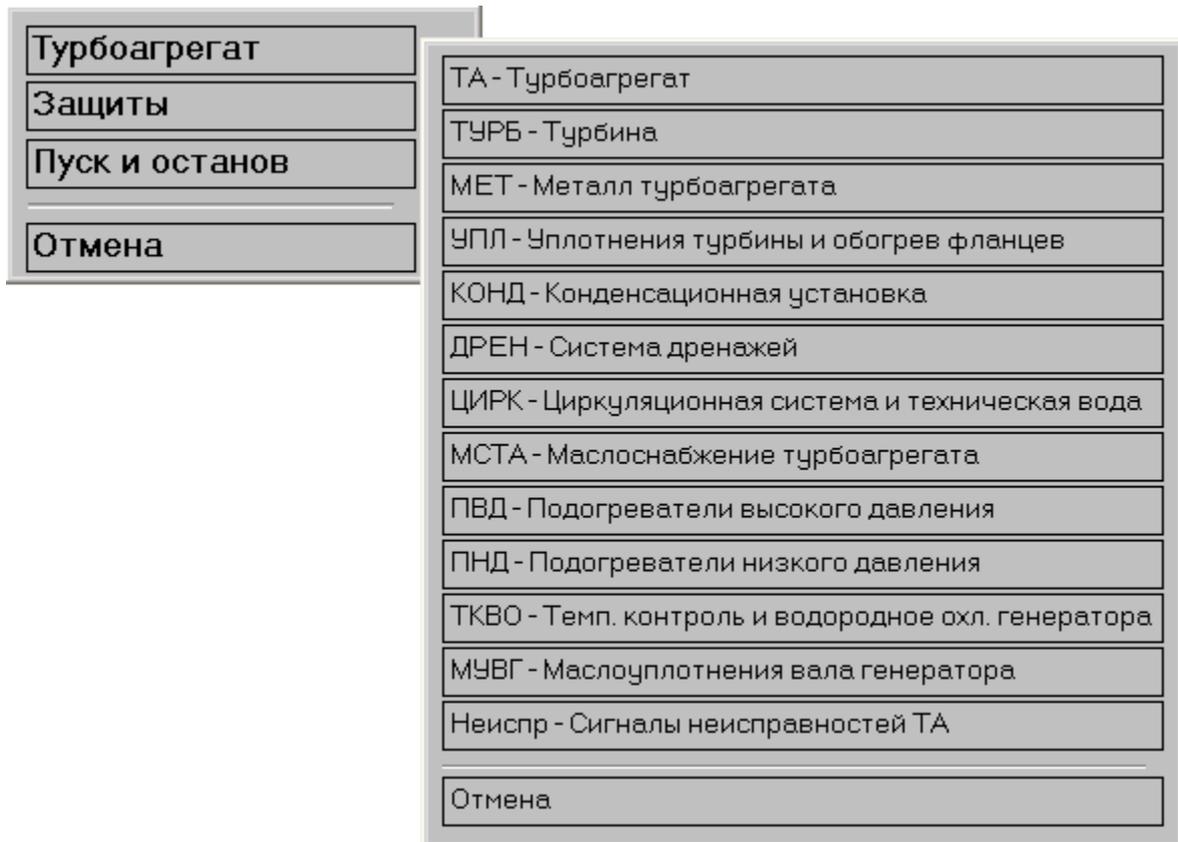


Рис. 1.16. Меню выбору видеокадру

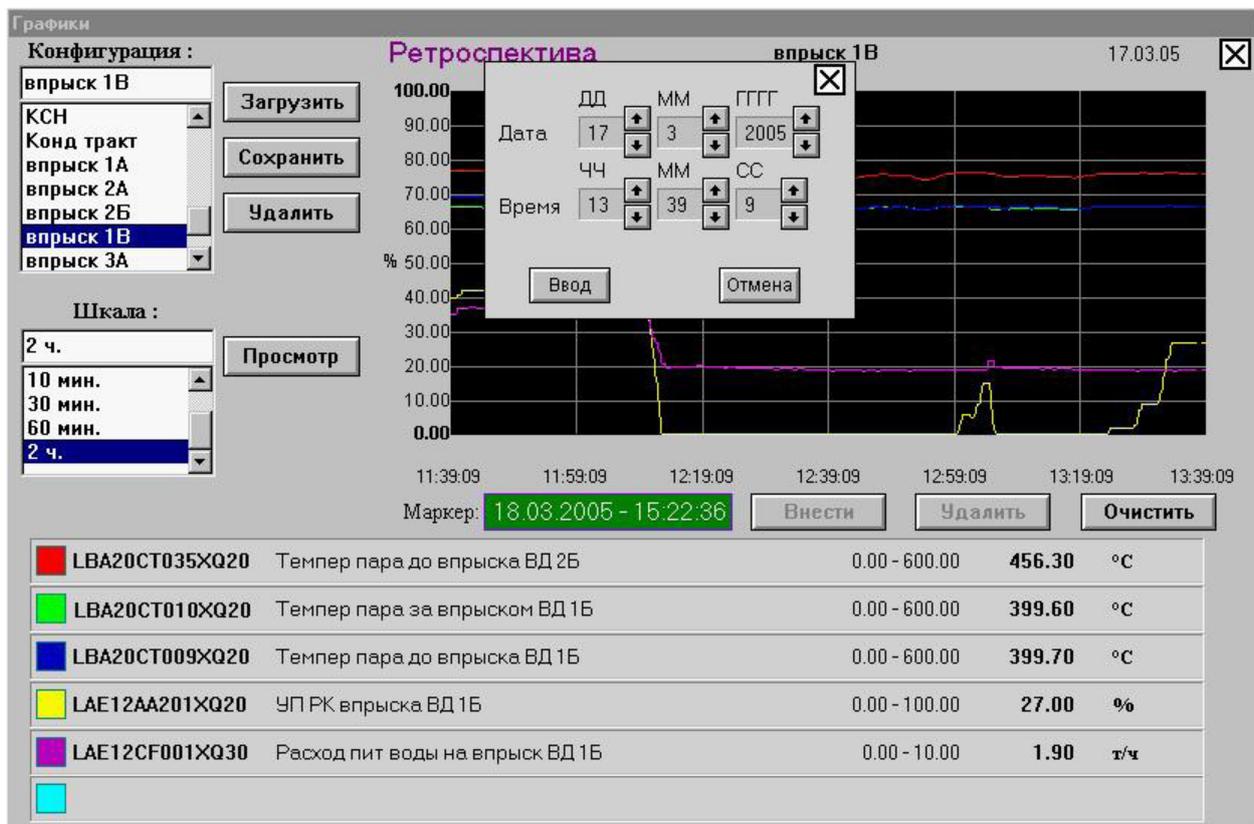


Рис. 1.17. Графік ретроспективи

Покажемо принципи зміни ідеології керування при використанні мікропроцесорної техніки на прикладі організації обслуговування турбіни електростанції з поперечними зв'язками. Для реалізації керування в структурі АСК ТП призначене автоматичне робоче місце оператора-технолога турбіни (АРМ). Воно дозволяє використовувати наступні функції системи:

- інформаційно-обчислювальні; вимірювальні (ІВ);
- технологічні захисти, блокування (ТЗ і Б), попереджувальну і аварійну сигналізацію про відхилення параметрів і стану устаткування турбоагрегату;
- дистанційне керування механізмами й арматурами (ДУ);
- керування автоматичними системами регулювання (АСР) з перемиканням режимів їх роботи;
- функціонально-групового керування (ФГК) пуско-зупинними операціями;
- контроль стану комплексу технічних засобів (КТС) АСК ТП.

На рис. 1.14 показане екранне меню АРМ. На рис. 1.16 наведене вікно відбиття аналогових параметрів. У нормальному стані параметр підсвічується блакитним кольором. При виході параметра за установку попереджувальної сигналізації, значення параметра підсвічується миготливим жовтим кольором на сірому тлі. При перевищенні аварійної установки на сірому тлі значення параметра підсвічується червоним миготливим кольором. У випадку виявлення невірогідності сигналу вікно параметра починає миготіти блакитним кольором на сірому тлі. У випадку виходу з ладу датчика, вікно параметра відображається блакитним кольором без значення параметра. Миготіння вікна знімається оператором.

На рис. 1.16 наведене меню вибору відеокадру. На рис. 1.17 показаний графік ретроспективи. Піктограма керування запірної засувки з електроприводом наведена на рис. 1.18.

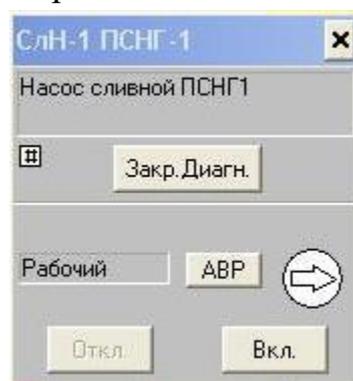


Рис. 1.18. Піктограма керування запірної засувки з електроприводом



## Структура засобів автоматизації. Регулюючі органи теплоенергетичних установок

### 2.1. Структура засобів автоматизації

Автоматизацією механізованого виробництва називають керування машинами, механізмами та установками і контроль їх роботи за допомогою спеціальних обладнань (від найпростіших автоматів до сучасних керуючих обчислювальних машин) без участі людини або при обмеженій його участі. Фактично під автоматизацією слід розуміти правильне безаварійне ведення того або іншого технологічного процесу без участі персоналу або при його обмеженій участі.

Виконання автоматизації того або іншого технологічного процесу на діючому устаткуванні має на увазі наявність усіх необхідних засобів автоматизації, що утворюють певну структуру.

Структура засобів автоматизації містить у собі:

- 1) автоматичний контроль усіх необхідних параметрів (інформаційний контроль);
- 2) технологічну сигналізацію;
- 3) автоматичні захисти;
- 4) автоматичні блокування;
- 5) дистанційне керування;
- 6) автоматичне керування (автоматичне регулювання).

Автоматичний контроль параметрів – це вимір тих величин, які характеризують правильне ведення технологічного процесу, а також тих величин, які необхідно регулювати. В теплоенергетиці до параметрів, як правило, відносять тиск різних середовищ, їх витрату, рівень рідких і сипучих середовищ, температуру середовищ, концентрацію будь-яких компонентів у рідинах або газах і т.п. Для виміру цих параметрів випускаються різні контрольно-вимірювальні прилади.

Контрольно-вимірювальні прилади можуть бути встановлені на устаткуванні або на щитах контролю і керування; для зручності спостереження за ходом процесу їх звичайно відносять на відстань від працюючого устаткування. Основна маса приладів виноситься на щити й називається вторинними вимірювальними приладами. Первинними приладами є датчики для виміру параметрів з перетворювачами різного типу для передачі показань на відстань (до вторинних вимірювальних приладів і регуляторам).

Датчики звичайно мають у своєму складі чутливий елемент і один або кілька перетворювачів (рис. 2.1). Чутливі елементи відрізняються залежно від вимірюваного параметра. Перетворювачі переводять сигнали від чутливого

елемента у вид енергії (звичайно електричної), зручної для дистанційної передачі показань.

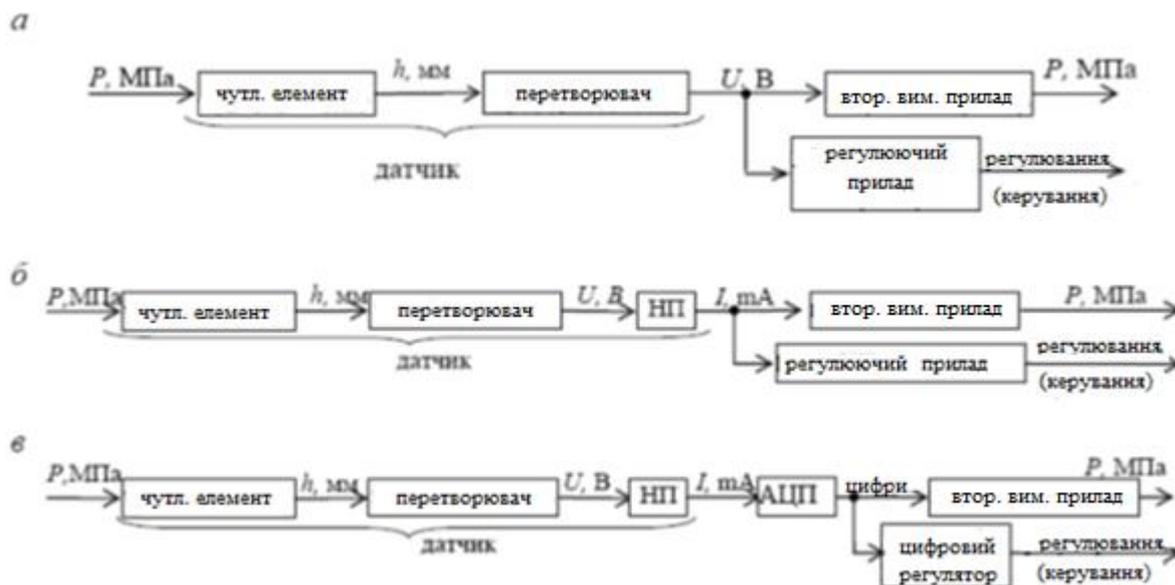


Рис. 2.1. Структурні схеми датчика тиску:

*а* — с одним перетворювачем; *б* — с двома; *в* — с трьома:

*P* — тиск; *h* — переміщення; *U* — напруга (електричний сигнал)

Сьогодні випускаються датчики з уніфікованими нормованими вихідними сигналами. У якості уніфікованих сигналів частіше використовуються струмові сигнали (0–5 мА; 4–20 мА) або за напругою. У такому випадку в структурній схемі датчика з'являється ще один перетворювач (рис. 2.1, б), який називають нормуючим (НП — нормуючий перетворювач).

При використанні цифрових вимірювальних приладів необхідно уніфіковані аналогові сигнали переводити в цифрові. На схемі (рис. 2.1, в) з'являється ще один перетворювач - аналого-цифровий (АЦП – аналого-цифровий перетворювач).

Нормуючі АЦП можуть бути окремими обладнаннями, можуть бути вбудовані у вторинні вимірювальні прилади, можуть бути вбудовані в датчики.

**Вимір тиску.** В якості чутливого елемента використовуються одновиткові або багатовиткові трубчасті пружини, мембрани, сильфони, які переводять сигнал за тиском в переміщення. Для перетворення сигналів переміщення *h* в електричний вид використовуються реостатні, індукційні, диференціально-трансформаторні, феродинамічні, тензометричні перетворювачі і т. п.

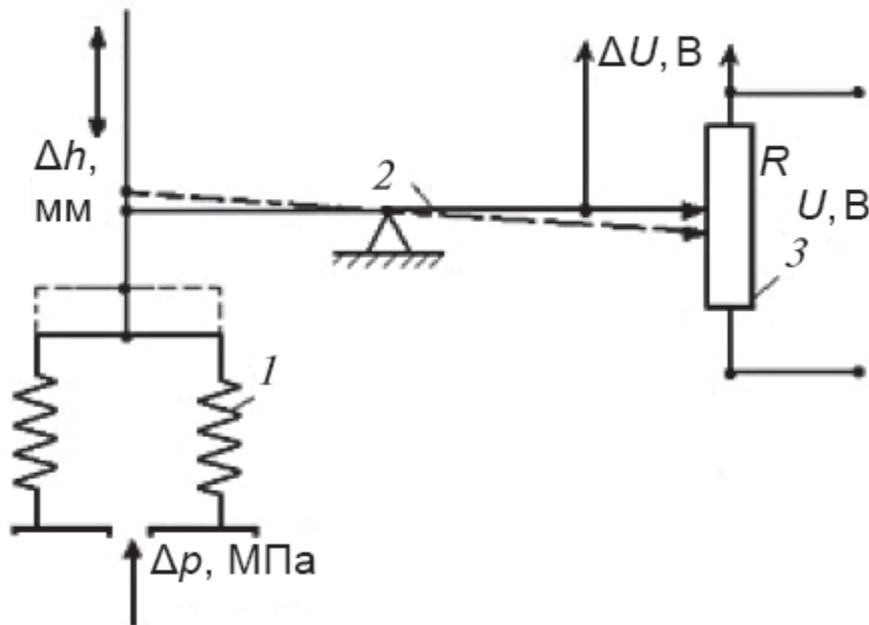


Рис. 2.2. Схема побудови датчика тиску

1 — сильфон (чутливий елемент); 2 — важіль перетворювача;  
 3 — реостатний перетворювач (2 і 3 — перетворювач);  $\Delta p$  — діапазон зміни тиску;  
 $\Delta h$  — діапазон переміщень сильфона;  $\Delta U$  — діапазон змін вихідного електричного  
 сигналу

Приклад побудови датчика тиску із сильфоном у якості чутливого елемента показаний на рис. 2.2. Аналогічно будуються датчики для виміру напорів і розряджень.

**Вимір витрат.** Існують різні способи виміру витрат рідин: за перепадом тиску на діафрагмі, вихрові витратоміри, ультразвукові, електродинамічні і т.п. Дотепер найпоширенішим і надійним способом виміру є вимір витрат газів і рідин за допомогою діафрагм, встановлених у трубопроводі. Розрахунки масових витрат зручно робити за формулами

$$Q = K\sqrt{\rho\Delta p_d} \quad (2.1)$$

$$Q = K'\sqrt{\Delta p_d} \quad (2.2)$$

де  $K, K'$  — константи;  $\rho$  — щільність середовища;  $\Delta p_d$  — перепад тиску на діафрагмі.

Формула (2.2) дозволяє розраховувати витрати тільки за перепадом тиску  $\Delta p_d$ , якщо тиск і температура середовища рівні тем значенням, які були задані при розрахунках діафрагми. Якщо тиск і температура середовища будуть відрізнятися від розрахункових значень, то необхідно вводити виправлення на зміну щільності середовища (формула (2.1)). У цей час з'явилася можливість точного виміру витрати при змінних тисках і температурах середовищ за формулою (2.1) при цифрових вимірах. У формулу вводиться вираження для розрахунків щільності (газу, пари,

рідини). Датчиками для виміру перепаду тиску служать диференціальні манометри ДМ, "Сапфір 22 -ДД", "Сапфір 22 -ДР", "Метран" і ін.

**Вимір рівня рідини.** Для виміру рівня рідин звичайно використовується перепад тиску, створюваний різницею стовпів рідин в імпульсних лініях, який виміряється датчиками перепаду тиску. Один рівень робиться постійним, а інший - змінним (рівень води в барабані парового котла, у деаераторах, у баках). Існують й інші методи виміру рівня рідини, які використовуються на конкретному устаткуванні.

**Вимір температур.** Для виміру температур з передачею показань на відстань найчастіше використовуються термопари і термометри опору.

Основна ідея виміру за допомогою термопари полягає у використанні ефекту Зеєбека. Якщо одні кінці двох різнорідних матеріалів (проводів) зварити і занурити в гаряче середовище з температурою  $t_r$ , то на інших кінцях проводів, що перебувають при температурі навколишнього середовища  $t_x$ , з'явиться термо- ЕРС, яка пропорційна різниці температур  $t_r$  і  $t_x$

$$= k(t_r - t_x) \quad (2.3)$$

де  $k$  — коефіцієнт пропорційності.

У теплоенергетиці використовуються найчастіше три типи термопар:

- 1) термопара «хромель–алюмель» (ТХА). Діапазон тривалого виміру температур 0–800 °С;
- 2) термопара «хромель–копель» (ТХК). Діапазон тривалого виміру температур 0–600 °С;
- 3) термопара «платинородій–платина» (ТПП). Діапазон виміру температур 0–1400 °С.

Вторинними приладами служать мілівольтметри і автоматичні потенціометри.

Для виміру температур використовується залежність зміни електричного опору провідника від температури (термометри опору)

$$R_t = R_0(1 + \alpha t) \quad (2.4)$$

де  $R_0$  — опір провідника при постійній температурі (наприклад, 0 °С);

$\alpha$  — коефіцієнт, що враховує зміна опору провідника при зміні температури на 1 °С;

$t$  — температура середовища, °С.

У теплоенергетиці знайшли застосування два типи термометрів опору:

- 1) термометр опору мідний (ТОМ), який використовується в діапазоні зміни температур 0-180 °С;
- 2) термометр опору платиновий (ТОП), у діапазоні температур 0-500 °С. Вторинними приладами служать логометри та автоматичні мости.

**Вимір концентрацій.** Датчиками для виміру концентрацій служить спеціально створюване обладнання, яке використовується тільки для того фізико-хімічного процесу, який закладений у метод виміру. Будь-якого єдиного способу виміру концентрацій немає.

У котловій техніці звичайно необхідно вимірювати концентрацію солей у котловій воді і концентрацію кисню в димових газах.

Робота датчика концентрації солі у котловій воді (солевміст котлової води) заснована на зміні електропровідності води залежно від вмісту солей.

Для виміру концентрації вільного кисню в димових газах використовується електрохімічний датчик (ЕХД). Принцип його роботи полягає в тому, що при різних концентраціях вимірюваного середовища на поверхнях стінки датчика, що перебуває при температурі приблизно  $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ , виникає різниця потенціалів, яка пропорційна різниці концентрацій (рис. 2.3).

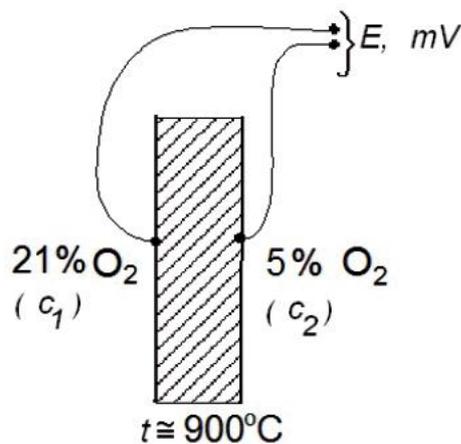


Рис. 2.3. Принцип виміру концентрації кисню у димових газах

Значення термо- ЕРС досить велике і може бути використане для виміру і регулювання.

Контрольно-вимірювальні прилади випускаються з різними функціями, які вони виконують:

- 1) показують (мають шкалу і стрілку);
- 2) реєструють (додатково записують на діаграму);
- 3) інтегрують (мають лічильник кількості середовища, що протікає);
- 4) сигналізують (використовуються в схемах захистів і сигналізації);
- 5) регулюють (використовуються для цілей регулювання параметрів).

Технологічна сигналізація служить для оповіщення персоналу про зміни в режимах роботи устаткування. Вона поділяється на основні види:

- 1) контрольна;
- 2) попереджувальна;
- 3) аварійна.

Контрольна сигналізація сповіщає персонал про включення, відключення або перемикання в роботі того або іншого устаткування. Сигналізація може бути світловою – це лампи зеленого або червоного кольору. За сигналізацією судять про те, включене устаткування або

відключене. Контрольна сигналізація завжди супроводжує дії дистанційного керування.

Попереджувальна сигналізація попереджує персонал про відхилення в режимі роботи устаткування, які можуть привести до аварії. Вона спрацьовує по відхиленню параметрів до 1-ї припустимої межі. Сигналізація може бути світлова і звукова. Світлова – запалюється світлове табло попереджувальної сигналізації на щиті КВП і А з висвітленням параметра, який став причиною спрацьовування сигналізації. Звукова - електричний дзвінок. При спрацьовуванні цієї сигналізації персоналу дається час для вживання заходів щодо відновлення нормального технологічного режиму роботи. Прикладом попереджувальної сигналізації служить її спрацьовування за відхиленням рівня води в барабані котла до 1-ї припустимої межі ( $\Delta H_6 = (\pm 70)$  мм Н<sub>2</sub>О від нормального).

Аварійна сигналізація сповіщає персонал про те, що спрацював автоматичний аварійний захист, який відключив основне устаткування. Ця сигналізація також може бути світловою та/або звуковою. Світлова - запалюється світлове табло аварійної сигналізації із вказівкою причини спрацьовування захисту. Звукова – включається електричний дзвінок голосного бою, гудок або сирена, тобто звук, відмінний від спрацьовування попереджувальної сигналізації.

Автоматичні захисти призначені для захисту працюючого устаткування від виникнення аварій. Вони підрозділяються на два види:

- 1) локальні (або місцеві) захисти;
- 2) основні (або аварійні) захисти.

Локальні захисти включають, відключають або перемикають частину працюючого устаткування при виході деяких параметрів за припустимі межі. Основне устаткування продовжує працювати. При відновленні параметра локальні захисти відключаються.

Приклади локальних захистів:

1) установка запобіжних клапанів за тиском пари на барабані котлів і за пароперегрівником. При підвищенні тиску понад припустимий, запобіжні клапани відкриваються, тиск у котлі скидається до нормального, клапани закриваються. Котел (основне устаткування) продовжує працювати;

2) при підвищенні рівня води в барабані котла до 2 -ї припустимої межі ( $\Delta H_6 > 100 \dots 120$  мм Н<sub>2</sub>О) локальний захист відкриває аварійний злив з барабана котла. При відновленні рівня води аварійний злив закривається. Котел продовжує працювати;

3) при виході з ладу одного з робочих живильних насосів (падає тиск води на нагнітанні) локальний захист включає резервний живильний насос і після виходу його на робочий режим відключає несправний (АВР насосів);

4) переведення котла на 50 % навантаження у разі виходу з ладу одного із двох працюючих вентиляторів або димососів.

Основні (аварійні) захисти відключають основне устаткування, запобігаючи розвитку аварій. Завданням спрацьовування аварійного захисту

є відключення подачі енергії на основне устаткування (електроенергії, палива і т.п. ). Прикладом спрацьовування аварійного захисту є відключення парового котла при виході деяких параметрів за припустимі межі (тиск газу на пальнику, зниження або підвищення рівня води в барабані котла, загасання смолоскипа в топці і т.п. ). Захист відключає подачу палива. Спрацьовування аварійного захисту завжди супроводжується спрацьовуванням аварійної сигналізації.

Параметри, за якими спрацьовує попереджувальна сигналізація або захист, визначаються для конкретного устаткування згідно з технологією його роботи.

Автоматичні блокування призначені для захисту устаткування від неправильних дій персоналу. Вони підрозділяються на два види:

- 1) заборонено-дозволяюче блокування;
- 2) аварійне блокування.

Заборонено-дозволячі блокування призначені для захисту устаткування при ручних запусках усього устаткування в роботу і ручних відключеннях. Ручні включення і відключення устаткування повинні проводитися в правильній технологічній послідовності. Порушення цієї послідовності може привести до неприємних наслідків, у тому числі до аварій. Якщо включення проводяться правильно, то блокування дозволяють проводити наступний крок включення (відключення), а якщо неправильно, то блокування забороняє (не дає) робити наступний крок включення (відключення).

Прикладом заборонено-дозволяючих блокувань можуть служити включення в роботу системи паливоподачі на котлах, що працює на твердому паливі. Від вугільного складу до вугільних бункерів котлів існує три стрічкові транспортери (1, 2 і 3). Правильний порядок включення: 1) включити третій транспортер, що розподіляє вугілля за бункерами котлів; 2) включити другий (проміжний) транспортер, що подає вугілля після дробарки на третій транспортер; 3) включити перший транспортер, що подає вугілля з вугільного складу.

При порушенні порядку включення транспортерів, оператор не зможе цього зробити, інакше може бути завал вугіллям системи паливоподачі (аварія).

Відключення працюючої системи паливоподачі повинне проводитися у зворотному порядку.

Аварійні блокування роблять автоматично (без участі персоналу) усі необхідні дії щодо повної зупинки устаткування після спрацьовування аварійного захисту. Прикладом автоматичного блокування може служити зупинка барабанного парового котла з пароперегрівником, що працює на загальну парову магістраль.

Основний (аварійний) захист відключає подачу палива і повітря (вентилятор). Аварійні блокування закривають головну парову засувку, відключаючи котел від парової магістралі; відкривають продувку

пароперегрівника; закривають впорскування конденсату на пароохолодник; прикривають подачу живильної води; закривають подачу газу на пальники і т. п.

Дистанційне керування – це ручне керування на відстані різними механізмами (насосами, вентиляторами, димососами, електрифікованими засувками і т.п.). Дистанційне керування використовується і як резерв при тимчасовому виході з ладу автоматичного керування (автоматичного регулювання).

Дія дистанційного керування завжди супроводжується спрацьовуванням контрольної сигналізації.

Під автоматичним керуванням розуміють ведення складного технологічного процесу без участі персоналу, основним завданням якого є вироблення і реалізація таких завдань, які за даних умов забезпечують найбільш ефективно досягнення поставленої мети. Цілями керування технологічним процесом можуть бути: підтримка значення деякої фізичної величини із заданою точністю; зміна величини за певною наперед заданою програмою; підтримання оптимального значення величини або деякого узагальнюючого критерію, максимальної продуктивності, мінімальних витрат енергії на вироблення продукту і т.п..

У простих випадках, коли потрібно підтримувати параметр на постійному значенні або змінювати його за певною закономірністю, автоматичне керування називають автоматичним регулюванням.

## **2.2. Регулюючі органи теплоенергетичних установок**

З теорії автоматичного регулювання, розгляду структурної схеми САК і її технічної реалізації випливає, що виконавчі механізми управляють переміщенням регулюючих органів вбік відновлення матеріального або енергетичного балансів на припливі середовища або енергії в об'єктах регулювання (керування) у перехідних режимах їх роботи. Оскільки потоки матеріальних або енергетичних середовищ у теплоенергетичних установках можуть бути найрізноманітнішими (вода, пара, газ, повітря і т.п. ), регулюючі органи можуть мати різне конструктивне оформлення для вирішення конкретних завдань регулювання.

Регулюючим органом називається обладнання, що дозволяє змінювати витрату або напрямок потоку енергії або речовини відповідно до вимог технологічного процесу.

Регулюючі органи теплоенергетичних установок можна розділити на три групи:

- 1) регулюючі органи дросельного типу;
- 2) регулюючі органи об'ємного типу;
- 3) регулюючі органи швидкісного типу.

Регулюючі органи дросельного типу змінюють витрату середовища за рахунок зміни швидкості та площі перетину потоку при проходженні його

через дросельне обладнання, гідравлічний опір якого є змінною величиною (вентилі, клапани і шибери) (рис. 2.4).

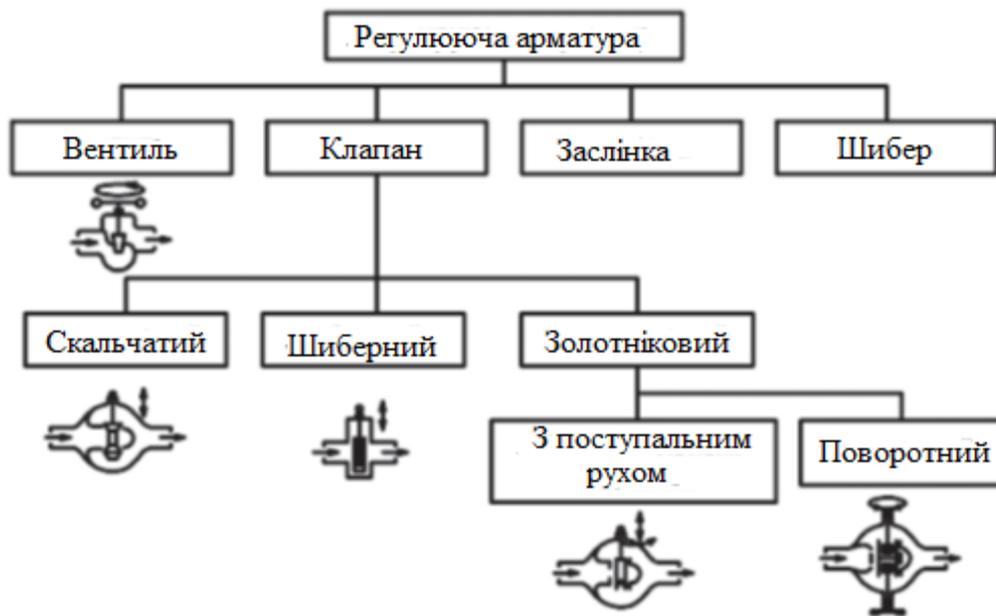


Рис.2.4. Типи регулюючих арматур

Масова витрата речовини через дросельний регулюючий орган, кг/с, визначається за формулою

$$G = \mu_{об} F_{ро} \sqrt{2\Delta p_{ро} \rho} \quad (2.5)$$

а об'ємна витрата, м<sup>3</sup>/с, —

$$Q = \mu_{об} F_{ро} \sqrt{2\Delta p_{ро} / \rho} \quad (2.6)$$

де  $\mu_{об}$  — коефіцієнт витрати, під якою розуміють відношення дійсної витрати середовища до розрахункової;  $F_{ро}$  — площа відкриття регулюючого органа, м<sup>2</sup>;  $\Delta p_{ро}$  — гідравлічний опір дросельного обладнання, Па (Н/м<sup>2</sup>);  $\rho$  — густина речовини, кг/м<sup>3</sup>.

Регулюючі органи об'ємного типу змінюють витрату середовища за рахунок зміни її обсягу (стрічкові живильники сипучих середовищ при постійній швидкості переміщення стрічки). Об'ємна витрата сипучого середовища, м<sup>3</sup>/с, визначається за рівнянням

$$Q = Fv \quad (2.7)$$

де  $F$  — регульована площа перетину потоку, м<sup>2</sup>;  $v$  — постійна швидкість потоку, м/с.

Регулюючі органи швидкісного типу змінюють продуктивність транспортуючого обладнання за рахунок швидкості його обертання (переміщення). До регулюючих органів цього типу відносять обладнання регулювання частоти обертання двигунів (насосів, вентиляторів, димососів, живильників). Необхідна зміна витрат визначається за рівнянням

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (2.8)$$

де  $Q_1, Q_2$  — об'ємні витрати,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $n_1, n_2$  — число оборотів двигунів, об/хв.

Регулюючі органи разом з вимірювальним обладнанням виконавчого механізму, регулюючим блоком через технологічний процес створюють замкнену систему регулювання, тобто систему, за допомогою якої проводиться підтримка на заданому рівні однієї або декількох величин, що характеризують оптимальний режим цього процесу. Отже, кожна функціональна ланка регулятора, так само як і сам процес, не тільки беруть участь у роботі системи регулювання, але й впливають на якість регулювання залежно від статичних і динамічних властивостей кожної ланки та процесу.

Об'єкти регулювання бувають лінійними і нелінійними. Нелінійність об'єкта регулювання найчастіше визначається шляхом зміни навантаження на об'єкт, що у свою чергу викликає зміну його коефіцієнта передачі  $K_{об}$ . Крім цього, на  $K_{об}$  впливають викривлення, внесені нелінійністю самого регулюючого органа. Якщо зневажити часом запізнювання  $\tau$  і постійною часу системи, то якість і стійкість регулювання будуть визначатися як

$$K_c = K_{об}K_p \quad (2.9)$$

де  $K_c$  — коефіцієнт передачі системи регулювання;  $K_{об}$  — коефіцієнт передачі об'єкта;  $K_p$  — коефіцієнт передачі регулятора.

При зміні  $K_{об}$  для одержання якісного регулювання необхідно змінити  $K_p$  так, щоб  $K_c = \text{const}$ . Коефіцієнт передачі об'єкта  $K_{об}$  можна визначити через рівність

$$K_{об} = K_a K_{p,о} \quad (2.10)$$

де  $K_a$  — коефіцієнт передачі агрегату (апарата), для якого застосована система регулювання;  $K_{p,о}$  — коефіцієнт передачі регулюючого органа.

Таким чином, щоб зберегти сталість  $K_a$  і  $K_{об}$ , крім добору коефіцієнту передачі регулятора  $K_p$  (параметра настроювання регулятора), необхідно також підібрати регулюючий орган з такою статичною характеристикою, яка б компенсувала зміни  $K_p$  і  $K_{об}$  для збереження  $K_c = \text{const}$ .

З розглянутого вище випливає, що для об'єктів з лінійною характеристикою і при малозмінному навантаженні регулюючий орган необхідно вибирати з лінійною характеристикою, а для об'єктів з нелінійною характеристикою регулюючий орган повинен мати нелінійну характеристику, причому вона повинна бути дзеркальним відображенням характеристики об'єкта.

Для об'єктів з великою зміною навантаження завдання вибору характеристики регулюючого органа значно ускладнюється і практично повністю вирішено бути не може. Воно приблизно може бути вирішене розрахунковим шляхом при створенні певного (спеціального) профілю регулюючого органа.

Дія регулюючого органа визначається його статичними характеристиками, до яких відносять:

- 1) діапазон регулювання;
- 2) робочу видаткову характеристику.

Під діапазоном регулювання  $R_{p.o}$  розуміють відношення максимальної витрати середовища до мінімального, відповідно до переміщення регулюючого органа з одного крайнього положення (максимально «відкрите»  $x_{p.o}^{\max}$ ) в інше (мінімально "закрите"  $x_{p.o}^{\min}$ ) для регулюючих органів дросельного і об'ємного типів або зміни числа оборотів від максимуму до мінімуму для регулюючих органів швидкісного типу.

$$R_{p.o} = \frac{Q_{\max}}{Q_{\min}} \quad (2.11)$$

$$R_{p.o} = \frac{G_{\max}}{G_{\min}} \quad (2.12)$$

Під робочою видатковою характеристикою розуміють залежність витрати середовища  $Q$  ( $G$ ) від положення регулюючого органа  $x_{p.o}$ , знятої в робочих умовах (тобто з урахуванням опору трубопроводу, на якому встановлений регулюючий орган)

$$Q = f(x_{p.o}); G = f(x_{p.o}). \quad (2.13)$$

При виборі налагодження регулюючих органів прагнуть одержати достатній діапазон регулювання для можливості керування процесом при всіх режимах і навантаженнях агрегату (діапазон регулювання регулюючого органа  $R_{p.o}$  повинен бути більше діапазону зміни навантажень агрегату  $R_{об}$ ) і лінійну робочу видаткову характеристику в межах цього діапазону.



### 3.1. Загальні положення

Будь-який агрегат, апарат або обладнання, в якому потрібно забезпечувати заданий режим роботи, в автоматичці називається об'єктом регулювання (об'єктом керування). Той параметр, який потрібно регулювати, називають регульованим параметром. Те значення параметра, яке необхідно підтримувати постійним або змінювати за якимось законом, називають заданим значенням.

У будь-якому об'єкті регулювання є приплив середовища або енергії до об'єкту та їх витрата з об'єкта. Витрата середовища або енергії з об'єкта надходить споживачеві, який може змінювати його за своїм розсудом. Ті обладнання, за допомогою яких можна змінювати витрати середовищ, називають регулюючими органами (керуючими органами) - це можуть бути регулюючі клапани, заслінки, напрямні апарати, живильники і т.п.

Будь-який об'єкт регулювання може перебувати у двох режимах роботи: статичному і динамічному.

У статичному (що встановився) режимі приплив середовища або енергії до об'єкту рівний її витраті з об'єкта. В об'єкті ніяких змін не відбувається, регульований параметр не змінюється у часі, тобто він має постійне значення. Його зазвичай приймають за задане значення. Регулювання не потрібне.

У динамічному (перехідному, несталому) режимі приплив середовища або енергії до об'єкту нерівний її витраті з об'єкта. В об'єкті починаються зміни його параметрів. У цьому режимі потрібне регулювання. Причиною виникнення дисбалансу між припливом середовища або енергії до об'єкту та її витратою з об'єкта в основному є споживач (зовнішнє збурювання) або нестабільність параметрів вхідних потоків (внутрішні збурювання).

Розглянемо ці поняття на прикладі бака з водою як об'єкта регулювання рівня води (рис. 3.1):

1) у статичному режимі  $Q_1 = Q_2$ ;  $\Delta Q = Q_1 - Q_2 = 0$ ;  $H = \text{const} = H_0$ ;

2) у динамічному режимі  $Q_1 \neq Q_2$ ;  $\pm \Delta Q = Q_1 - Q_2$ ;  $H$  змінюється.

При регулюванні розглядаються відхилення рівня від заданого значення  $\pm \Delta H = H_0 - H$ .

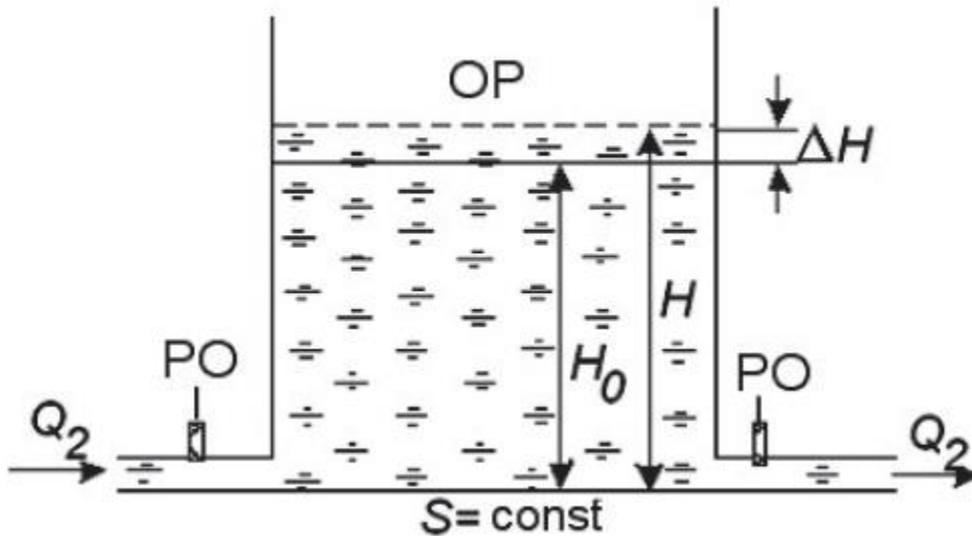


Рис. 3.1. Об'єкт регулювання рівня води (бак)

OP — об'єкт регулювання; PO — регульований орган;  $Q_1$  — приплив середовища;  $Q_2$  — витрата середовища;  $H$  — рівень води в баку;  $H_0$  — задане значення рівня;  $S$  — перетин бака

При створенні системи автоматичного регулювання необхідно: виміряти рівень  $H$ , зрівняти його із заданим значенням  $H_0$ ; одержати сигнал неузгодженості  $\pm\Delta H$ , підсилити цей сигнал, послати його на виконавчий механізм, який буде переміщати регулюючий орган. Оскільки споживач змінює витрату  $Q_2$ , створюючи розбаланс витрат  $\pm\Delta Q$ , виконавчий механізм повинен управляти регулюючим органом на припливі, змінюючи витрату  $Q_1$  убік відновлення балансу.

При виконанні перерахованих вище завдань одержують автоматичний регулятор, який буде складатися з наступних основних елементів:

- 1) вимірювального обладнання (датчик) (ВО);
- 2) елемента порівняння (ЕП);
- 3) керуючого пристрою (підсилувач) (КП);
- 4) виконавчого механізму (ВМ).

Структурна схема автоматичного регулятора отримується шляхом об'єднання цих обладнань у єдиний ланцюжок за послідовним проходженням сигналів (рис. 3.2).

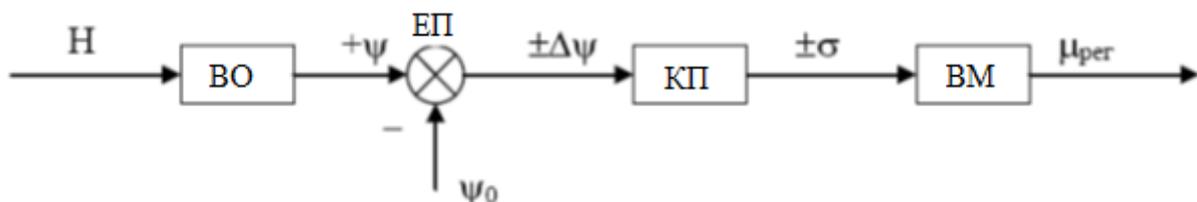


Рис. 3.2. Структурна схема регулятора

$H$  — рівень води в баку;  $\psi$  — електричне уявлення рівня;  $\psi_0$  — електричне уявлення заданого значення рівня ( $H_0$ );  $\Delta\psi$  — сигнал неузгодженості,  $\pm\Delta\psi = (\psi - \psi_0)$ ;  $\sigma$  — керуючий посилений сигнал;  $\mu_{рег}$  — регулюючий (керуючий) вплив на регульований орган

Під системою автоматичного регулювання розуміють сукупність об'єкта регулювання і автоматичного регулятора. Вхідною величиною об'єкта регулювання є приплив середовища, а вихідною величиною - регульований параметр ( $H$ ). Вплив споживача на об'єкт регулювання (зміна  $Q_2$ ) позначимо літерою  $\lambda$ , а вплив зміни припливу  $Q_1$  позначимо буквою  $\mu_{об}$ . Об'єкт регулювання наведений на структурній схемі (рис. 3.3).

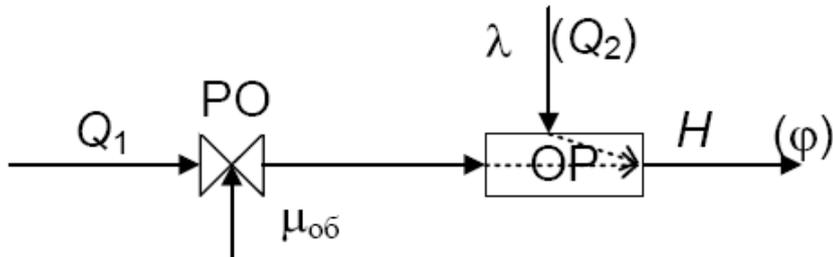


Рис. 3.3 Структурна схема об'єкта регулювання:  
 - - - - - вплив  $Q_1$  і  $Q_2$  на регульований параметр  $H$

При розгляді об'єктів, у яких протікають інші фізичні процеси, регульованим (вихідним) параметром може бути температура, тиск, витрата, концентрація будь-якої речовини, теплове навантаження і т.п. Прикладами таких об'єктів можуть служити електрична або газова піч як об'єкт регулювання температури; бак з розчином солей як об'єкт регулювання концентрації солей; повітряний розчин як об'єкт регулювання тиску повітря, що подається споживачеві; паровий котел як об'єкт регулювання теплового навантаження і т.п. У загальному випадку розглядають об'єкт регулювання будь-якого вихідного параметра  $\phi$ , як вхідне збурювання (тобто зміна витрати  $Q_1$ ) (на рис. 3.3 позначений  $\mu_{об}$ ).

Об'єднання структурних схем об'єкта регулювання і регулятора дозволяє одержати структурну схему системи автоматичного регулювання (САК) (рис. 3.4).

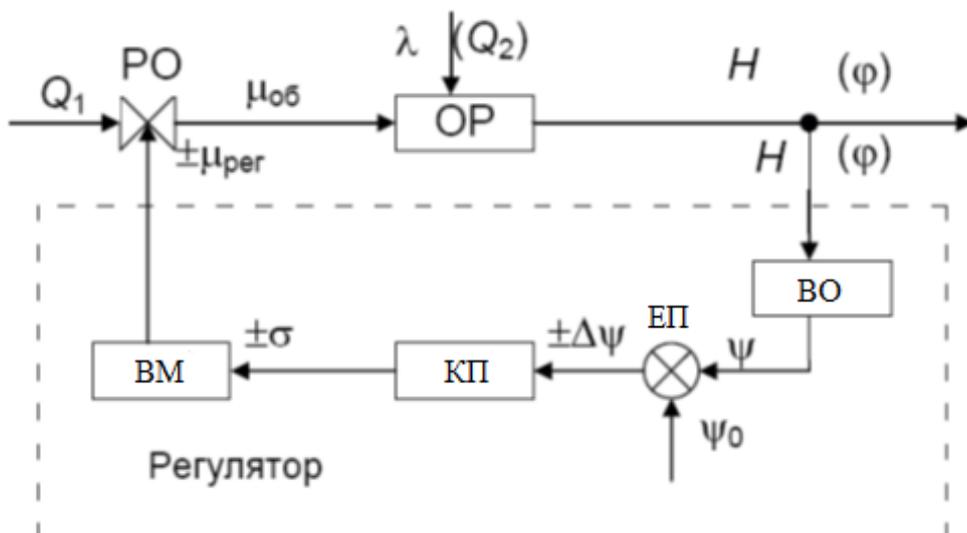


Рис. 3.4. Структурна схема САК

Ця схема є загальною для регулювання та інших параметрів  $\varphi$ , під якими, крім рівня, можна розуміти температуру, витрату, тиск, концентрацію й ін.

Таким чином, зміст регулювання зводиться до відновлення балансу між  $Q_1$  і  $Q_2$  (т. т.  $\Delta Q = Q_1 - Q_2$ ,  $\Delta Q$  прагне до 0). При цьому регульований параметр може встановитися на заданому значенні  $\psi_0$  ( $H_0$ ) або на якомусь новому значенні. Це залежить від прийнятого закону регулювання.

Робота системи автоматичного регулювання залежить від властивості об'єкта регулювання та обраного закону регулювання.

### **3.2 Основні властивості теплоенергетичних об'єктів регулювання**

Усе різноманіття теплових об'єктів регулювання за різними параметрами (парові і водогрійні котли, печі, сушильні апарати, системи теплопостачання, теплообмінники різного типу, компресорні і кисневі установки і т.п. ) можна звести до декількох типів, якщо класифікувати їх за властивостями і ступенями складності.

У разі класифікації за властивостями усі об'єкти можна поділити на наступні види[1]:

- 1) статичні об'єкти ( об'єкти із самовирівнюванням);
- 2) астатичні об'єкти ( об'єкти без самовирівнювання);
- 3) нестійкі об'єкти (практично не використовуються).

Основними типами об'єктів у теплоенергетиці за властивостями є статичні та астатичні.

У разі класифікації за ступенями складності об'єкти діляться:

- 1) на прості (або одноємнісні) об'єкти;
- 2) складні (багатоємнісні, або об'єкти з розподіленою по довжині ємністю).

Як прості, так і складні, об'єкти можуть бути статичними або астатичними.

**Одноємнісні об'єкти.** Одноємнісні статичні об'єкти характеризуються тим, що при вчиненні збурення на об'єкт (або з боку споживача  $Q_2$ , або з боку припливу  $Q_1$ ) регульований параметр (рівень  $H$ ) із часом встановлюється на новому значенні. Причиною такої поведінки параметра є те, що параметр впливає на приплив середовища до об'єкту і на його витрату. Це можна простежити знову ж на прикладі бака з водою (см. рис. 3.1). При збільшенні  $Q_1$  рівень води  $H$  збільшиться, перепад тиску на регулюючому органі на припливі зменшиться, що призведе до зменшення  $Q_1$ . Збільшення рівня  $H$  приведе до збільшення перепаду тиску на регулюючому органі з боку витрати  $Q_2$ , у результаті чого збільшиться  $Q_2$ . З часом  $Q_1$  стане рівним  $Q_2$  і рівень встановиться на новому значенні.

Диференціальне рівняння одноємнісного статичного об'єкта по каналу "вхідне збурювання ( $\Delta Q_1 \rightarrow \mu_{об}$ ) — вихідний параметр ( $\Delta \varphi \rightarrow \varphi$ )" приводиться до стандартного виду, прийнятого в автоматичці,

$$T_{об} \frac{d\varphi}{dt} + \varphi = k_{об}^{\mu} \mu_{об} \quad (3.1)$$

де  $T_{об}$  — постійна часу об'єкта;  $\varphi$  — вихідний (регульований) параметр;  $k_{об}^{\mu}$  — розмірний коефіцієнт передачі об'єкта за вхідним збурюванням  $\mu_{об}$ , якщо  $\mu_{об}$  і  $\varphi$  — розмірні величини; якщо  $\varphi$  і  $\mu_{об}$  наведені у безрозмірному виді, то  $k_{об}^{\mu}$  — безрозмірний коефіцієнт передачі;  $\mu_{об}$  — вхідне збурювання.

З рівняння (3.1) випливає передатна функція об'єкта по каналу "вхідне збурювання  $\mu_{об}$  — вихідна величина  $\varphi$ ".

$$W_{об}^{\mu}(p) = \frac{\varphi(p)}{\mu_{об}(p)} = \frac{k_{об}^{\mu}}{T_{об}p+1} \quad (3.2)$$

Значення  $T_{об}$ ,  $k_{об}^{\mu}$  можуть бути розраховані для конкретно розглянутого об'єкта. Вони визначаються зі співвідношення теплофізичних і конструктивних величин, що входять у рівняння динаміки об'єкта при розгляді необхідних балансів (енергії, маси, витрат і т.п. ).

На практиці при роботі встаткування збурювання дають шляхом ступеневого відкриття (або прикриття) регульовального органа. Таке збурювання називають однократним ступеневим. Запис зміни параметра на вимірювальному приладі, що реєструє, дає динамічну характеристику об'єкта, яку називають кривою розгону ( розгінною характеристикою) (рис. 3.5). З кривої розгону одержують параметри, які характеризують об'єкт регулювання - коефіцієнт підсилення  $k_{об}$  та постійну часу  $T_{об}$ . Ці параметри необхідні для подальших розрахунків роботи системи регулювання[1].

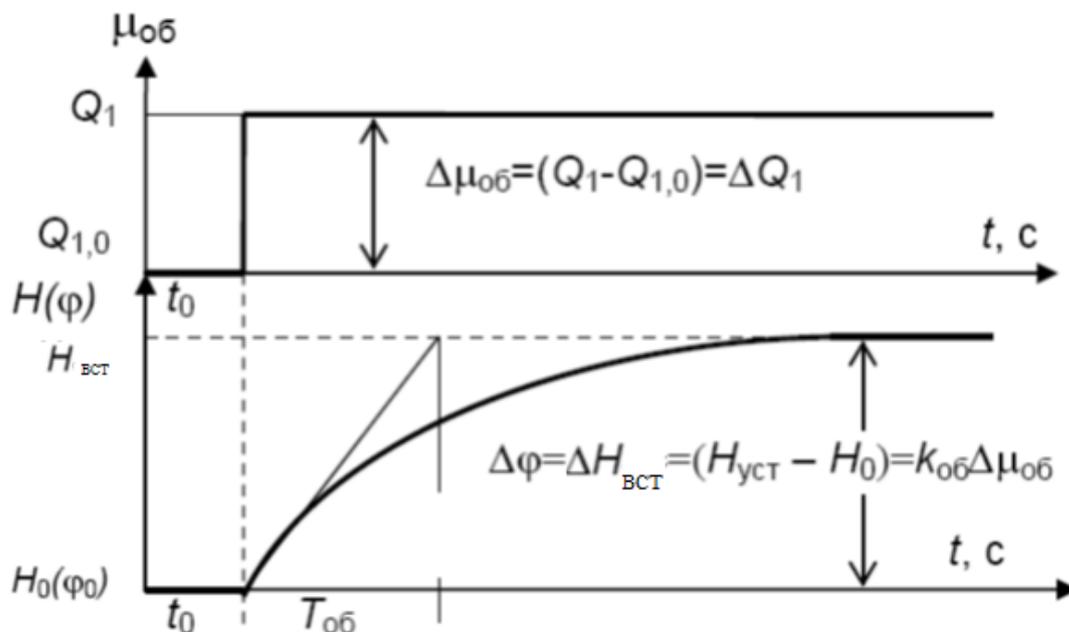


Рис. 3.5. Динамічна характеристика статичного об'єкта

$Q_1$  — нове значення витрати на припливі;  $Q_{1,0}$  — приплив середовища в початковому статичному режимі роботи;  $\Delta\mu_{об}$  — величина збурювання;  $t_0$  — момент часу нанесення збурювання;  $H_{уст}$  — нове значення рівня, що встановилося;  $k_{об}$  — коефіцієнт підсилення (передачі) об'єкта регулювання;  $T_{об}$  — постійна часу об'єкта регулювання;  $t$  — поточний час.

Одноємнісні астатичні об'єкти характеризуються тим, що дисбаланс між припливом і витратою середовища в об'єкті має постійне значення ( $\Delta Q = Q_1 - Q_2 = \text{const}$ ), отже, параметр  $H$  не впливає ні на приплив  $Q_1$ , ні на витрату середовища  $Q_2$  (рис. 3.6).

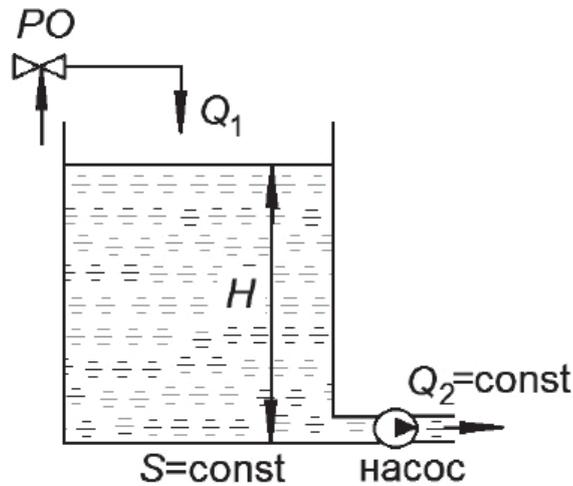


Рис. 3.6. Одноємнісний астатичний об'єкт

Крива розгону при відкритті регулювального органа на припливі має вигляд прямої - лінійна функція часу (рис. 3.6) при перетині бака  $S = \text{const}$ .

Єдиним параметром, що характеризує поведінку об'єкта, є коефіцієнт пропорційності  $k_r$ , що має розмірність метри в секунду (м/с), якщо рівень  $H$  вимірювати в метрах (м).

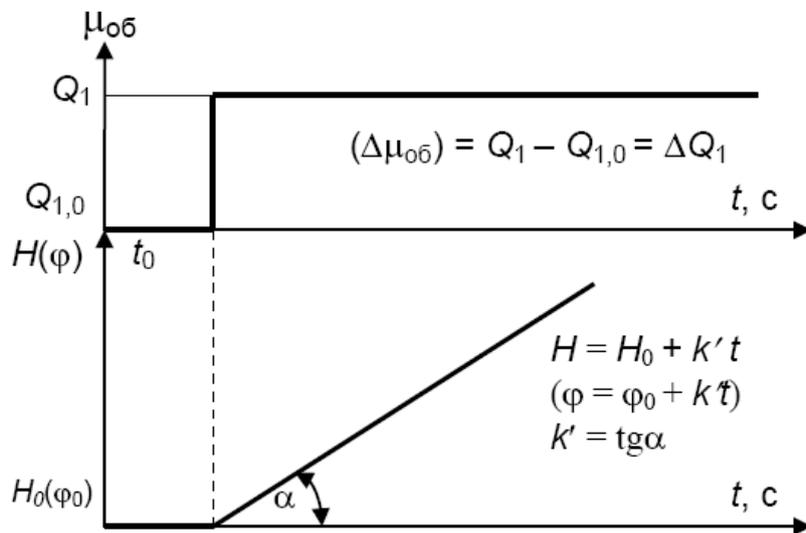


Рис. 3.7. Динамічна характеристика одноємнісного астатичного об'єкта

Диференціальне рівняння одноємнісного астатичного об'єкта по каналу "вхідне збурювання  $\mu_{об}$  — вихідний параметр  $\varphi$ " має вигляд [1]

$$\frac{d\varphi}{dt} = k' \mu_{об} \quad (3.3)$$

$$T_{об} \frac{d\varphi}{dt} = k' \mu_{об}, \quad (3.4)$$

де  $k'$  — коефіцієнт передачі, що має розмірність швидкості зміни параметра  $\varphi$ , поділеного на розмірність вхідного збурювання  $\mu_{об}$ .

В рівнянні (3.3) у безрозмірному виді коефіцієнт буде мати розмірність  $[1/c]$ ; рівняння може бути записане і в іншому виді (3.4), в такому випадку  $T_{об} k'/1$  — постійна часу астатичного об'єкта, яка також використовується в розрахунках систем регулювання.

**Багатоємнісні (складні) об'єкти.** У багатоємнісних об'єктах у разі збурювання регульований параметр змінюється не відразу, як в одноємнісних, а з деяким часом з наростаючою швидкістю і також із часом встановлюється на новому значенні (статичні об'єкти) або починає змінюватися з постійною швидкістю (астатичні об'єкти). Приклади багатоємнісних статичного та астатичного об'єктів за зміною рівня води в другому баку показані на рис. 3.8а та 3.8б.

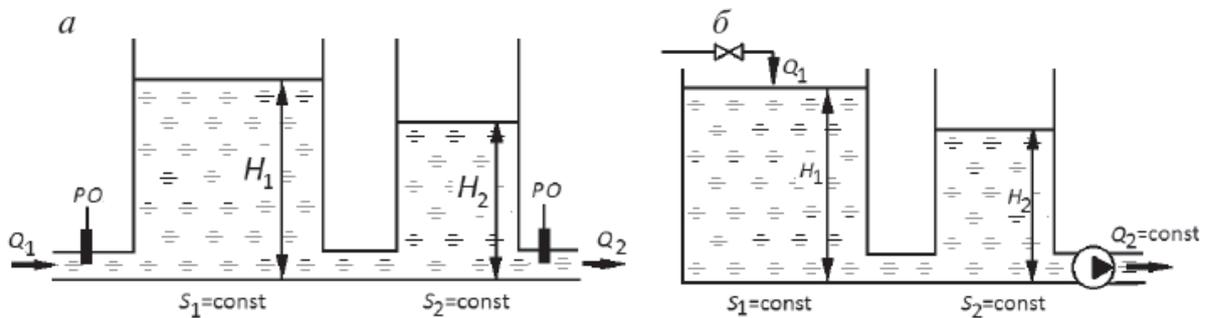


Рис. 3.8. Приклади багатоємнісних об'єктів регулювання:

*a* — статичний об'єкт; *б* — астатичний об'єкт.

Криві розгону для цих об'єктів (рис. 3.8), як правило, знімаються експериментально. За ними створюють найпростіші моделі багато ємнісних об'єктів шляхом заміни реального об'єкта на послідовне з'єднання ланки із запізнюванням  $t_{об}$  і одноємнісного статичного або астатичного об'єкта. Це дозволяє одержати передатні функції моделей, які широко використовуються при автоматизації теплоенергетичних об'єктів.

Для багатоємнісних статичних об'єктів одержимо

$$W_{об}^{\mu}(p) = \frac{\varphi(p)}{\mu_{об}(p)} = \frac{k_{об}^{\mu} e^{-p\tau_{об}}}{T_{об}p+1} \quad (3.5)$$

де значення  $k_{об}^{\mu}$ ,  $T_{об}$  і  $\tau_{об}$  одержують за кривою розгону (див. рис. 3.9, *a*).

Для багатоємнісного астатичного об'єкта одержимо

$$W_{об}^{\mu}(p) = \frac{\varphi(p)}{\mu_{об}(p)} = \frac{e^{-p\tau_{об}}}{T_{об}p} \quad (3.6)$$

де  $k'$  і  $t_{об}$  одержують за кривою розгону (рис. 3.9, *б*).

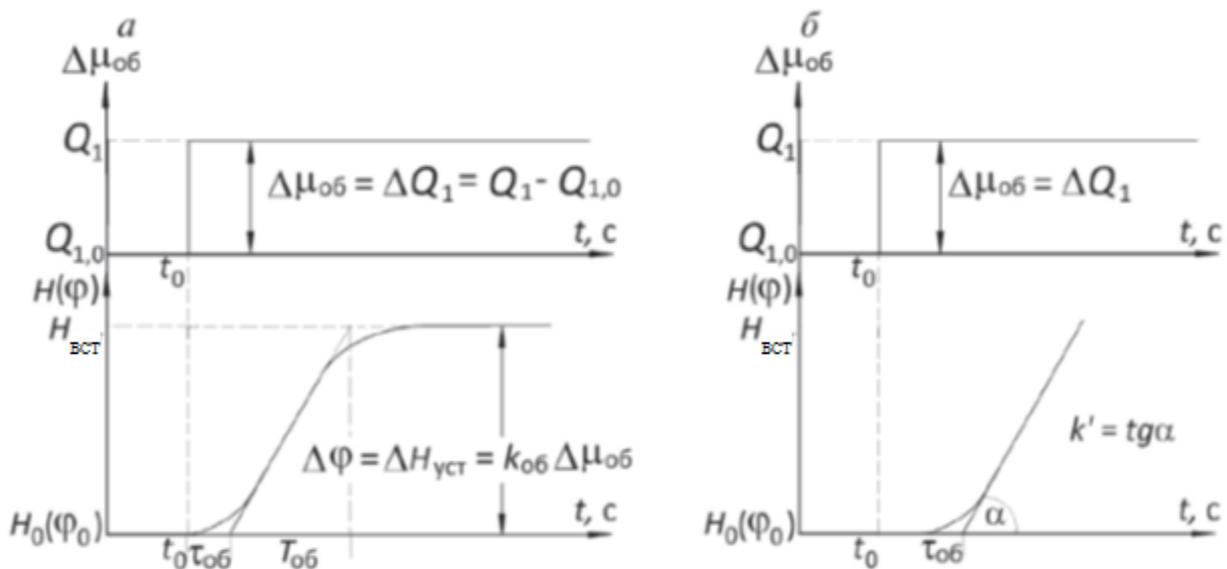


Рис. 3.9. Динамічні характеристики багатоємнісних об'єктів:  
*a* — статичний об'єкт; *b* — астатичний об'єкт

Складні статичні об'єкти характеризуються параметрами  $k_{об}$ ,  $T_{об}$  і  $t_{об}$ , де  $t_{об}$  — час запізнювання об'єкта, а складні астатичні об'єкти характеризуються параметрами  $T_{об}$  (визначається за  $k'$ ) і  $t_{об}$ .

### 3.3. Принципова структурна схема аналогової САК при її технічній реалізації

При технічній реалізації системи автоматичного регулювання, крім основних елементів регулятора, наведених на рис. 3.10, необхідно мати додаткове обладнання, що дозволяє реалізувати систему на практиці. Вимірювальні обладнання (ВО) випускаються промисловістю у вигляді датчиків для виміру параметрів; виконавчі механізми (ВМ) також випускаються промисловістю. Елемент порівняння (ЕП) і керуючий пристрій (КП) разом зі зворотними зв'язками включені в аналогові регулюючі прилади і випускаються промисловістю.

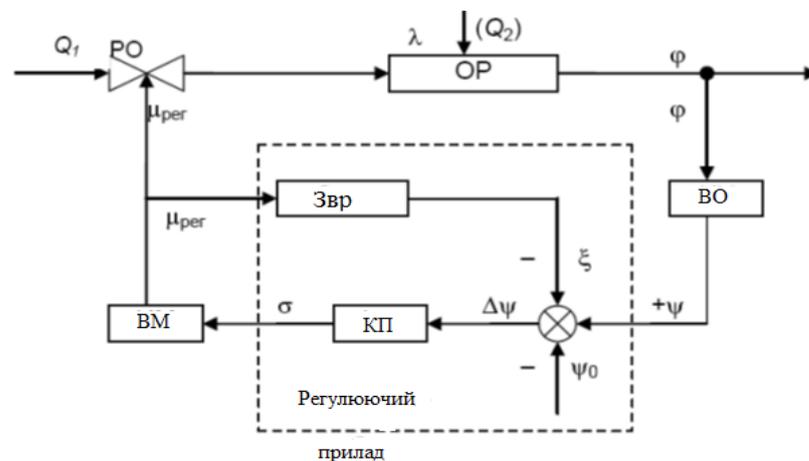


Рис. 3.10. Структурна схема САК

На рис. 3.10  $\xi$  — сигнал негативного зворотного зв'язку; Звр — обладнання зворотного зв'язку.

В аналогових регулюючих приладах елементом порівняння служить вимірювальний блок (ВБ), а підсилювачем - електронний блок (ЕБ). Зворотні зв'язки вбудовані в регулюючий прилад.

Додаткове обладнання:

1) задаючий пристрій (ЗП) - для подачі в елемент порівняння електричної уяви заданого значення параметра  $\psi_0$ ;

2) після регулюючого приладу необхідно мати можливість перемикання ланцюгів автоматики на ланцюзі дистанційного керування регульованим органом. Для цих цілей служить перемикач керування (ПК). У випадку – коли прилад, що регулює, або датчик вийдуть із ладу, переходять на ручне дистанційне керування роботою об'єкта регулювання;

3) для можливості ручного керування роботою об'єкта служить ключ керування (КК), за допомогою якого можна відкривати або закривати регулюючий орган (РО);

4) виконавчий механізм (ВМ) повинен автоматично або при ручному керуванні закривати або відкривати регулюючий орган. Це означає, що електродвигун виконавчого механізму повинен включатися і обертатися то в одну, то в іншу сторону, що здійснюється перекиданням фаз живлення електродвигуна. Для перекидання фаз живлення електродвигуна служить магнітний пускач (МП);

5) при ручному дистанційному керуванні роботою виконавчого механізму необхідно знати, в яку сторону оператор включає виконавчий механізм і на яку величину відкривається або закривається регулюючий орган. Для цих цілей служить показчик положення регулюючого органа (ПП), який має шкалу 0-100 % і працює від датчика переміщення (ДП), наявного в будь-якому виконавчому механізмі.

Усе додаткове обладнання також в тому чи іншому виді випускається промисловістю.

Для створення більш складних (багатоімпульсних) систем регулювання, регулюючі прилади мають можливість підключення додаткових датчиків ( $D_2$  і  $D_3$ ), які на рис. 3.10 показані пунктирними лініями: за витратою пари ( $D_{\text{пп}}$ ) і живильної води ( $W_B$ ). Разом з датчиком за рівнем води ( $H$ ) у барабані парового котла вони дозволяють здійснити регулювання рівня води на котлах середньої і великої потужностей.

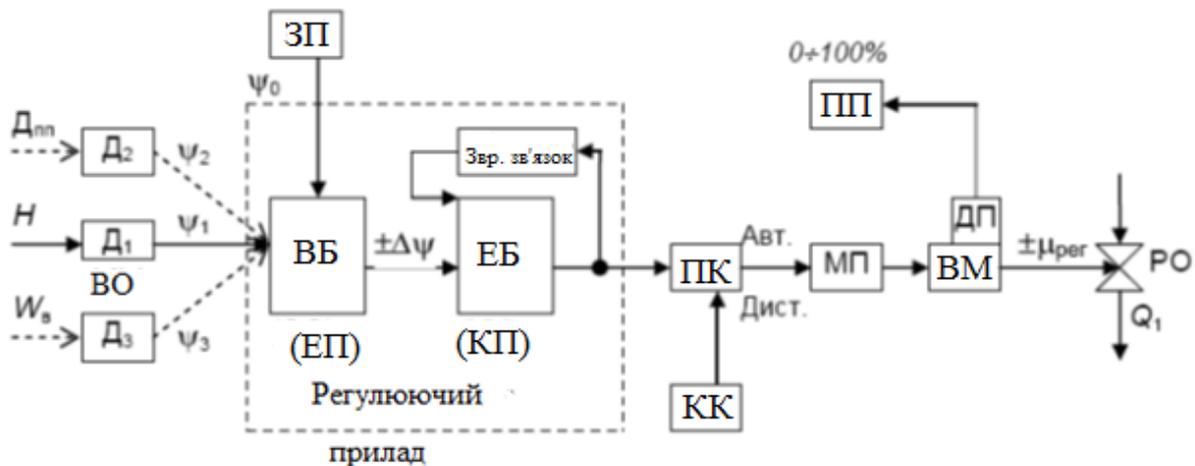


Рис. 3.11. Принципова структурна схема регулятора при його технічній реалізації

$D_1$  — датчик рівня води;  $D_2$  — датчик витрати пари;  $D_3$  — датчик живильної води

За такою схемою здійснюється регулювання в аналогові (безперервних) системах регулювання, але вся ідеологія керування зберігається і за умов переведення системи на цифрове керування. Для цього в програму керування вводиться можливість зміни заданого значення параметра, перемикання на дистанційне керування регулюючим органом і спостереження за його переміщенням.

При автоматизації теплоенергетичних установок з метою тривалої безаварійної роботи, при технологічних обмеженнях відхилень параметрів основними проблемами є вибір і створення необхідних систем регулювання, що забезпечують якісну та безперебійну роботу установок в умовах різних навантажень. Створення систем регулювання для підтримки основних параметрів на необхідному рівні проводиться за вищенаведеною принциповою структурною схемою.



## Автоматизація регулювання парових котлів, допоміжного обладнання котелень та ТЕС. Автоматичний тепловий захист агрегатів ТЕС

В енергетиці використовується і випускається великий спектр парових котлів, що різняться за призначенням, продуктивністю, параметрами пари, способом циркуляції води, конструктивним оформленням і т.п.

За призначенням парові котли діляться на енергетичні (котли середніх і великих тисків та великої продуктивності), промислові (котли малих і середніх тисків, малої та середньої продуктивності), опалювальні (для виробництва пари і гарячої води для систем теплопостачання), утилізаційні (котли-утилізатори, що використовують для виробництва пари теплоту вторинних енергоресурсів), енерготехнологічні (використовують теплоту вторинних енергоресурсів - продуктів технологічної переробки будь-яких матеріалів) та ін.

За тиском розрізняють котли низького тиску (до 1,4 МПа), середнього (4–10 МПа), високого (14 МПа), надвисокого тиску (18–20 МПа) і надкритичного тиску (більш 22,5 МПа)[1].

За продуктивністю розрізняють котли малої продуктивності (до 25 т/г), середньої (25–200 т/г) і великої продуктивності (більш 200 т/г).

За способом циркуляції води котли діляться на котли з природною циркуляцією (барабанні парові котли низького, середнього і високого тиску), багаторазовою примусовою циркуляцією (котли-утилізатори) та на прямоточні котли (котли надвисокого і надкритичного тиску).

Котли великої потужності (тиск перегрітої пари  $p_{\text{пг}} \geq 10$  МПа, температура перегрітої пари  $t_{\text{пг}} \approx 545 \dots 565$  °С, продуктивність  $D_{\text{пг}} = 200 \dots 2500$  т/г) — це енергетичні котли (їх називають парогенератори), які використовуються на теплових електростанціях.

Котли середньої потужності ( $p_{\text{пг}} \approx 4 \dots 10$  МПа;  $t_{\text{пг}} \gg 440$  °С;  $D_{\text{пг}} = 35 \dots 200$  т/г) ставляться до промислових котлів і встановлюють на ТЕЦ.

Котли малої потужності (тиск пари  $p_{\text{п}} \leq 1,4$  МПа; продуктивність  $D_{\text{п}} < 35$  т/г) мають на виході або насичену пару, або слабоперегріту  $t_{\text{пг}} \approx 225 \dots 250$  °С і вони ставляться до виробничо-опалювальних котлів і використовуються в парових або пароводогрійних котельнях.

Парові котли різняться не тільки за вищенаведеними ознаками, але й за конструкцією, видами і способами спалювання палива (газ, мазут, тверде паливо).

Конструктивні особливості котлів, які необхідно враховувати при виконанні спрощених технологічних схем і автоматизації, це:

1) котли великої потужності мають у своєму складі складний пароперегрівник, що включає радіаційну, радіаційно-конвективну і конвективну частини, розділені парохолодниками і повітропідігрівниками;

2) котли середньої потужності мають у своєму складі також усі поверхні нагрівання - конвективний пароперегрівник з пароохолодником поверхневого або типу, що впорскує, одно- чи двоступінчасте компонування економайзера і повітропідігрівника;

3) котли малої потужності мають не всі поверхні нагрівання. У них немає пароперегрівника (на виході маємо насичену пару) або деякі котли мають пароперегрівник для слабкого нерегульованого перегріву пари ( $t_{\text{шт}} = 225 \text{ }^\circ\text{C}$  чи  $250 \text{ }^\circ\text{C}$ ). У цих котлах немає повітропідігрівника, є чавунний економайзер, який винесений за межі котла [7].

Таке різноманіття існуючого парку котлів не дозволяє створити єдину систему автоматичного керування їх роботою. Однак для барабанних парових котлів з природною циркуляцією можна виділити деякі загальні потоки, властиві цим котлам, визначити основні канали регулюючих впливів і здійснити регулювання основних параметрів за окремими одноконтурними системами.

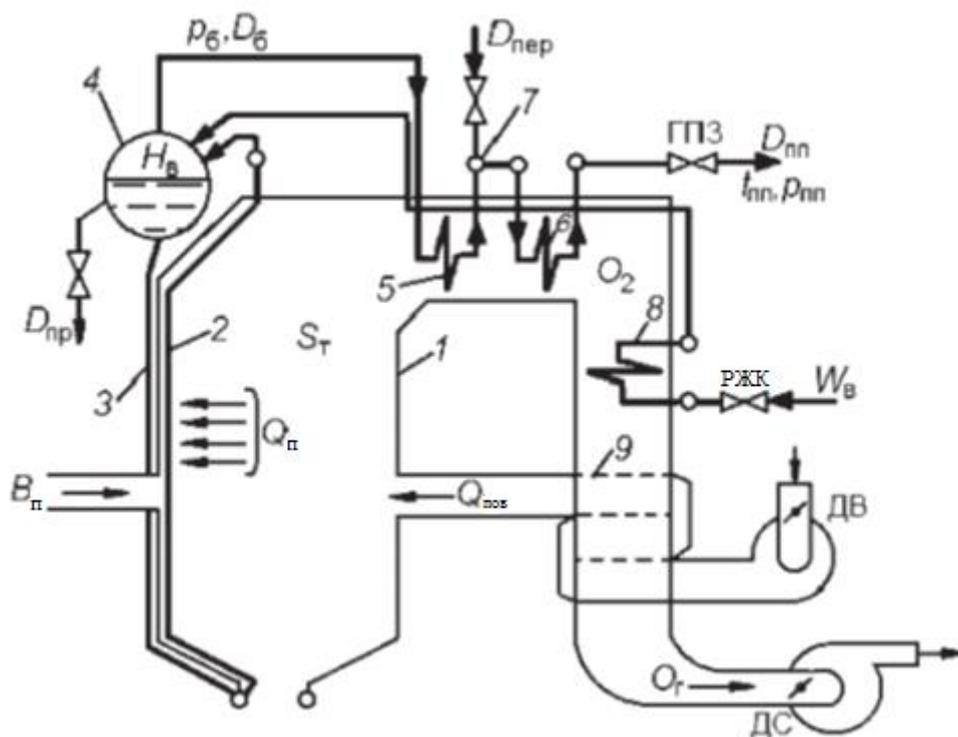


Рис. 4.1. Барабанний парогенератор  
(принципова технологічна схема) [12]

ГПЗ — газова парова засувка; РЖК — регулюючий живильний клапан;  
ДВ — дуттьовий вентилятор; ДС — димосос; 1 — топка; 2 — піднімальні труби;  
3 — опускні труби; 4 — барабан котла; 5, 6 — 1-а та 2-а ступені пароперегрівника;  
7 — пароохолодник; 8 — економайзер; 9 — повітропідігрівник

Розглянемо основні ділянки регулювання барабанного парового котла на прикладі котла середньої потужності, що має всі поверхні нагрівання: випарну частину, конвективний пароперегрівник, економайзер і повітропідігрівник. Спрощена схема котла наведена на рис. 4.1.

Процес паротворення відбувається в піднімальних трубах 2 циркуляційного контуру опускних труб, що забезпечуються водою з 3, екранують топну камеру 1, в якій спалюється паливо з витратою  $W_{\text{п}}$ . Для підтримки процесу горіння в топці подається повітря з витратою  $Q_{\text{пов}}$  за допомогою вентилятора  $D_{\text{пов}}$ , попередньо підігріте у повітропідігрівнику 9.

Продукти згоряння, що утворилися в результаті процесу горіння, (димові гази) відсмоктуються з топки з витратою  $Q_{\text{г}}$  димососом ДС, проходять через поверхні нагріву пароперегрівача 5, 6, водяного економайзера 8 і повітропідігрівника 9.  $D_6$  видаляється з барабана котла, надходить у пароперегрівник 5, 6 і підігрівається до необхідної температури  $t_{\text{пн}}$  за рахунок випромінювання і конвективного теплообміну [7].

Живильна вода з витратою  $W_{\text{в}}$  надходить у водяний економайзер 8, в якому нагрівається за рахунок випромінювання та конвективного теплообміну від димових газів до певної температури і направляється до барабану котла 4. Разом з живильною водою у випарний контур котла надходять солі. Частина солей, що накопичуються в котловій воді, видаляється безперервною продувкою з витратою  $D_{\text{пр}}$ .

Паротворення відбувається в піднімальних трубах котла за рахунок підведення тепла від високотемпературного пальника  $Q_{\text{т}}$ , що виділяється при спалюванні палива у топці.

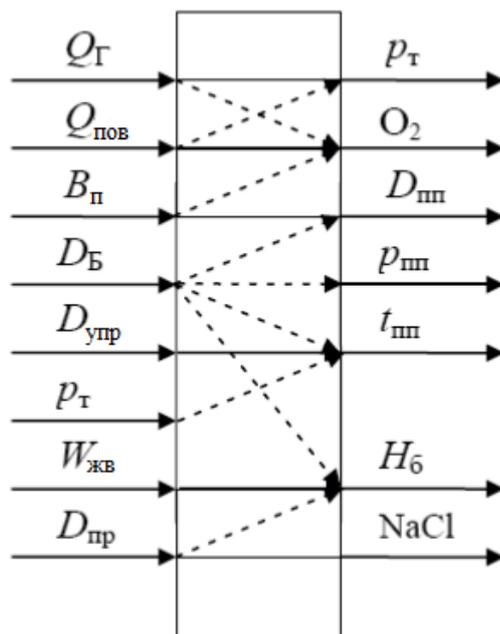
Основними регульованими величинами котла є витрата перегрітої пари  $D_{\text{пн}}$ , її тиск  $p_{\text{пн}}$  і температура  $t_{\text{пн}}$ . Перегріта пара направляється споживачеві, який може змінювати витрату пари  $D_{\text{пн}}$ . Отже, змінною величиною для котла є витрата пари, а її тиск і температура повинні підтримуватися в межах припустимих відхилень, які визначаються відповідно до вимог заданого режиму роботи споживача (турбіни або іншого споживача теплової енергії пари).

Задане значення температури пари  $t_{\text{пн}}$  може підтримуватися за допомогою зміни витрати холодної води  $D_{\text{впр}}$  на пароохолоднику 7.

Тиск перегрітої пари  $p_{\text{пн}}$  і тиск у барабані котла  $p_6$  змінюються у всіх випадках виникнення дисбалансу між кількістю споживаної пари  $D_{\text{пн}}$  і пари, яка генерується (виробляється) в екранних трубах  $D_6$ , і може підтримуватися за допомогою зміни тепловиділення в топці  $Q_{\text{т}}$ , тобто за рахунок зміни подачі палива.

Крім підтримки необхідної витрати пари  $D_{\text{пн}}$  і заданих значень  $p_{\text{пн}}$  та  $t_{\text{пн}}$ , слід підтримувати в межах припустимих відхилень наступні величини: рівень води в барабані котла  $H_{\text{в}}$ , розрідження у верхній частині топки  $S_{\text{т}}$ , солевміст котлової води, оптимальну витрату повітря на спалювання палива.

Перераховані вище величини змінюються в результаті регулюючих впливів і під дією зовнішніх та внутрішніх збурень, що носять закономірний або випадковий характер, таких як коливання витрати пари, якості і витрати палива, температура живильної води, порушення щільності топлення і т.п. З цього випливає, що паровий котел як об'єкт регулювання в цілому являє собою складну динамічну систему з цілим рядом взаємозалежних вхідних і вихідних величин (рис. 4.2).



Складність взаємозв'язків полягає в тому, що деякі вхідні величини, прямо впливаючи на вихідні величини, побічно впливають на інші вихідні параметри. Це непрямий вплив буває важко врахувати. Наприклад, зміна витрати палива  $B_{\text{п}}$  прямо (суцільна лінія) впливає на витрату перегрітої пари  $D_{\text{пп}}$  і в той же час впливає на зміст вільного кисню в димових газах  $O_2$  і тиск перегрітої пари  $p_{\text{пп}}$ ; витрата води на упр  $D_{\text{упр}}$  прямо впливає на температуру перегрітої пари  $t_{\text{пп}}$ , на яку також впливає витрата пари з барабана котла  $D_6$  і розрідження в топці  $S_{\Gamma}$ ; витрата пари  $D_{\text{пп}}$ , будучи вихідною величиною стосовно витрати палива  $B_{\text{п}}$ , служить вхідною величиною (впливом) стосовно тиску  $p_{\text{пп}}$  і температури  $t_{\text{пп}}$  перегрітої пари [7,12].

Однак, явно виражена спрямованість ділянок регулювання котла за основними каналами регулюючих впливів, таких як витрата живильної води  $W_{\text{жв}} \rightarrow$  рівень води в барабані  $H_6$ , витрата палива  $B_{\text{п}} \rightarrow$  тиск  $p_{\text{пп}}$ , дозволяє здійснювати стабілізацію регульованих величин за допомогою незалежних одноконтурних систем, зв'язаних лише через об'єкт регулювання. При цьому регулюючий вплив тієї або іншої ділянки (суцільні лінії на рис. 4.2) служить основним способом стабілізації регульованої величини, а інші впливи (пунктирні лінії) є стосовно цієї ділянки внутрішніми або зовнішніми збурюванням.

Гарне знання технології роботи теплоенергетичного устаткування, розгляд вхідних і вихідних потоків його окремих ділянок (об'єктів) і визначення того основного параметра, який буде змінюватися при виникненні дисбалансу між цими потоками (динамічний перехідний режим роботи) дозволяє встановити необхідні структурні схеми систем регулювання без складання диференціальних рівнянь об'єктів.

В автоматичі широко використовуються спрощені технологічні схеми устаткування, на яких показані всі вхідні і вихідні потоки, усі регулюючі органи і

тільки те устаткування, яке необхідне для розуміння роботи технології. Технологічна схема не обов'язково повинна повторювати геометричні контури устаткування. Це зручно тим, що схема не перевантажена додатковим устаткуванням, яке не належить до автоматики, її просто читати і виявляти необхідні для розгляду потоки і регульовані параметри. Крім того, за такою технологічною схемою простіше та зручніше встановлювати функціональні схеми автоматизації устаткування.

Використовуємо такий підхід при розгляді автоматизації барабанного парового котла середньої потужності (рис. 4.1).

Спрощена технологічна схема котла наведена на рис. 4.3.

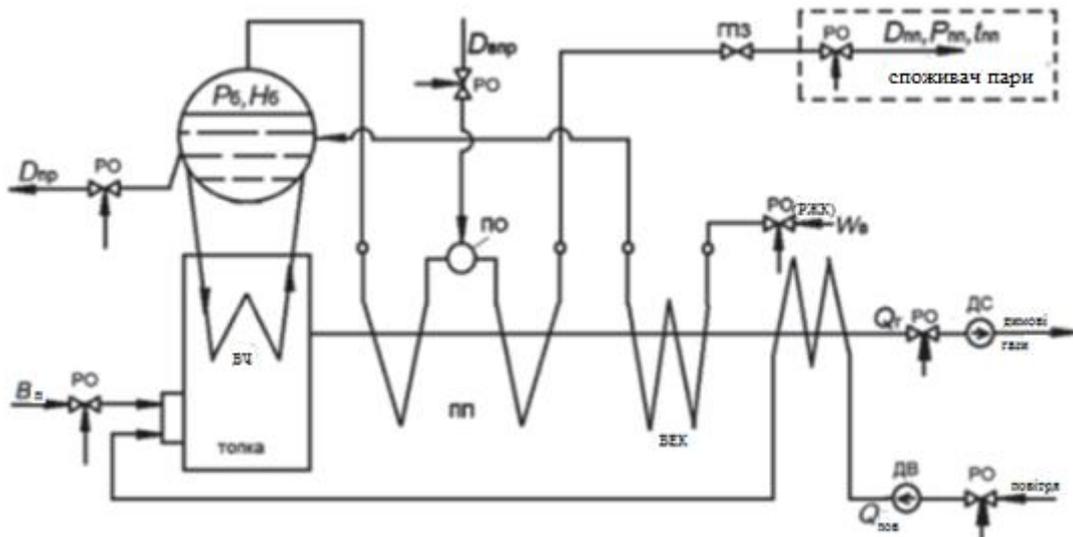


Рис. 4.3. Спрощена технологічна схема барабанного парового котла середньої потужності [12]

ВЧ — випарна частина; ПП — пароперегрівник; ВЕК — водяний економайзер; ВЗП — повітропідігрівник; РО — регулюючий орган

Паровий котел у цілому можна розглядати як об'єкт регулювання теплового навантаження, що надходить до споживача у вигляді витрати пари  $D_{\text{шт}}$  з параметрами  $p_{\text{шт}}$  та  $t_{\text{шт}}$ . З парою з котла йде теплове навантаження (витрата тепла), а входить теплота з витратою палива  $B_T$ , яка виділяється при його спалюванні в топці.

У статичних режимах роботи котла, баланс вхідної і вихідної теплоти зберігається, усі основні параметри не змінюються ( $D_{\text{шт}} = \text{const}$ ;  $P_{\text{шт}} = \text{const}$ ;  $H_0 = \text{const}$ ;  $S_T = \text{const}$ ). Споживач, змінюючи витрату пари, порушує тепловий баланс котла, внаслідок чого основні параметри починають змінюватися (наступає динамічний режим роботи). Необхідно встановити регулятор теплового навантаження котла (РТН), який встановлював би те значення, яке на цей час необхідне споживачеві, управляючи подачею палива  $B_T$  на котел.

Для спалювання палива потрібно подавати повітря з витратою  $Q_B$ , відповідним до витрати палива  $B_T$ . Отже, необхідний регулятор загального повітря (РЗП), що керує його подачу з витратою  $Q_B$ .

У топку входять потоки палива  $B_T$  і повітря  $Q_B$ , а з топки димососом видаляються продукти згоряння палива (димові газі) з витратою  $Q_T$ . При

порушенні балансу витрат у топці буде змінюватися розрідження у верхній частині  $S_T$ , яке є показником відповідності балансу вхідних і вихідних потоків. Отже, необхідно встановити регулятор розрідження ( $PS_T$ ), який буде керувати витратою димових газів  $Q_T$ .

Перераховані вище регулятори (РТН, РОВ і РSt) забезпечують нормальний процес горіння палива в топці в динамічних і статичних режимах роботи котла.

У динамічних режимах роботи змінюються основні параметри ( $D_{\text{шт}}$ ,  $p_{\text{шт}}$ ) і призводять до зміни рівня води в барабані котла  $H_6$ , який повинен змінюватися у вузьких межах. Необхідний регулятор рівня води в барабані (РНБ), який керує подачею живильної води на котел  $W_B$  [7,12].

Разом з живильною водою у випарну систему надходять солі, незначна частина яких уноситься з парою. У випарній системі буде відбуватися накопичення солей, вміст яких понад допустимому межу небажане, тому що приводить до аварійних режимів роботи котла. Необхідно встановити регулятор солевмісту котлової води (РСКВ), який керує величиною безперервної продувки котла  $D_{\text{пр}}$ .

Споживачами підігрітої пари, в основному, є парові турбіни, рідше – будь-які виробництва, для яких пара повинна мати постійну (з невеликими відхиленнями) температуру, що вимагає установки регулятора температури перегрітої пари ( $p$ ,  $t_{\text{шт}}$ ), керуючого подачею води на упорскування в пароохолодники  $D_{\text{впр}}$ .

Парові котли найчастіше працюють на загальну парову магістраль, з якої пара розподіляється споживачам (котельні, ТЕЦ) або, що рідше, індивідуальним споживачам (наприклад, блок "котел - турбіна" на великих теплових електростанціях).

При роботі на загальну парову магістраль теплове навантаження котлів, що працюють у регулюючому режимі, розподіляється між ними головним коригувальним регулятором (ГКР), який управляє роботою регуляторів теплового навантаження (РТН) котлів.

Системи регулювання в найпростішому варіанті будуються за схемою: визначається регульована величина, яку потрібно стабілізувати, та прилад, що регулює, керує. Після цього будується спрощена структурна схема регулятора, в якій не будуть показані деякі додаткові елементи при його технічній реалізації (перемикач керування, ключ керування, показчик положення і магнітний пускач тощо).

Схеми автоматичного регулювання парових котлів та допоміжного обладнання більш детально розглянуто в додатках Б та В

Автоматичні теплові системи захисту це автоматичні захисні пристрої (АЗУ), що обслуговують теплову частину електричної станції. Вони детально розглянуті в додатку Г [13].

Автоматичне регулювання опалювальних та виробничих котелень детально розглянуто в додатку Д [7,12].



### 5.1. Загальні положення

Водогрійні котли призначені для нагрівання води, що надходить у систему теплопостачання, яка є споживачем теплоти. Котли – це газоводяний теплообмінник, у якому нагрівання води здійснюється за рахунок передачі теплоти від високотемпературних димових газів, що виходять при спалюванні різних видів палива (природний газ, мазут або тверде паливо). Котли виготовляються самих різних конструкцій і компоновань: П- образні, баштові, горизонтальні водотрубні, горизонтальні жаротрубні і димогарні, без повітропідігрівника. Температура води на виході для різних типів котлів може відрізнятися: 95, 105, 115, 130, 150, 180 °С — при однаковій температурі води на вході в котел 70 °С. Температуру води на виході з котла і на вході в котел необхідно регулювати [1].

На водогрійних котлах великої теплової потужності, що мають кілька пальників, застосовують плавне регулювання температури прямої води (на виході з котла). На котлах малої теплової потужності, оснащених газовими пальниками, застосовують ступінчасте регулювання шляхом включення і відключення пальників (при двоступінчастих блокових пальниках котли переводять з режиму "великого" горіння на режим "малого" горіння).

При централізованому теплопостачанні водогрійні котли великої потужності можуть працювати зі споживачем теплоти за відкритою схемою (з відбором води на гаряче водопостачання (ГВП) з системи) або за закритою схемою (без відбору води на ГВП). Водогрійні котли малої потужності працюють зі споживачем за закритою схемою.

Закрита система теплопостачання буває залежна (вода мережними насосами перекачується по одному контуру: котли → тепла мережа → споживач) або незалежна (система розбивається на два контури: котловий з циркуляційними насосами і контур системи опалення та вентиляції з мережними насосами). Для потреб гарячого водопостачання додається контур ГВП. Усі контури розділені теплообмінниками нагрівання води: на опалення та вентиляцію, на ГВП.

Розглянемо, якими системами регулювання повинні бути оснащені котли.

### 5.2. Регулювання водогрійних котлів, що працюють за відкритою схемою

Розглянемо регулювання котла (рис.5.1) [1,10].

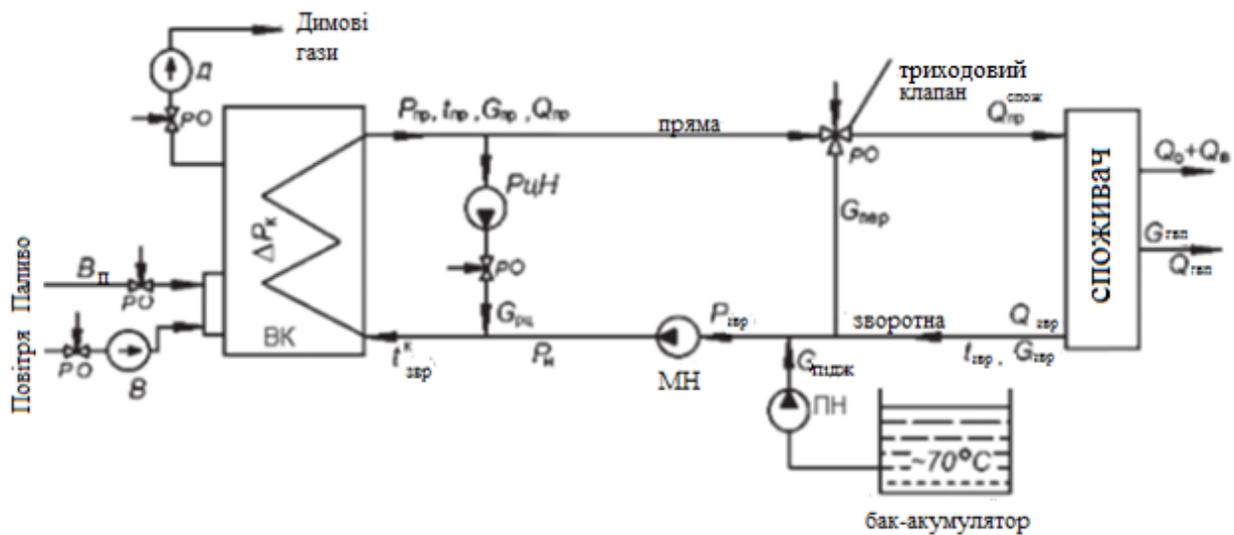


Рис. 5.1. Спрощена технологічна схема відкритої системи теплопостачання

ВК — водогрійний котел; В — вентилятор; Д — димосос; МН — мережний насос; РцН — рециркуляційний насос; ПН — підживлювальний насос; РО — регулюючий орган;  $B_T$  — витрата палива;  $Q_{пр}$  — теплота прямої води на котлі;  $Q_{пр}^{нотр}$  — теплота с прямою водою до споживача;  $Q_o$ ,  $Q_v$ ,  $Q_{гвп}$  — теплота, що відбирається на опалення, вентиляцію й гаряче водопостачання відповідно;  $Q_{звр}$  — теплота зворотної води від споживача;  $G_{пр}$  — витрата прямої води з котла;  $G_{звр}$  — витрата зворотної води від споживача;  $G_{гвп}$  — витрата води на гаряче водопостачання;  $G_{рц}$  — витрата рециркуляційної води;  $G_{підж}$  — витрата підживлювальної води;  $t_{пр}$  — температура води на виході з котла;  $t_{звр}$  — температура зворотної води від споживача;  $t_{звр}^k$  — температура зворотної води перед котлом;  $p_{пр}$  — тиск прямої води за котлом;  $p_{звр}$  — тиск зворотної води перед мережними насосами;  $p_n$  — тиск води на нагнітанні мережних насосів;  $D_{рк}$  — опір котла по водяному тракту

Через нього прокачується вода з витратою  $G_{пр}$ , яка нагрівається від температури  $t_{звр}^k$  до температури  $t_{пр}$ , тоді корисно використана теплота палива визначається за рівнянням теплового балансу

$$Q_{пол} = B_T Q_H^p \eta_{ка} = G_{пр} c_v (t_{пр} - t_{звр}^k) \quad (5.1)$$

де  $c_v$  — середня теплоємність води для цих температур (вона змінюється незначно).

Температура  $t_{звр}^k$  повинна бути задана (70 °С при роботі котла на природному газі і твердому паливі; більше 70 °С при спалюванні мазут).

У такому випадку корисно використана теплота з боку води може регулюватися:

- 1) зміною витрати води  $G_{пр}$  при постійній температурі ( $t_{пр} = \text{const}$ ) — це кількісне регулювання;
- 2) зміною температури води  $t_{пр}$  при постійній витраті ( $G_{пр} = \text{const}$ ) — це якісне регулювання;
- 3) зміною температури  $t_{пр}$  і витрати води  $G_{пр}$  — це якісно-кількісне регулювання.

У системах централізованого теплопостачання досить великої потужності використовують якісне регулювання на джерелі теплоти (котлах) і викликане це тим, що на роботу котлів накладається два обмеження по зміні витрат води:  $G_{\max}$  і  $G_{\min}$ .

Максимальна витрата води  $G_{\max}$  обмежена мінімально припустимим тиском прямої води  $p_{np}^{\min} = p_n - \Delta p_k^{\max}$  при якому найбільш віддалені ділянки теплової мережі в споживача ще будуть одержувати теплоту на опалення та вентиляцію з обліком водорозбіру на ГВП.

Мінімальна витрата води  $G_{\min}$  обмежена максимально припустимою температурою прямої води  $t_{np}^{\max} = t_s - 20$ , де  $t_s$  — температура кипіння води при тиску  $p_{np}$ . Це дозволяє уникнути скипання води в кінцевих ділянках котла і, як наслідок, аварії на котлі.

При безпосередньому приєднанні споживача до джерела теплопостачання теплове навантаження в споживача регулюється на джерелі (на водогрійних котлах).

Різниця витрат  $\Delta G = G_{np}^{\max} - G_{np}^{\min}$ , де  $G_{ном}$  — номінальна витрата води на котел. У зв'язку з таким невеликим діапазоном припустимих змін витрат і з метою стабілізації гідравлічного режиму роботи теплової мережі, на водогрійних котлах використовують якісне регулювання теплового навантаження.

Кількісне регулювання може бути тільки ручним - встановлюють необхідну витрату води  $G_{np}$ , яка надалі є постійною.

### 5.3. Необхідні регулятори водогрійних котлів

Оскільки у водогрійних котлах можуть спалюватися різні види палива, потрібно регулювати процес горіння в топці так само, як і на парових котлах. Отже, необхідно встановити на котлах, оснащених вентилятором і димососом наступні регулятори: регулятор теплового навантаження (РТН); регулятор загального повітря (регулятор економічності); регулятор тяги (регулятор розрідження в топці котла) [10].

Спосіб регулювання теплового навантаження водогрійного котла впливає з рівняння теплового балансу (5.1). При постійній витраті води  $G_{np}$  і постійній температурі зворотної води перед котлом  $t_{звр}^k$  теплове навантаження визначається заданим значенням температури прямої води  $t_{пр}$ , яке досягається подачею необхідного для витрати палива  $B_t$ , що спалюється в котлі. Температура прямої води задається за режимною картою котла. Отже, регулятор теплового навантаження повинен вимірювати температуру прямої води, порівнювати її із заданою і керувати подачею палива на котел (рис. 5.2). Тому такий регулятор часто називають регулятором палива.

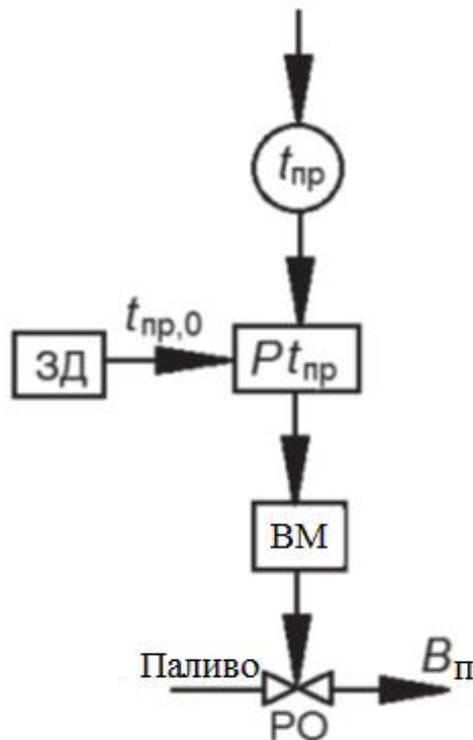


Рис. 5.2. Спрощена структурна схема регулятора теплового навантаження водогрійного котла  
ЗД – задаючий пристрій; РО – регулюючий орган

На водогрійних котлах великої потужності, оснащених рядом пальників, застосовують плавне регулювання температури зміною витрати палива за пропорційно-інтегральним (ПІ) законом регулювання. На котлах невеликої потужності, оснащених блоковими пальниками, застосовують позиційне регулювання температури води шляхом перемикавання роботи пальників з "великого" горіння на "мале" горіння.

На котлах великої потужності регулювання економічності спалювання палива (РЕК) будується так само, як і в парових котлах, за співвідношенням "витрата теплоти - витрата повітря" з корекцією за змістом вільного кисню у відповідних димових газах.

При спалюванні природного газу імпульсом по теплу є витрата газу, яку можна побічно визначити за його тиском перед пальниками, а імпульсом по витраті повітря є тиск повітря на нагнітанні вентилятора.

Структурна схема регулювання економічності водогрійного котла, що спалює природний газ (рис. 5.3) будується за співвідношенням витрати газу ( $p_r$ ) і витрати повітря ( $p_n$ ).

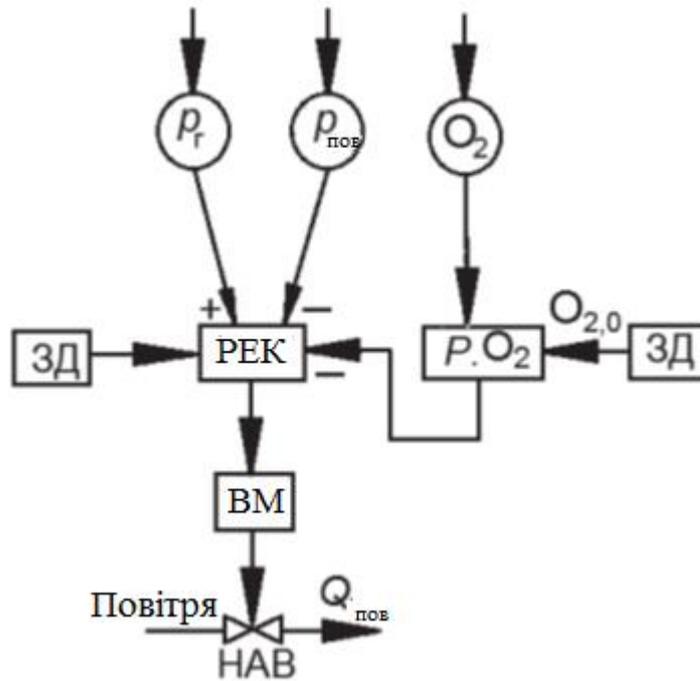


Рис. 5.3. Структурна схема регулювання економічності водогрійного котла на газу

ЗД – задаючий пристрій; РЕК – регулятор економічності спалювання палива

Імпульси від цих датчиків включені зустрічно ( $\pm$ ). При зміні витрати газу на котел, у результаті спрацювання регулятора теплового навантаження, витрата газу змінюється, і на вході в РЕК з'являється сигнал на зміну витрати повітря  $Q_{п.}$ . При досягненні витратою повітря значення, відповідного до повного спалювання нової витрати газу, імпульси від датчиків за  $p_r$  і  $p_v$  однакові і на вході в РЕК імпульсу за різницею витрат немає. Регулятор відключає ВМ, отже, встановлюється новий баланс витрат газу і повітря. Це означає, що регулятор швидко встановив баланс витрат газу і повітря. За цей час при відхиленні вмісту вільного кисню в димових газах  $O_2$  від розрахункового (заданого) значення  $O_{2,0}$  регулятор Р подає коригувальний імпульс на РЕК, точно регулюючи витрату повітря.

При спалюванні мазуту або твердого палива витрата теплоти вимірюється непрямим способом за різницею температур прямої води з котла і зворотної води перед котлом ( $t_{пр} - t_{звп}^k$ ). У такому випадку структурна схема РЕК буде мати вигляд, наведений на рис. 5.4.

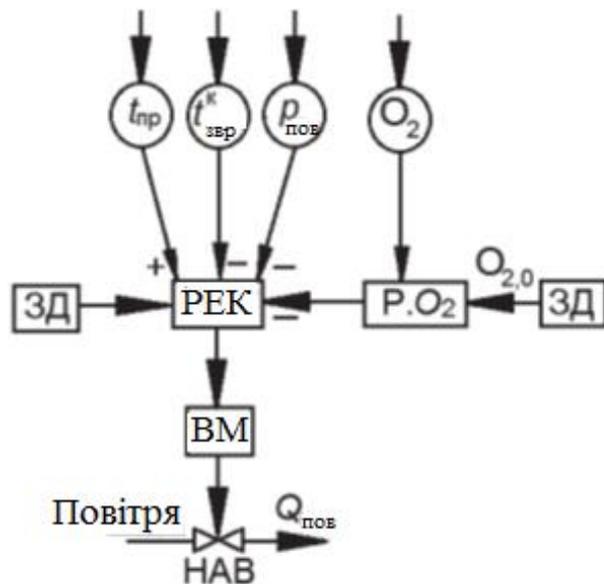


Рис. 5.4. Структурна схема РЕК водогрійного котла,  
що спалює мазут або тверде паливо  
НАВ – напрямні апарати вентиляторів; ВМ – виконавчий механізм

При частотному керуванні роботою двигуна вентилятора РЕК буде змінювати число обертів двигуна реалізуючи найбільш економічний спосіб регулювання витрати повітря.

На котлах малої потужності, оснащених пальниками із блоками керування подачі газу і повітря із вбудованим індивідуальним вентилятором, регулювання економічності проводиться початковим налагодженням співвідношення "газ-повітря" при роботі пальника в режимах "великого" і "малого" горіння. При перемиканні витрати газу на "мале" горіння, швидкість двигуна вентилятора встановлюється на значенні, що забезпечує витрату повітря для економічного спалювання газу.

На котлах, оснащених димососом, потрібно встановити автоматичне регулювання розрідження в топці котла (20-40 Па) [1,4], як і в парових котлах. Регулятор розрідження будується так само, як і в парових котлах, тобто він вимірює розрідження в топці і здійснює керування напрямним апаратом димососа або зміною швидкості обертання двигуна димососа при частотному керуванні.

На котлах малої потужності, оснащених блоковими пальниками із вбудованим вентилятором, регулювати розрідження не потрібно, оскільки котли працюють під піддувом, і тиску, створюваного вентилятором, достатньо для видалення продуктів згорання через димар.

#### 5.4. Контроль технологічних параметрів і захисту водогрійних котлів

Для водогрійних котлів слід передбачати прилади для виміру наступних параметрів:

- 1) температури води на вході і виході з котла;

- 2) тиску води на вході в котел і виході з котла;
- 3) температури відвідних газів;
- 4) тиску повітря після вентилятора і у пальників;
- 5) розрідження в топці і перед димососом;
- 6) витрати води через котел;
- 7) витрати рідкого і газоподібного палива;
- 8) змісту кисню в відвідних газах.

Для водогрійних котлів, що спалюють газоподібне або рідке паливо, захисти можна, як і в парових котлах, розділити на захисти, пов'язані з порушенням процесу горіння палива, і захисти за параметрами води на виході з котла. Захисти при порушеннях процесу горіння такі ж, що і у парових котлах.

Захисти за параметрами води:

- 1) підвищення температури води на виході з котла;
- 2) підвищення і зниження тиску води на виході з котла;
- 3) зменшення витрати води через котел.

Для котлів з температурою води 115 °С і нижче при зниженні тиску за котлом і зменшенні витрати води через котел не передбачається автоматичне відключення подачі палива до пальників.

На сьогодні розроблені різні комплекти засобів керування (КЗК) роботою котлів, як водогрійних, так і парових малої потужності, що працюють на рідкому і газоподібному паливі низького і середнього тиску, а також різні автоматичні системи керування технологічними процесами (АСК ТП), що різняться структурою, технічними засобами і функціями. Фактично всі вони виконують ті самі завдання щодо керування роботою котлів, а саме: автоматичне включення котлів у роботу, виведення їх на робочий режим, автоматичне регулювання необхідних параметрів (наприклад, регулювання процесу горіння палива), забезпечення безпеки роботи котла при виході параметрів за припустимі межі, зупинка котла. Розглянемо їх роботу на прикладі комплекту засобів керування (КЗК) і найпростішої АСК ТП.

Для водогрійних котлів комплект засобів керування випускається у двох модифікаціях: КЗК-1-Г-2 для низького і КЗК-1-Г-3 для середнього тиску газу.

Для парових котлів є три модифікації комплекту: для котлів із природньою циркуляцією, що працюють під розрідженням - КЗК-2 П-1-Г; для котлів із природньою циркуляцією, що працюють під наддуванням - КЗК-2 П-2-Г; для прямооточних котлів, що працюють під наддуванням - КЗК-2 П-3-Г.

Принципова схема комплекту засобів керування КЗК-1-Г (рис. 5.5) забезпечує двопозиційне регулювання температури гарячої води на виході з водогрійного котла, регулювання подачі повітря і розрідження в топці.

Захист котла (автоматика безпеки) здійснюється за наступними параметрами: підвищення температури гарячої води, зниження і підвищення

тиску газу перед пальниками, зниження і підвищення тиску води в котлі, зниження тиску повітря перед пальниками, зниження розрідження в топці, загасання полум'я пальника, зникнення напруги живлення, несправність блоків комплекту.

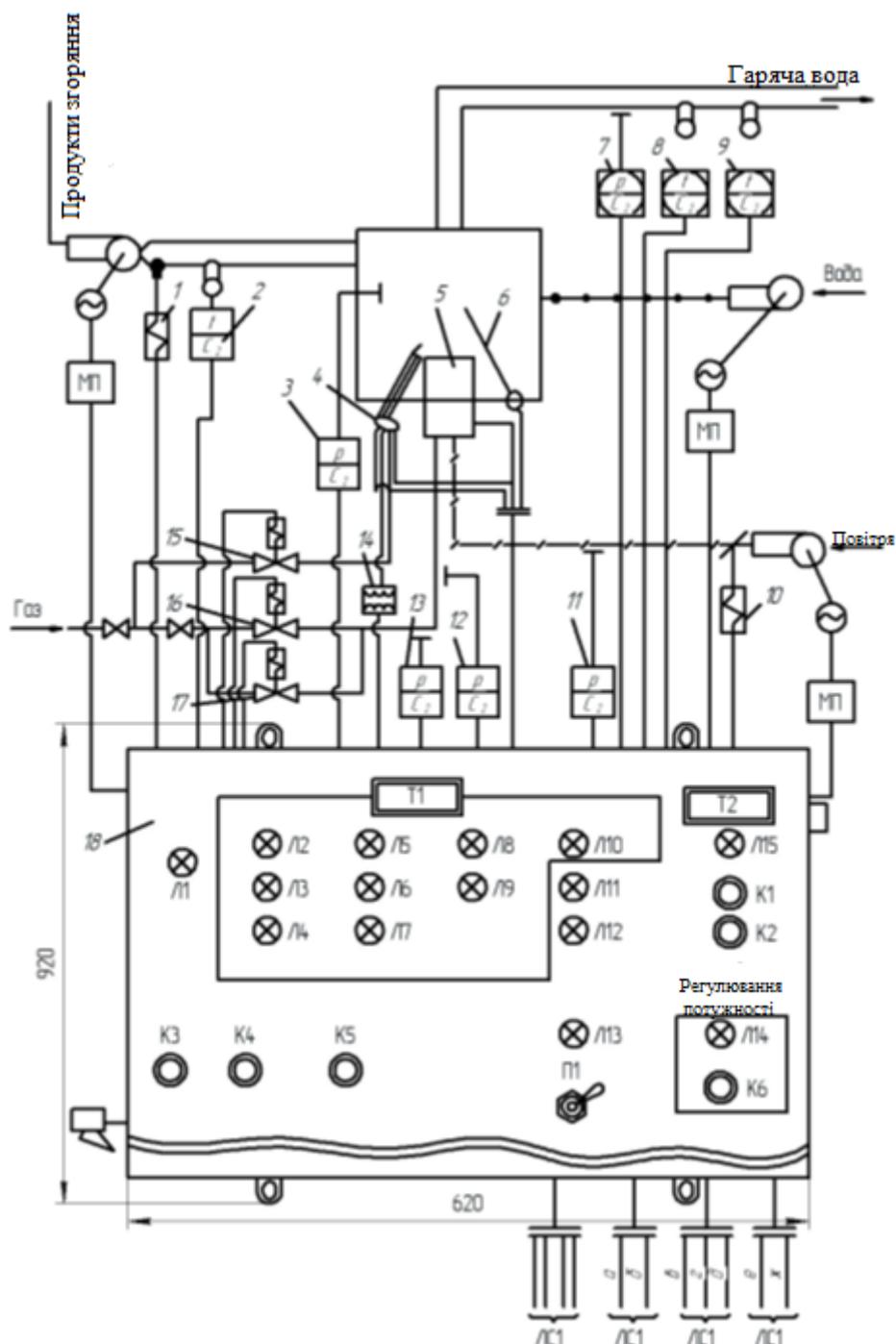


Рис. 5.5. Принципова схема комплекту КЗК- КЗК-1 -Г засобів автоматичного керування роботою котла

1, 10 — виконавчі механізми; 2 — датчик-реле температури; 3, 11, 12, 13 — датчики-реле тяги, напруги й тиску; 4 — електрозапальник; 5 — пальник; 6 — контрольний електрод; 7 — електроконтактний манометр; 8, 9 — манометричні термометри; 14 — котушка запалювання; 15 — клапан-відсікач запальника; 16, 17 — відсічні клапани "великого" і "малого" горіння; 18 — шафа комплекту; МП — магнітний пускач; Т1 — табло «Аварія»;

Т2 — табло «Робота»; Л1–Л15 — лампи (Л1 — «Мережа»; Л2 — «Нема полум'я»; Л3 — «Розрідження низьке»; Л4 — «Тиск повітря низький»; Л5 — «Тиск води низький»; Л6 — «Тиск води високий»; Л7 — «Температура води висока»; Л8 — «Тиск газу низький»; Л9 — «Тиск газу високий»; Л10 — «Комплект несправний»; Л11 — «Ні резервування»; Л12 — «Температура газів, що відходять, висока»; Л13 — «Котел відключений загальнокотловим обладнанням»; Л14 — «Включене»; Л15 — «Пуск»); К1–К6 — кнопки (К1 — «Пуск»; К2 — «Стоп»; К3 — «Відключення звукової сигналізації»; К4 — «Відключення світлової сигналізації»; К5 — «Контроль сигналізації»; К6 — «Регулювання потужності»); П1 — перемикач «Робота із загальнокотловим обладнанням»; ЛС1–ЛС4 — лінії зв'язку (ЛС1 — Живлення 380/220 В, 50 Гц»; ЛС2 — «Сигнал диспетчеру» (*a* — «Включення живлячого напруги»; *b* — «Аварія»); ЛС3 — «Дистанційне керування» (*v* — «Пуск»; *z* — «Останов»; *d* — «Включення регулювання»); ЛС4 — «Сигнали від загальнокотлового обладнання регулювання» (*e* — «Пуск/Стоп»; *ж* — «Мале горіння/Велике горіння»)); С2 — самописний прилад; *p* — тиск, Па; *t* — температура, °С

Автоматика забезпечує світлову і звукову аварійні сигналізації із запам'ятовуванням першопричини за кожним з аварійних параметрів; попереджувальну сигналізацію при порушенні роботи одного з резервних каналів і при підвищенні температури газів, що відходять; видачу на диспетчерський пункт сигналів про подачу живлячої напруги на комплект КЗК-1 -Г і про аварійну зупинку котла; дистанційне включення і відключення котла, а також включення регулювання; роботу загальнокотлового обладнання регулювання; автоматичні пуск та зупинку котла; робочу сигналізацію системи автоматики КЗК-1-Г - шафа 18 комплекту, в якому розміщені всі елементи, що забезпечують керування пуском та зупинкою, регулювання, захист, сигналізацію і т.п.; блок живлення газовий; обладнання розпалу і контролю полум'я; датчики тиску, напору, тяги.

Блок живлення газовий (рис. 5.6) - обладнання, що дозволяє проводити не тільки подачу і відсічення газу, але і ступеневе регулювання витрат, а також включення або відключення газового запальника.

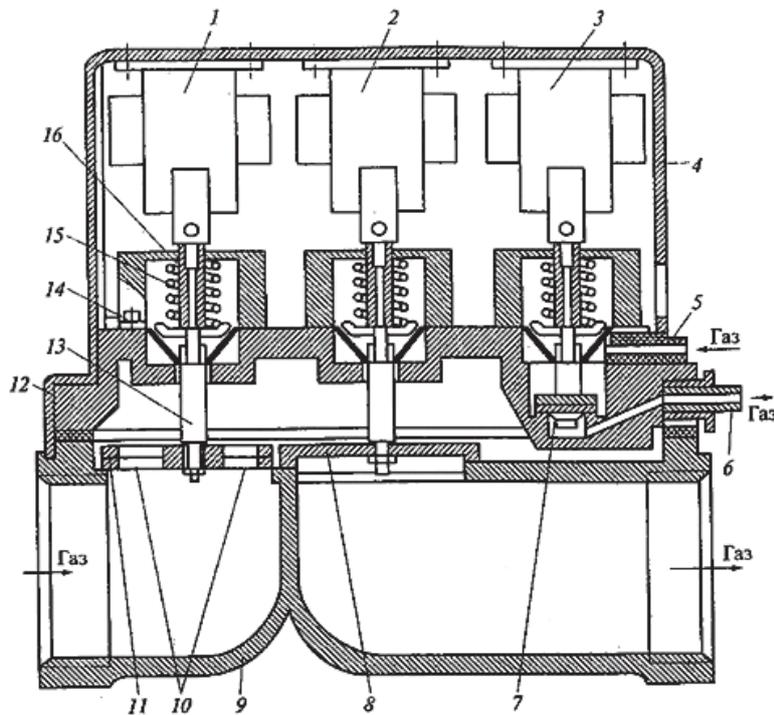


Рис.5.6. Блок живлення газовий

1-3 — електромагніти; 4 — коробка; 5, 6 — штуцери; 7 — клапан запальника;  
 8 — клапан "малого" горіння; 9 — корпус блоку; 10 — отвори в клапані  
 "великого" горіння; 11 — клапан "великого" горіння; 12 — кришка;  
 13, 16 — штоки; 14 — мембрана; 15 — пружина

У корпусі 9 блоку є два отвори із сідлами, що перекриваються клапанами "великого" 11 і "малого" 8 горіння, які можуть переміщуватися в основній порожнині кришки 12. У правій частині кришки є додаткова порожнина, в якій розташований клапан 7 запальника. Привод клапанів здійснюється спеціальними електромагнітами 1-3. Клапани за допомогою штоків 13 і 16 з'єднані із сердечниками електромагнітів і під дією пружин 15 притискаються до сідел.

Для запобігання проникнення газу з основної та додаткової порожнин кришки в коробку 4, де перебувають електромагніти, служать мембрани 14.

У вихідному положенні, коли електромагніти знеструмлені, усі три клапани перебувають у закритому положенні, внаслідок чого газ не подається до основного пальника і запальника. При цьому газ під дією вхідного тиску надходить із корпусу через отвори 10 у клапані "великого" горіння в основну порожнину кришки і додатково підтискає клапан "малого" горіння до сідла, забезпечуючи його герметичність.

Через штуцер 5 газ подається до клапана запальника. При подачі електричного струму на електромагніт 3 у нього втягується сердечник, і з ним піднімається клапан 7, при цьому газ направляється до запального обладнання через штуцер 6. Подача газу до основного пальника для роботи на малому режимі відбувається при підведенні струму до електромагніту 2 і підйомі клапана 8. У цьому випадку витрата газу визначається діаметрами отворів 10 у клапані 11 "великого" горіння. При переведенні основного

пальника на номінальний режим горіння на електромагніт 1 подається струм і клапан "великого" горіння відкривається.

### **5.5. Автоматика регулювання**

Підтримка в заданих межах температури води на виході з котла, регулювання подачі повітря, регулювання розрідження в топці - усі ці функції забезпечує автоматика регулювання, яке може виконуватися у двох режимах: разом із загальнокотловим обладнанням регулювання і без нього. Вибір режиму регулювання здійснюється перемикачем П1 - "Робота із загальнокотловим обладнанням" (див. рис. 5.5). При роботі без загальнокотлового обладнання датчиком у системі регулювання є контактний манометричний термометр 8.

Якщо температура гарячої води перебуває в інтервалі між нижнім і верхнім регульованими значеннями, газ до пальника надходить через два клапани: "великий" 11 (див. рис. 5.6) і "малий" 8 горіння. Заслінки на повітропроводі і газоході повністю відкриті.

У цьому випадку пальники котла працюють із 100% тепловою потужністю. Температура гарячої води при цьому підвищується. При досягненні верхнього регульованого рівня температури відбувається замикання контакту манометричного термометра і електричне живлення електромагнітного клапана "великого" горіння відключається. Теплова потужність пальника знижується при цьому до 40%. Одночасно з відключенням клапана "великого" горіння спрацьовують електричні виконавчі механізми типу ЕВМ 1 і 10 (див. рис. 5.5), перекриваючи частково повітрохід і газохід, тобто забезпечуючи необхідні витрати повітря і розрідження в топці.

При роботі із загальнокотловим обладнанням комплект КЗК-1-Г виконує наступні команди: сигнал на пуск котла; сигнал на зупинку котла; сигнал на установку 100% теплової потужності; сигнал на установку 40% теплової потужності пальника й відповідне до цього навантаження прикриття заслінок на повітряній і димовій лініях.

Далі приводяться параметри роботи котла, за якими здійснюється його захист, і датчики, які при цьому використовуються (рис. 6.5):

1) температура гарячої води — електроконтактний манометричний термометр 9 типу ТПГ-СК;

2) тиск газу - датчик верхнього рівня (електроконтактний манометр ЕКМ-1V з датчиком-реле тиску 13 типу ДД-06-11К) і датчик нижнього рівня ( датчик-реле тиску 13 типу ДД-06-11К);

3) тиск повітря - датчик-реле напору 11 типу ДН-250-11К;

4) розрідження в топці - датчик-реле тяги 3 типу ДЕ-40-11К;

5) тиск води - електроконтактний манометр 7 типу ЕКМ-1V;

6) загасання полум'я - контрольний електрод 6 типа КЕ.

При спрацьовуванні датчиків, що контролюють параметри безпеки, а також при зникненні напруги живлення, виконавчі реле знеструмлюються, розриваючи ланцюгу живлення електромагнітних клапанів "великого" і

"малого" горіння, і подача газу до котла припиняється. Одночасно загоряються світлове табло Т1 "Аварія" і сигнальна лампа першопричини аварії, замикається ланцюг живлення звукового сигналу.

Звуковий сигнал відключають натисканням кнопки К3 "Відключення звукової сигналізації". Після скидання сигналізації і зупинної вентиляції комплект знову готовий до роботи, але його запуск можливий тільки за допомогою кнопки К1 "Пуск", а не дистанційно.

Перед початком роботи комплекту необхідно виставити на складальному полі тимчасові витримки (програму роботи автоматики), що визначають витрати часу на проведення ряду операцій: включення приладів контролю розрідження; зниження тиску води і повітря; попередню вентиляцію топки; підпал запальника і основного пальника; одержання стійкого горіння основного пальника; прогрів котла; післязупиночну вентиляцію.

Перед кожним пуском необхідно (рис. 5.5): включити автоматичний вимикач (при цьому загоряється лампа Л1 "Мережа"), перевірити справність світловий і звуковий сигналізації натисканням кнопки К5 "Контроль сигналізації", переконатися у відсутності аварійних параметрів, вибрати режим роботи комплекту (із загальнокотловим обладнанням або без нього) шляхом установки перемикача П1 у відповідне положення.

Для пуску котла необхідно натиснути кнопку К1 "Пуск" і комплект починає відпрацьовувати програму підпалу в певній послідовності:

1) ставиться під контроль відсутність аварійного стану температури і тиску води та включаються електродвигуни вентилятора, димососа, циркуляційного насоса;

2) заслінки на повітроході і газоході відкриваються повністю (на 100%) і проводиться вентиляція топки і газоходів;

3) починається цикл підпалу запальника;

4) подається живлення на котушку запалювання 14 типу Б-115 і відкривається електромагнітний клапан запальника, включається контроль дії обладнання захисту щодо загасання полум'я; після подачі сигналу про наявність полум'я запальника подається живлення на електромагнітний клапан "малого" горіння; після відліку певного часу відключається контрольний електрод полум'я запальника і підключається контрольний електрод пальника; загоряється світлове табло Т2 "Робота" і гасне лампочка Л15 "Пуск"; відлічується час на досягнення стійкого горіння пальника і відключається електромагнітний клапан запальника; здійснюється прогрів котла, і котел готовий до регулювання потужності. Включення кнопки К6 "Регулювання потужності" у режимі роботи без загальнокотлового обладнання після закінчення часу, зазначеного в інструкції для експлуатації котла.

Для зупинки котла оператору досить натиснути кнопку К2 "Стоп", а при повному закінченні роботи - відключити автоматичний вимикач мережі.

## 5.6. Регулювання водогрійних котлів, що працюють за закритою схемою

Технологічна схема системи теплопостачання фактично така ж, що і відкрита, за винятком того, що система підживлення призначена тільки для заповнення невеликих витоків води, тобто баки підживлювальної води мають значно менший обсяг або взагалі відсутні (у системах теплопостачання малої потужності). Для гарячого водопостачання в котельнях малої потужності можуть бути встановлені підігрівники води для ГВП. Спрощена технологічна схема закритої залежної системи теплопостачання наведена на рис. 5.7.

Водогрійний котел повинен також забезпечувати теплове навантаження, обумовлене різницею температур прямої води  $t_{пр}$  і зворотної води перед котлом  $t_{звр}^к$  при постійній витраті прямої води  $G_{пр}$ . Отже, котел повинен бути оснащений регуляторами: температури прямої води, економічності, розрідження і температури зворотної води перед котлом.

Регулювання підживлення (на схемі показане підживлення водою з водопроводу) повинне забезпечити заповнення невеликих втрат води в системі підготовленою водою (через водопідготовчу установку ВПУ) включенням підживлювального насоса (ПЖН) і системи гарячого водопостачання (ГВП).

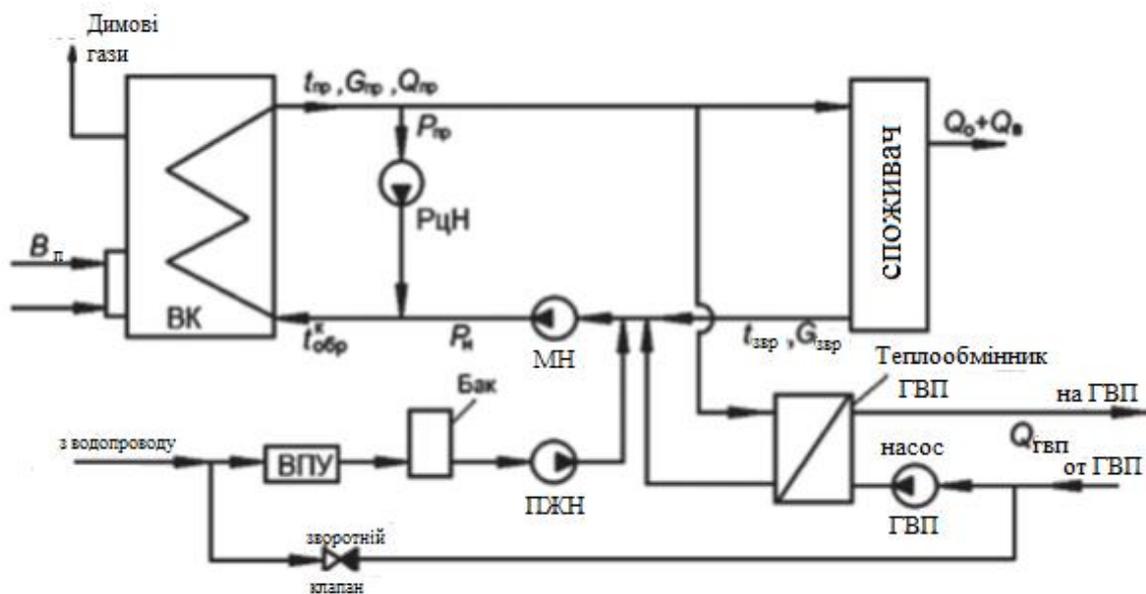


Рис. 5.7. Спрощена схема закритої системи теплопостачання:  
ВПУ — водопідготовча установка; ПЖН — підживлювальний насос

У цей час у промисловій теплоенергетиці широко застосовуються наступні типи водогрійних котлів: КВ-ГМ і ПТВМ - для спалювання газу і мазуту, ТВГ - для спалювання газу і КВ-ТС - для шарового спалювання твердого палива. Схеми автоматичного регулювання вище вказаних водогрійних котлів представлені в додатку Е.



### 6.1. Регулювання теплового навантаження опалення

У котловому контурі циркулює вода з постійною витратою і заданою температурою на виході з котла  $t_{\text{пр}}$ . Постійний температурний режим роботи котла підвищує надійність його роботи. Контури систем опалення, вентиляції і ГВП гідравлічно роз'єднані з котловим контуром, що також підвищує стійкість і надійність їх роботи. Регулювання теплового навантаження системи опалення [4] проводиться за температурою прямої води  $t_{\text{пр}}^{\text{спож}}$  з урахуванням температури зворотної води  $t_{\text{звр}}$  і зовнішньої температури повітря  $t_{\text{з}}$ . Регулятор опалення буде управляти перепуском частини прямої води  $G_{\text{пер}}$  у зворотну перед водонагрівачем, впливаючи на прохідний клапан або на триходовий (як показано на рис. 6.1), здійснюючи кількісне регулювання.

У регулятор закладена програма розрахунків температури  $t_{\text{пр}}^{\text{спож}}$  з урахуванням температури зовнішнього повітря  $t_{\text{н}}$  згідно з температурним графіком системи опалення. Цей регулятор іноді називають "всепогодним" регулятором.

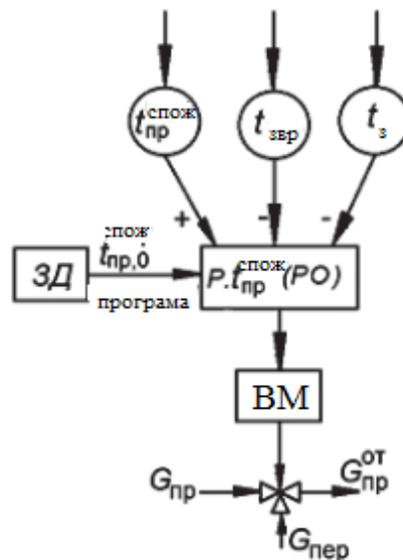


Рис. 6.1. Структурна схема регулятора подачі води до споживача (регулятора опалення (РО)) [13]

## 6.2. Регулювання теплового навантаження вентиляції

Якщо системи вентиляції і ГВП виділені в окремі контури, то гаряча вода від котлового контуру до теплообмінників вентиляції і ГВП часто подається за допомогою підвищувальних насосів

У контурі вентиляції гаряча вода від теплообмінника надходить до калориферів повітряного опалення з температурою  $t_{np}^B$ , на калориферах проводиться місцеве регулювання температури вихідного з калорифера повітря. Отже, необхідно регулювати температуру води  $t_{np}^B$ , яка поступає у контур вентиляції. Регулятор вимірює  $t_{np}^B$  і управляє триходовим клапаном на подачі води до теплообмінника вентиляції (рис. 6.2).

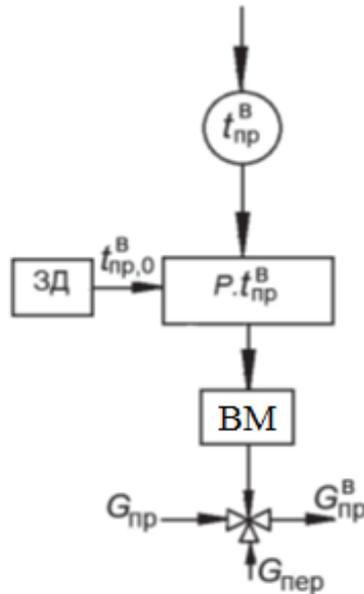


Рис. 6.2. Структурна схема регулятора температури води на вентиляцію [13]

## 6.3. Регулювання теплового навантаження в системі ГВП

Системи централізованого гарячого водопостачання проектують із циркуляційними трубопроводами для забезпечення споживачів гарячою водою, тому що без них при відсутності водорозбору в лініях, що подають, вода швидко стигне і споживач змушений зливати її, втрачаючи при цьому і воду і теплоту. Циркуляційні трубопроводи і циркуляційні насоси створюють безперервний рух води по замкненому контуру: теплообмінник, що подає, - трубопровід - водорозбірне обладнання (крани) - циркуляційний трубопровід - теплообмінник; підтримуючи в системі необхідну температуру гарячої води у водорозбірних кранів на рівні 50-60°C [4]. Необхідну температуру на виході з теплообмінника  $t_{ГВП} = 60...65^{\circ}\text{C}$  необхідно автоматично підтримувати. Регулятор температури води на ГВП вимірює температуру  $t_{ГВП}$  і управляє триходовим (або прохідним) клапаном на подачі води від котлового контуру до теплообмінника ГВП. Спрощена структурна схема регулятора має вигляд, як на рис. 6.3.

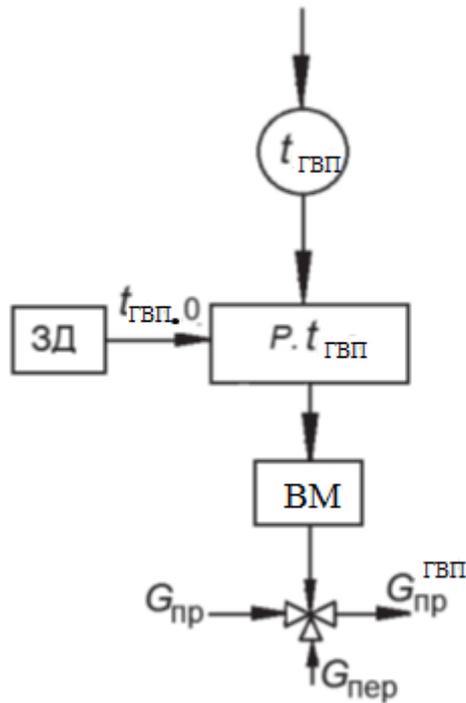


Рис. 6.3. Структурна схема регулятора температури на ГВП [13]

Регулятор, підмішуючи необхідну кількість зворотної води  $G_{пер}$ , знижує або підвищує температуру води в теплообміннику ГВП, тим самим здійснюючи якісне регулювання  $t_{ГВП}$ . Теплообмінники ГВП можуть бути одноступінчастими або двоступінчастими. У системах теплопостачання малої потужності теплообмінники опалення, ГВП або вентиляції звичайно розташовуються в приміщенні котельні, тому що теплові мережі досить короткі.

В системах теплопостачання великої потужності розподіл потоків гарячої води на опалення і гаряче водопостачання проводиться в центральних теплових пунктах (ЦТП) або індивідуальних теплових пунктах (ІТП). У такому випадку в ЦТП або ІТП магістральними трубопроводами подається пряма вода від котлів і вертається зворотна вода. Схеми приєднання теплообмінників до теплової мережі можуть бути такими ж, що і розглянуті вище.

#### 6.4. Автоматизація центральних (ЦТП) і індивідуальних (ІТП) теплових пунктів

Автоматизація центральних і індивідуальних теплових пунктів повинна забезпечити:

- 1) регулювання подачі теплоти в системах опалення залежно від температури зовнішнього повітря;
- 2) обмеження максимальної витрати води з теплової мережі на тепловий пункт шляхом перекриття клапана регулятора теплоти на опалення;
- 3) підтримку необхідного перепаду тисків в трубопроводах, як на подачі так і у зворотному напрямку у теплових мережах при введенні до ІТП;

4) підтримка заданої температури води, що надходить у систему гарячого водопостачання.

Для цих цілей розроблено і випускається різне обладнання, що забезпечує регулювання, керування і отримання інформації про роботу устаткування ЦТП (ІТП).

На рис. 6.4 наведена принципова схема застосування обладнання РУНТ 312 для автоматичного керування тепlopостачанням при незалежній схемі приєднання системи опалення і двоступінчастій схемі гарячого водопостачання. Схема містить усі регулятори, розглянуті вище, але об'єднані одним обладнанням керування.

Автоматичний регулятор РУНТ 312 має сорок клемних приєднань електричних проводів від різних датчиків і до різних електричних приводів на регулювальних клапанах зміни витрати гарячої води. Споживання гарячої мережевої води з тепломережі регулюється РУНТОМ шляхом впливу на автоматичний клапан на лінії, що подає воду до пластинчастого теплообмінника 1, в якому нагрівається циркулююча вода системи опалення приміщення.

Керування витратою теплоти системою опалення будинку проводиться за сигналом датчика 4 температури зовнішнього повітря  $t_n$  і датчика 3 контролю початкової температури води  $t_{np}^{спож}$ . З підвищенням  $t_n$  знижується  $t_{np}^{спож}$ .

В опалювальних приміщеннях будинку використовуються опалювальні прилади з терморегуляторами, що змінюють витрати гарячої води через опалювальний прилад залежно від встановленого значення температури внутрішнього повітря  $t_b$ . При підвищенні  $t_b$  терморегулятор скорочує надходження в опалювальний прилад гарячої води. Скорочення витрати приводить до підвищення тиску в трубопроводах, що подають, і збільшенню перепаду тиску  $\Delta p$  на стороні нагнітання та всмоктування циркуляційних насосів 2 системи опалення. Підтримка сталості перепаду тиску при роботі насосів - два (один у резерві) - енергетично раціонально здійснювати шляхом застосування насосів з електронним керуванням частоти обертання валу електродвигуна, наприклад, насоси фірми UPE "Грундфосс".

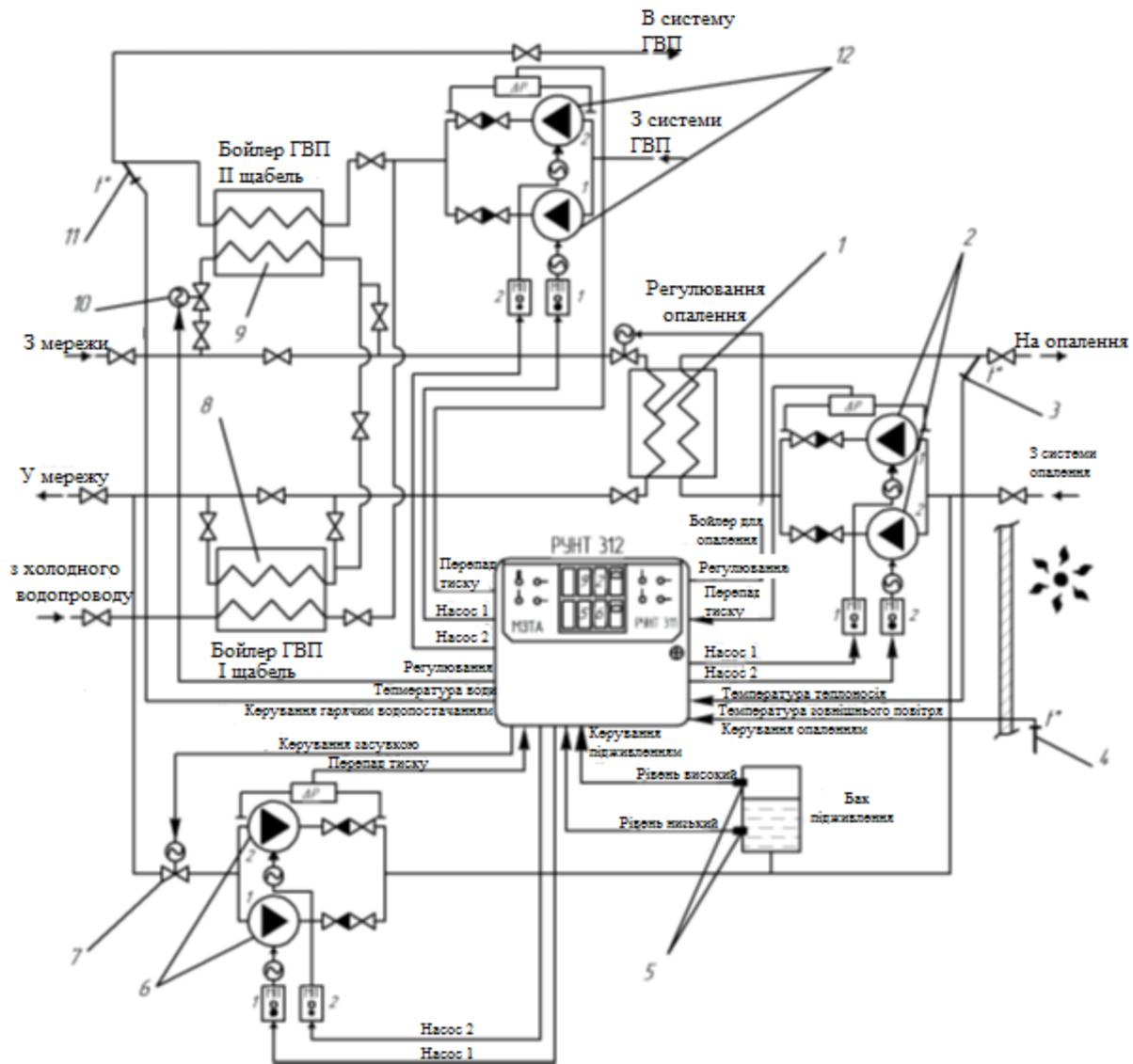


Рис. 6.4. Принципова схема застосування автоматичного регулятора РУНТ 312 у ЦТП для тепlopостачання систем опалення і гарячого водопостачання будинків

1 — водо-водяний теплообмінник для нагрівання циркуляційної води в системі опалення будинку; 2 — два циркуляційні насоси (один запасний) з електронним управлінням частоти обертання для системи опалення; 3 — датчик контролю початкової температури води в системі опалення; 4 — датчик контролю температури зовнішнього повітря; 5 — датчик контролю рівня води в системі опалення; 6 — два підживлювальні насоси (один резервний) подачі води із системи тепlopостачання для підживлення контуру циркуляції системи опалення; 7 — автоматичний запірний клапан на трубопроводі забору підживлювальної води зі зворотного трубопроводу системи централізованого тепlopостачання; 8 — водо-водяний теплообмінник першої шабелі нагрівання водопровідної води на гаряче водопостачання будинку; 9 — водо-водяний теплообмінник другого шабелі нагрівання водопровідної води на гаряче водопостачання будинку; 10 — насоси (один резервний) циркуляції води в системі гаряче водопостачання будинку; 11 — автоматичний вентиль на трубопроводі подачі гарячої води із подаючого трубопроводу мережі тепlopостачання; 12 — датчик контролю температури води гарячого водопостачання на рівні 60 °С

За допомогою датчиків 5 контролюється рівень води в системі опалення. При падінні статичного тиску в циркуляційній мережі системи опалення, що викликається зниженням висоти водяного стовпа в стояках, датчики 5 передають через регулятор РУНТ 312 сигнал на пуск одного з підживлювальних насосів 6 і відкриття автоматичного запірного клапана 7 на зворотному трубопроводі тепломережі.

У ЦТП будинку встановлюються два водо-водяних теплообмінника 8 і 9 для двоступінчастого нагрівання водопровідної води на потреби гарячого водопостачання будинку. На першій ступені 8 водопровідна вода нагрівається теплотою зворотної води мережі теплопостачання. Якщо датчик 12 фіксує, що на гаряче водопостачання надходить вода з температурою нижче 60 °С, то через регулятор РУНТ 312 піде команда на відкриття автоматичного вентиля 11 для подачі гарячої води із подаючого трубопроводу мережі теплопостачання в теплообмінник 9 другої ступені нагрівання води гарячого водопостачання до  $t_{ГВП} = 60$  °С.

Циркуляція води в системі гарячого водопостачання здійснюється від роботи насосів 10 (один резервний). Витрата води в системі гарячого водопостачання змінюється в залежності від часу доби. Найбільші водозабори характерні для ранкових і вечірніх годин. У нічні години споживання гарячої води припиняється. Для збереження  $t_{ГВП} = 60$  °С цілодобово насос 10 повинен працювати. Режим роботи цього насоса змінюється в залежності від часу доби, тому для підтримки постійного перепаду тиску  $\Delta p$  і скорочення витрати електроенергії раціонально застосувати насос із електронним управлінням частоти обертання.

Найбільше теплове навантаження на систему опалення здійснюється в нічні години доби холодного періоду року, коли споживання гарячої води практично відсутнє, а в тепломережі підтримується температурний перепад 130/70 °С, при цьому активно працює теплообмінник 1. Тому розрахунки теплотехнічної ефективності теплообмінника 1 треба проводити на нічний режим роботи ЦТП будинку. Температури, вимірювані термометрами опору, і інші вхідні сигнали в РУНТ 312 показуються на цифросимвольних індикаторах. Цим забезпечується вся необхідна персоналу інформація про роботу ЦТП. Узагальнений сигнал про нормальну роботу ЦТП передається на диспетчерський пункт обслуговування групи будинків. Принципово можливе підключення обладнань РУНТНА декількох ІТП або ЦТП до загальної ЕОМ і до принтера. МЗТА має відповідні програми для ЕОМ із мнемосхемами одного або декількох ІТП та ЦТП. Можливо безпосереднє підключення до обладнань РУНТ принтерів для роздруківки контрольованих параметрів.

Необхідно відзначити, що в приміщеннях, які обслуговуються системою опалення від ЦТП, протягом доби будуть змінюватися теплові режими. Так, на сонячних фасадах будинку в приміщеннях підвищуються теплоприпливи від сонячної радіації, і тому потрібно знижувати витрати гарячої води через опалювальні прилади. У той же час у приміщеннях на

тіньових фасадах будинку немає притоку теплоти від сонячної радіації. У зв'язку із цим необхідно централізоване тепlopостачання від ЦТП (або ІТП) доповнювати місцевими засобами автоматизації (наприклад, здійснити пофасадне регулювання), які поліпшать комфортні умови в приміщеннях, зменшуючи перегрів одних і зниження температури в інших приміщеннях, тим самим дозволяючи повніше використовувати теплоту опалення. Найбільш повно використовується теплота на опалення при установці індивідуальних регуляторів на опалювальні прилади, які на сьогодні мають назву "терморегулятори".

В опалювально-виробничих котельнях, де для потреб опалення встановлюються підігрівальні установки, для підтримки температури води в тепломережі відповідно до опалювального графіка необхідно передбачати регулятор температури. В додатку Ж розглянуто детальніше автоматичне регулювання котелень для опалювання [3,4].



Підвищені вимоги до якості води, що надходить для живлення парових котлів або підживлення тепломережі, викликають ускладнення циклу водопідготовки, особливо в тих випадках, коли джерелом водопостачання є поверхневі джерела.

Поряд з регулюванням таких процесів, як підігрів вихідної води або підтримка постійного рівня в баках декарбонізованої води, виникають завдання, пов'язані з автоматизацією роботи прояснювачів і програмним керуванням процесом відновлення фільтрів (механічних, Н- або Натаніонітових).

Автоматизація прояснювача включає регулювання навантаження прояснювача; підтримку постійної температури води до прояснювача; підтримку певного співвідношення між кількістю води, що надходить до прояснювача, і кількістю води, що фільтрується (вертається після промивання механічних фільтрів); дозування розчину реагентів.

Регулювання продуктивності освітлювача (рис. 8.1) здійснюється за рівнем проясненої води у баку. Регулятор впливає на подачу води до освітлювача. Рівень у баку залежить від продуктивності установки для водопідготовки і витрат на її власні потреби (наприклад, промивка фільтрів).

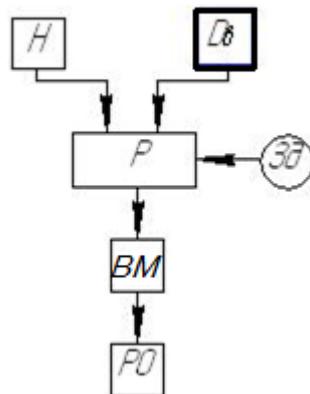


Рис. 7.1. Структурна схема регулювання продуктивності прояснювача [13]

Дв — витрата води до освітлювача; Н — рівень у баку проясненої води Р— регулятор продуктивності; ЗД — задатчик; ВМ — виконавчий механізм, РО — регулюючий орган.

Слід мати на увазі, що при стабільному навантаженні прояснювача, поліпшуються умови збереження шару завислого осаду (шламу), поліпшується якість проясненої води, полегшується робота дозуючого

обладнання. Стабілізація навантаження досягається створенням у баку проясненої води нерегульованого обсягу (20-25% ємності бака), в межах якого зміна рівня не викликає спрацьовування регулятора. Це здійснюється збільшенням зони нечутливості регулятора. Для поліпшення роботи АСР у якості зворотного зв'язку вводиться додатковий імпульс за витратою води на прояснювач.

При різкозмінних навантаженнях з великими амплітудами рекомендується відключати вплив регулятора при зниженні витрати води до прояснювача до 30 і підвищенні – до 125% номінального. При установці групи прояснювачів для кожного передбачається свій бак і індивідуальний регулятор продуктивності.

Регулювання температури води, що подається до прояснювача (рис. 7.2), повинне здійснюватися з точністю  $\pm 1^\circ\text{C}$ . Відхилення понад  $1^\circ\text{C}$ , веде до порушення процесу кристалізації в прояснювачі. Регулятор одержує імпульс по температурі води за підігрівником і впливає на подачу теплоносія до підігрівника або до групи паралельно працюючих підігрівників.

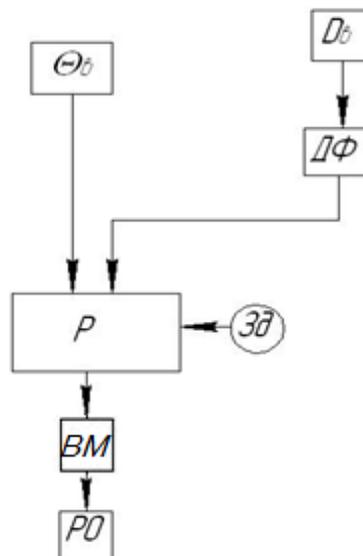


Рис. 7.2. Структурна схема регулювання температури води, що подається до прояснювача [13]

$\Theta_c$  — температура води за підігрівником;  $D_c$  — витрата води за підігрівником;  $P$  — регулятор температури;  $ДФ$  — диференціатор;  $Зд$  — задатчик;  $ВМ$  — виконавчий механізм;  $РО$  — регульовальний орган.

При різко змінних навантаженнях слід відводити додатковий імпульс щодо швидкості зміни витрат води через підігрівник і встановлювати регулятори на кожний підігрівник.

Крім вихідної води, в прояснювач надходить вода, що збирається після відмивання механічних фільтрів. Як правило, фільтри відмиваються проясненою водою, в яку під час відмивання попадають зважені частки, що сприяють процесу утворення шламу в прояснювачах. Щоб не порушувати процес шламоутворення в прояснювачі, витрата води, що регенерується, повинна становити 10-12% витрати вихідної води, яка надходить на прояснювач (рис. 7.3). Регулятор

співвідношення подачі води, що регенерується, в прояснювач підтримує потрібне співвідношення витрат, впливаючи на подачу регенераційної води в прояснювач.

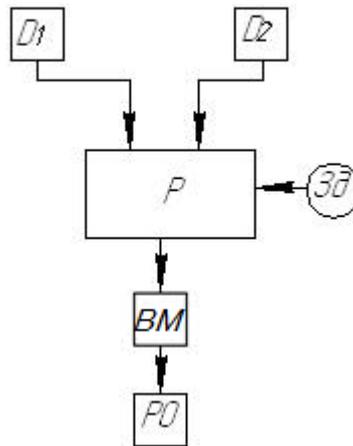


Рис. 7.3. Структурна схема регулювання витрати води, що регенерується, до прояснювача [13]

$D_1$  — витрата води, що регенерується, в прояснювачі;  $D_2$  — витрата вихідної води на прояснювач;  $P$  — регулятор витрати;  $Зд$  — задатчик;  $ВМ$  — виконавчий механізм;  $РО$  — регулюючий орган.

Подача реагентів у вихідну воду проводиться насосами-дозаторами. Теоретично дозування реагентів слід регулювати за імпульсом, що відбиває якість оброблюваної води. Однак надійні дешеві і прості в експлуатації прилади промисловість у цей час не випускає. Тому дозування реагентів виконується насосом-дозатором пропорційно витраті оброблюваної води (рис. 7.4).

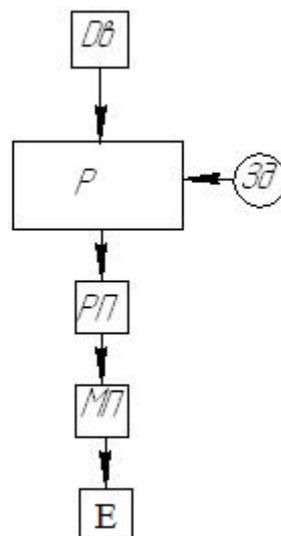


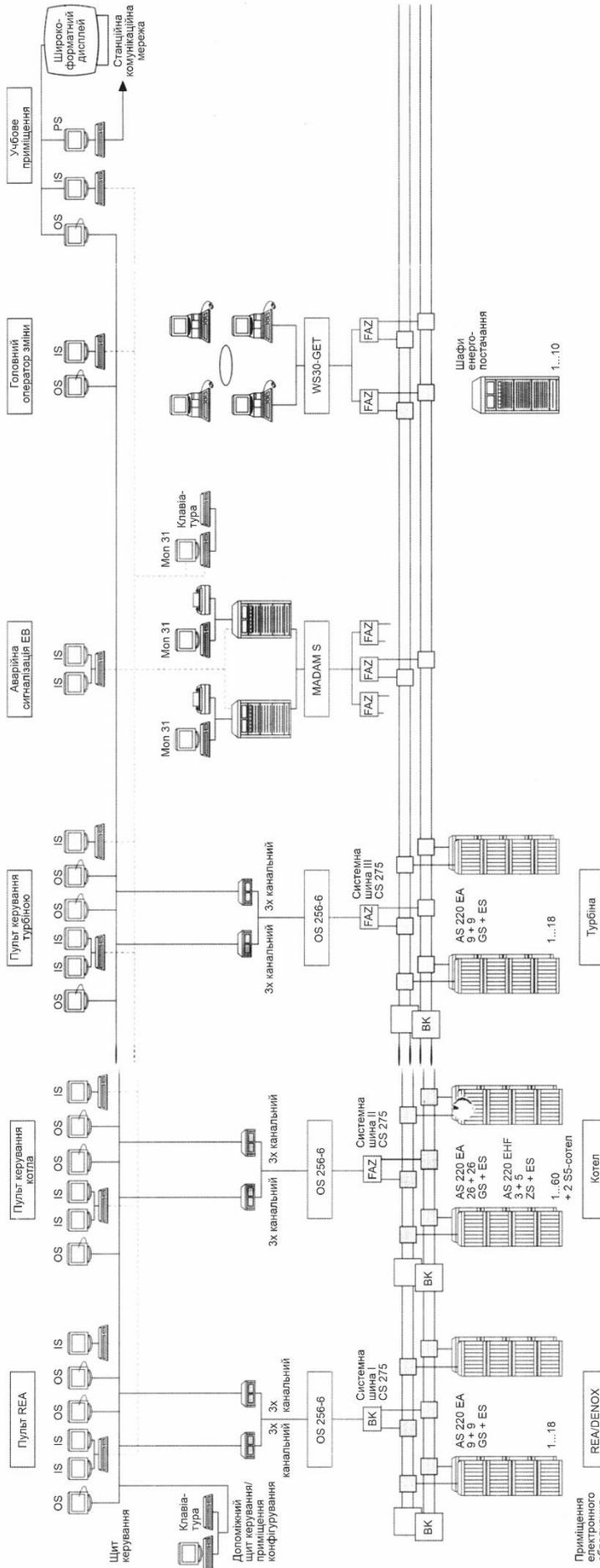
Рис. 7.4. Структурна схема регулювання дозування реагенту по витраті вихідної води [13]

$D_в$  — витрата вихідної води;  $РП$  регулятор;  $ЗП$  — задаючий пристрій;  $РП$  — проміжне реле;  $МП$  - магнітний пускач;  $Е$  — електродвигун насоса-дозатора.

В прояснювач подаються вапняне молоко (для зниження жорсткості води і створення кристалічних опадів), коагулянт і поліакриламід (для процесу видалення з води грубодисперсних і колоїдних домішок). Кількість вапняного молока, що подається, залежить від якості оброблюваної води, а коагулянту й поліакриламиду - від кількості води.

Тому передбачаються роздільні регулятори для дозування зазначених реагентів.

У схемах водопідготовки застосовуються Н- і Na-катіонітові фільтри. Фільтри діаметром більш 3м поставляються комплектно з мембранними клапанами, що дозволяють автоматизувати процес відновлення фільтрів.



А.1. Структура АСК ТП

## АВТОМАТИЧНЕ РЕГУЛЮВАННЯ ПАРОВИХ КОТЛІВ



**Особливості котельних агрегатів як об'єктів регулювання.** Котельні агрегати є складними об'єктами автоматичного регулювання з великим числом регульованих параметрів і регулюючих впливів. Котли мають значну акумулюючу здатність теплової енергії в воді, парі і металі пароводяного тракту. Котельні агрегати також, характеризуються значними швидкостями протікання процесів в пароводяному тракті. Так, зниження рівня води в барабані котла на 100мм при повній паропродуктивності котельного агрегату з припиненням подачі живильної води, відбувається за 20с.

Показниками протікання теплових процесів на котельному агрегаті є регульовані параметри. В їх числі зовнішні: витрата пари, тиск пари при виході з котла, температура перегріву пари; і внутрішні: рівень води в барабані котельного агрегату, коефіцієнт надлишку повітря, розрідження в топці та інші.

Характер перебігу процесів в котельному агрегаті визначається видом і величиною впливів: зовнішніх - з боку споживача, внутрішніх - зміна складу і якості палива, надлишку повітря, що подається в топку котла, розрідження в топці, зміна витрати живильної води.

**Завдання регулювання котельних агрегатів.** До завдань регулювання котельних агрегатів, які диктуються як вимоги споживачів пари, так і необхідністю забезпечення надійного і економічного режиму роботи самих котлів, відносяться наступні:

- приведення навантаження котельного агрегату у відповідність до завдання;
- підтримання заданих значень тиску і температури пари, що надходить споживачеві;
- підтримання такого співвідношення між подачами палива і повітря, а для котлів з шахтно-млиновими топками такого розподілу первинного та вторинного повітря, яке відповідає найвищій економічності топкового процесу;
- стабілізування розрідження в топці;
- підтримання в барабанних котельних агрегатах постійного рівня води в барабані в встановлених межах, а також солемісту котлової води;

Для котлів прямого типу, крім перерахованих вище:

- підтримання заданих значень вологості і температури пари у водопаровому тракту і, в першу чергу, в районі перехідної зони, де має відбуватися відкладення солей, щоб уникнути переміщення цієї зони в область радіаційного обігріву;
- підтримання в котельних агрегатах з промивально-сепаратною схемою певної вологості пари перед сепаратором.

Перераховані завдання вирішуються шляхом впливу на регульовальні органи котельного агрегату, що керують подачами живильної води, палива, загального, а при шахтно-млинових топках, і первинного повітря, відсмоктуванням димових газів, подачею охолоджувальної води на пароохолоджувачі або іншими засобами регулювання температури пари, величиною безперервного продування води з барабана котлоагрегату.

**Паровий котел як об'єкт регулювання.** Паровий котел - це складна динамічна система з декількома взаємопов'язаними вхідними та вихідними величинами. Однак виражена спрямованість ділянок регулювання за основними каналами регулюючих впливів дозволяє здійснювати стабілізацію і зміну регульованих параметрів за допомогою

незалежних одноконтурних систем, пов'язаних через об'єкт регулювання - котельний агрегат.

Система автоматичного регулювання барабанного парового котла в цілому складається з окремих замкнутих контурів:

- тиску перегрітої пари і теплового навантаження;
- економічності процесу горіння палива;
- розрідження у верхній частині топки;
- температури перегрітої пари;
- живлення котельної водою;
- якості котлової води.

Вимоги високої точності регулювання параметрів для забезпечення надійної та економічної роботи котельного агрегату обумовлює необхідність застосування швидкодіючих автоматичних регулюючих пристроїв. У регулюванні котлоагрегатів широко застосовуються електричні схеми з електронними регуляторами. В якості виконавчих механізмів використовуються електромеханічні сервоприводи з редукторами та колонки дистанційного керування.

### **Автоматичне регулювання процесу горіння барабанних котлів.**

Функції приведення навантаження котла до заданого значення, функції забезпечення відповідності між подачами палива і повітря, стабілізації розрідження в топці покладаються на регулятори палива, повітря і тяги, комплекс яких називається «регуляторами процесу горіння».

**Регулювання подачі палива.** В кожний момент часу в топці котла повинно згоряти стільки палива, щоб кількість пари, що виробляється котельним агрегатом, відповідала кількості споживаного пара, тобто зовнішнього навантаження котельного агрегату. Показником такої відповідності є тиск пари при виході з котла.

Якщо при згорянні палива виділяється більше тепла, ніж це необхідно для виробництва споживаної кількості пара, то зайве тепло акумулюється в котлі, що призводить до зростання тиску. Навпаки, якщо паливо подається в недостатній кількості, то потреба в парі покривається частково за рахунок тепла, акумульованого в котельній воді, а тиск пари при цьому падає. Таким чином, подача палива повинна здійснюватися так, щоб забезпечити постійний тиск пари при виході з котла.

**Регулювання подачі повітря.** подача повітря в топку повинна забезпечити найбільш економічний режим горіння палива. Для цього потрібно підтримувати відповідність між кількістю і якістю палива, що подається, з одного боку, і кількістю повітря, необхідного для горіння, з іншого. Показником цієї відповідності є коефіцієнт надлишку повітря в топці  $\alpha_T$ , який контролюється за даними газового аналізу.

Оптимальне значення надлишку повітря залежить від виду палива, способу його спалювання, конструкції топкового пристрою, навантаження котельного агрегату. У конкретних умовах оптимальне значення  $\alpha_T$  при різних навантаженнях визначається на підставі випробувань котельного агрегату.

Значення  $\alpha_T$  можна оцінити за змістом вільного кисню  $O_2$  в димових газах, що залишають топку.

$$\alpha_T = 21 / (21 - O_2)$$

Вміст  $O_2$  визначають в поворотній камері газоходу за пароперегрівом в %. Оптимальне значення  $O_2$  при номінальному навантаженні в процесі спалювання пилоподібного палива - 3-5%, при спалюванні мазуту і газу - 0,2-2%, при цьому  $\alpha_T = 1,2 - 1,3$ .

Значне збільшення надлишку повітря проти оптимального призводить до зростання втрат тепла з газами ( $q_2$ ), а надмірне зниження надлишку повітря збільшує втрати з хімічною неповнотою згорання ( $q_3$ ).

**Регулювання тяги.** Регулювання тяги повинно забезпечувати повне видалення продуктів згоряння.

В статичних (рівноважних) режимах продуктивність димососів повинна в кожний момент часу відповідати продуктивності дуттьових вентиляторів. Показником цієї відповідності служить розрідження в котельній камері.

Допускати в топці котельного агрегату надлишковий тиску не можна, за винятком котлоагрегатів, що працюють під наддувом, так як це викликає вибивання газів і полум'я з топки.

З іншого боку, при значному розрідженні, в топці зростають присоси повітря, що знижує економічність роботи котла за рахунок втрат з газами ( $q_2$ ) і збільшення витрати електроенергії на роботу димососів.

Розрідження в різних зонах топкового простору котельного агрегату по висоті топкової камери неоднакове. Внаслідок явища Самотяга розрідження у верхній частині топки буває зазвичай приблизно на 0,1 кПа більше, ніж у нижній. Тому підтримують необхідне мінімальне розрідження у верхній частині топкової камери.

### Схеми регулювання процесу горіння парових барабанних котлів

У зв'язку з великою конструктивною різноманітністю топкових пристроїв і систем подачі палива для котлів, що працюють на різних видах палива, істотно розрізняються і схеми регулювання процесу горіння, що забезпечують задане теплове навантаження котельного агрегату.

Найбільш поширеними є системи регулювання процесу горіння для котлів з пилососильників, шахтно-млиновими топками і для котлів, що працюють на рідкому і газоподібному паливі.

В перших найпростіших схемах регулювання процесу горіння в якості критерію теплового навантаження було використано положення органу, що регулює подачу палива,  $h_T$  (рис. Б.1, а).

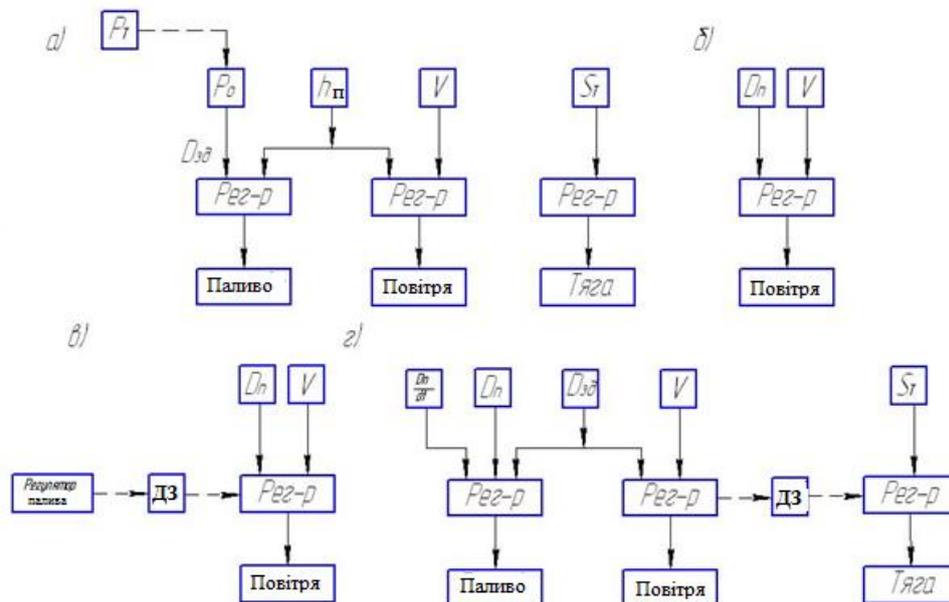


Рис. Б.1. Структурні схеми регулювання процесу горіння [13]

$P_T$  - тиск в загальному паропроводі,  $P_0$  - тиск первинної пари,  $D_{зд}$  - завдання,  $h_{п}$  - положення регулюючого органу подачі палива,  $D_n$  - витрата первинної пари,  $V$  - витрата повітря,  $ST$  -

розрідження в топці котла,  $\frac{dp}{dt}$  - швидкість зміни тиску пари, ДЗ - динамічний зв'язок.

Цей імпульс був зворотним зв'язком для регулятора палива, до якого надходив заданий сигнал від регулятора тиску при виході з котла або від головного (коригуючого) регулятора, що діє за тиском в магістралі, при паралельній роботі декількох котлів на загальний паропровід. Сигнал за положенням регулюючого органу подачі палива подавався на регулятор повітря, до якого надходив також сигнал зворотного зв'язку за витратою повітря ( $V$ ). Розрідження в топці ( $S_T$ ) підтримувалося незалежним регулятором тяги. Така схема регулювання процесу горіння, коли витрата повітря приводиться у відповідність з витратою палива, носить назву «паливо-повітря».

Недоліком описаної вище схеми регулювання процесу горіння, в першу чергу, є мало уявний метод оцінки фактичного теплового навантаження котла – для котлів, що спалюють тверде паливо, через можливі зміни якості палива, нестабільності характеристик пилосивильників і т.і. Ці чинники призводили до різкого порушення економічності топкового процесу і відхилення дійсного навантаження від заданого. Недоліки схеми призвели до відмови від схеми «паливо-повітря» з використанням сигналу за положенням регулюючого органу подачі палива для котлів, що спалюють вугільний пил.

Схему «паливо-повітря» змінила схема, організована за принципом «пара-повітря» (рис. Б.1, б), де сигналом регулятора повітря служить витрата пари при виході з котла ( $D_p$ ).

При сталості температури живильної води, тепловмісту пари, ККД котлоагрегату та при спалюванні односортного палива витрата пари в статисти практично однозначно задає теоретично необхідне для горіння витрату повітря. Тому при сталих режимах схема «пара-повітря» забезпечує задовільну точність підтримки заданого коефіцієнту надлишку повітря, визначального фактору економічності топкового процесу.

Однак в перехідних режимах, пов'язаних зі зміною акумульованого у котлі тепла, витрата пари не узгоджується з фактичним тепловим навантаженням котла, і оптимальне співвідношення між подачами палива і повітря порушується.

Корисним удосконаленням схеми «пара-повітря» є використання динамічного зв'язку (зникаючого імпульсу) від регулятора палива до регулятора повітря (рис Б.1.в). Динамічний зв'язок діє тільки в перехідних режимах і не робить залишкового впливу на вимірювальну схему регулятора повітря.

Загальною проблемою створення оптимальної схеми регулювання горіння для котлів, що працюють на твердому паливі, є вимірювання витрати палива. Неоднорідність складу твердого палива робить можливим зміну тепловиділення при постійній подачі палива. Тому для котлоагрегатів, що працюють на твердому паливі, в схемах регулювання процесу горіння доцільно використовувати сигнал, пов'язаний з виділенням тепла в топці. Таким сигналом є сигнал по «теплу» - теплове навантаження.

Сигнал за тепловим навантаженням був запропонований З.Я. Бейрахом і В.М. Добкіним [7]. Тепловим навантаженням котла називають витрату пари, яка була би отримана, якщо сприйняте поверхнями нагріву котельного агрегату тепло було витрачено на пароутворення, а не акумулювалося частково водою, парою і металом пароутворюючої частини котла. Внаслідок теплової та матеріальної акумуляції тиск пари в будь-якій точці пароводяного тракту змінюється не миттєво, а зі швидкістю, яка визначається співвідношенням  $A \frac{dp}{dt} = Q - D_n(i'' - i_{ж})$ , де  $P$  - тиск пари,  $Q$  - кількість тепла, сприйнятого поверхнями нагріву котла,  $D_n$  - витрата пари,  $D_n (i'' - i_{ж})$  - тепловміст пари,  $i''$  - ентальпія насиченої пари,  $i_{ж}$  - ентальпія живильної води,  $A$  - розмірний коефіцієнт, що характеризує акумулюючу здатність пари, води, металу поверхонь нагріву.

Розділивши всі члени рівняння на  $(i'' - i_{ж})$  отримаємо

$$\frac{Q}{(i'' - i_{ж})} = D_n + \frac{A}{(i'' - i_{ж})} \frac{dp}{dt}$$

Позначимо  $D_q = \frac{Q}{(i'' - i_{ж})}$   $c = \frac{A}{(i'' - i_{ж})}$  та запишемо рівняння у вигляді:

$$D_q = D_n + c \frac{dp}{dt} ,$$

де  $D_q$  - теплове навантаження, що характеризує тепловиділення випарних поверхонь котла в одиницю часу, виражену в одиницях витрати пари,  $C$  - стала, що характеризує масову акумулюючу здатність пароводяної суміші і металу випарної частини котла.

Економічність топкового процесу в перехідних режимах залежить від узгодженості в змінах подачі палива і повітря, тому визначається не тільки схемою регулювання витрати палива, але і схемою регулювання подачі повітря.

Перевагу в САК процесів горіння на котлах отримала комбінація регулятора палива, діючого по теплу, у порівнянні з регулятором повітря, виконаним за схемою «задане навантаження-повітря» (рис. Б.1, г).

Розробка і впровадження в САК котла швидкодіючого газоаналізатора, що безперервно вимірює вміст  $O_2$  в димових газах, призвела до створення схем регулювання, заснованих на безпосередньому контролі економічності топкового процесу. В цьому випадку регулятор повітря працює від сигналу за змістом  $O_2$  в димових газах, а крім того, сприймає сигнал динамічного зв'язку, зникаючий в статиці, від регулятора палива для поліпшення якості перехідних процесів.

Регулювання подачі палива на потужних котлах, що працюють на пилоподібному паливі, здійснюється за допомогою пиложивильників. Спосіб регулювання швидкості електродвигунів пиложивильників заснований на одночасній зміні струму збудження електродвигунів постійного струму за допомогою спеціального пристрою - плоского контролера.

Станція групового регулювання швидкості електродвигунів живильників пилу призначена для групового автоматичного або ручного дистанційного регулювання швидкості електродвигунів постійного струму (*а там до сих пор ДПС використовуються?*) живильників вугільного пилу або сирого вугілля.

Сучасні системи електродвигунів пиложивильників надають можливість керувати одночасно до 48 пиложивильників і здійснювати безступінчасту зміну швидкості приводних електродвигунів в межах від 300 до 1500 об/хв.

### **Регулювання процесу горіння на котлах, що працюють на рідкому і газоподібному паливі.**

Для котлів, що спалюють рідке та газове паливо, регулювання процесу горіння організовується за принципом «паливо-повітря» (рис. Б.2).

Регулятор навантаження (тиску) (10) впливаючи на регулюючий орган подачі палива (28) встановлює відповідний режиму витрату палива.

Регулятор економічності (регулятор повітря) (25) порівнює витрати палива і повітря і, впливаючи на поворотні напрямні апарати або дросельні заслінки дуттьових вентиляторів (24), приводить витрати повітря у відповідність до подачі палива. Для оптимізації процесу горіння при режимах, відмінних від номінальних, регулятор економічності отримує додатковий імпульс за кількістю вільного кисню  $O_2$  у вихідних з котла димових газах.

Задане розрідження у верхній частині топки (для котлоагрегатів, що працюють без наддуву) підтримується регулятором розрідження (22), що впливає на поворотні напрямні апарати або дросельні заслінки димососів (23). Для поліпшення якості процесу регулювання до регулятора розрідження (22) підводиться зникаючий в статиці імпульс від регулятора економічності (25) через пристрій динамічного зв'язку.

Регулятор розрідження, отримуючи випереджаючий сигнал від регулятора економічності, через пристрій динамічного зв'язку, переводить димососи на новий режим

роботи до того, як зміниться розрідження в топці. Цим забезпечується більш точна підтримка заданого розрідження.

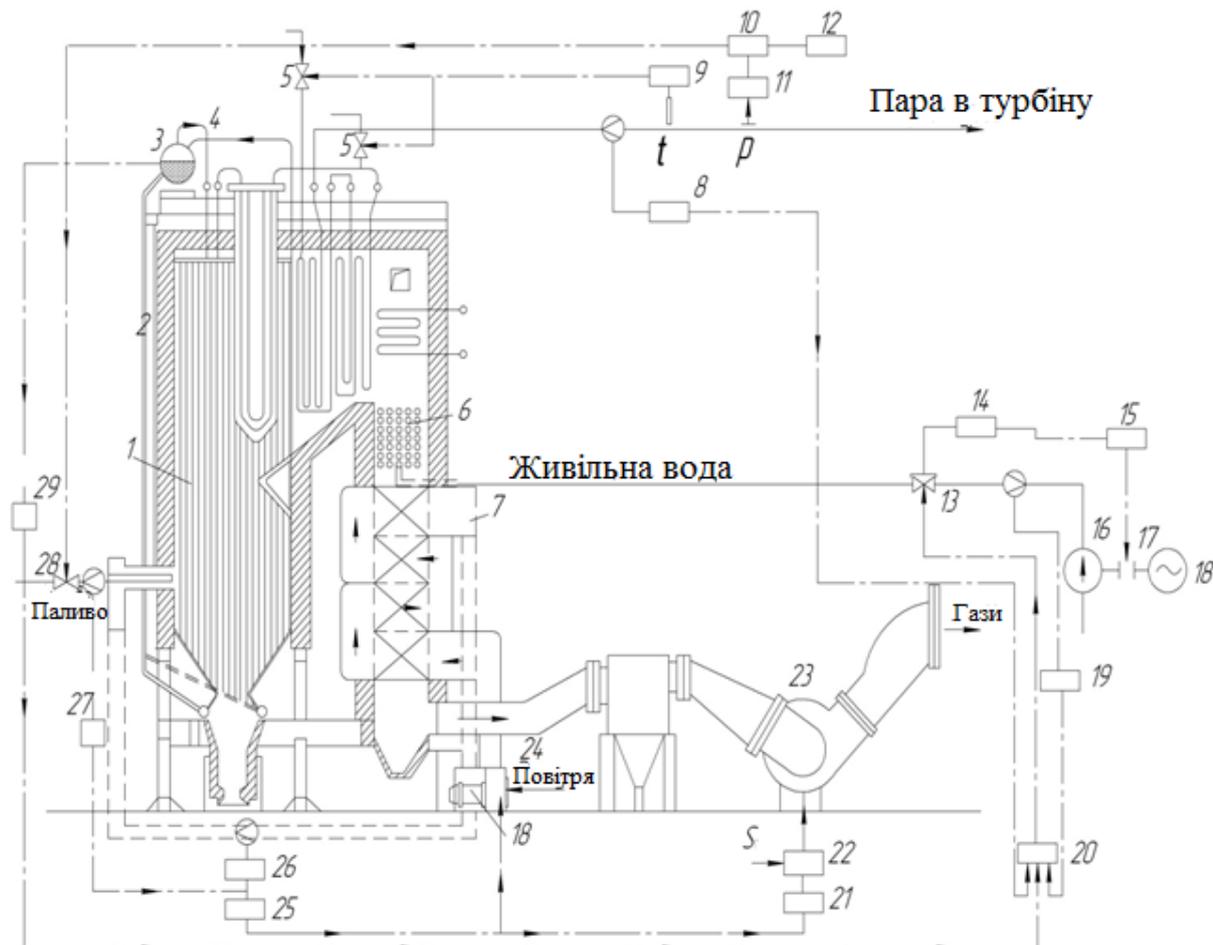


Рис. Б.2. Принципова схема регулювання барабанного котла [13]

1 - екранні поверхні топки, 2 - опускні екрани, 3 - барабан, 4 - пароперегрівач, 5 - вприскування води, 6 - економайзер, 7 - підігрівач повітря, 8 - датчик витрати пари, 9 - регулятор температури, 10 - регулятор тиску, 11 - датчик тиску, 12 - задатчик, 13 - живильний клапан, 14 - диференційний манометр, 15 - регулятор продуктивності, 16 - живильний насос, 17 - гідромуфта, 18 - електродвигун, 19 - датчик витрати живильної води, 20 - регулятор живлення, 21 - пристрій динамічного зв'язку, 22 - регулятор розрідження, 23 - димосос, 24 - дуттьовий вентилятор, 25 - регулятор економічності процесу горіння, 26 - датчик витрати повітря, 27 - датчик витрати палива, 28 - регулюючий орган подачі палива, 29 - датчик рівня в барабані.

### Регулювання живлення барабанного котельного агрегату водою.

Автоматизація живлення барабанних котлоагрегатів передбачає автоматичне керування живленням водою як за умов нормального протікання експлуатаційних режимів роботи котла, так і при режимах пуску і зупинки котельного агрегату.

В свою чергу нормальні експлуатаційні режими роботи можуть протікати при постійному і змінному (змінний) тиску свіжої пари.

Показником відповідності матеріального балансу між парою та водою - витрати свіжої пари і витрати живильної води служить рівень в барабані котла. Відхилення рівня води в барабані від середнього значення характеризує наявність дисбалансу між припливом живильної води і витратою пари. Воно (відхилення) відбувається також внаслідок зміни паровмісту пари в пароводяній суміші підйомних труб за рахунок

коливань тиску пари в барабані котла або змін теплосприйняття випарних поверхонь нагріву.

Так, при збільшенні витрати пара, в перший момент після збурення рівень води в барабані зростає в результаті різкого зменшення тиску пари, що, в свою чергу, призводить до збільшення паровмісту в підйомних трубах циркуляційного контуру та зростання рівня. Це явище називається набуханням рівня.

При зміні навантаження котла і, як наслідок, зміну його паропродуктивності середній рівень води повинен підтримуватися постійним.

Максимально допустимі відхилення рівня води в барабані складають + 100мм від середнього значення, встановленого заводом-виробником. При цьому середній рівень не обов'язково повинен збігатися з геометричною віссю барабана. Зниження рівня нижче видимої частини водомірного скла, встановленого на барабані котельного агрегату, вважається нестачею води, а перевищення його верхньої видимої частини - переживленням. Відстань між цими критичними оцінками становить 400мм. Зниження рівня нижче місця приєднання опускних труб циркуляційного контуру може призвести до порушення живлення та охолодження водою підйомних труб, порушення їх міцності в місцях стикування з корпусом барабана, а в найбільш важких випадках і перепал.

Надмірне підвищення рівня може призвести до погіршення дії внутрішньо барабанних сепараторних пристроїв, заносу солями пароперегрівача, а також потрапляння частинок води в турбіну, що може стати причиною важких механічних пошкоджень лопаток її ротора.

Постачання барабана водою здійснюється за одною, рідше двома ниткам трубопроводів живильної води, одна з яких служить резервною.

**Схема автоматичного регулювання живлення котельного агрегату.** У САК живлення котла водою реалізований принцип комбінованого регулювання зі збуренням - при зміні витрати пари або живильної води і відхилення - при зміні рівня води в барабані котла.

Регулятор живлення повинен забезпечити сталість середнього рівня води незалежно від навантаження котла і впливів, що збурюють (Рис. Б.3).

У САК живлення для цих цілей використовують трьохімпульсний регулятор живлення. Сигнали по збуренню – витрата свіжої пари  $D_n$ , витрата живильної води  $D_{ж}$ . Сигнал по відхиленню – рівень в барабані котельного агрегату  $H_6$ . Сигнал по витраті живильної води використовується як вимикаючий для зняття в статистиці сигналу по витраті пари.

Регулятор живлення переміщує регулюючий орган на лінії живильної води при появі сигналу дисбалансу між витратами живильної води і перегрітої пари. Крім цього він впливає на стан клапана при відхиленні рівня води в барабані котельного агрегату від заданого значення. Використання сигналів  $D_n$  і  $D_{ж}$  забезпечують швидкодію САК живлення, сигнал  $H_6$  - задану точність підтримки рівня в барабані.

У схемі вимірювального блоку регулятора живлення датчики  $D_n$ ,  $D_{ж}$  і  $H_6$  включені таким чином, що при зниженні рівня води в барабані котлоагрегату (збільшення витрати пари та зменшення витрати живильної води) вони діють в одному напрямку - в сторону відкриття живильного клапана, а при підвищенні рівня (зменшення витрати пари та збільшенні витрати живильної води) – в сторону закриття живильного клапана.

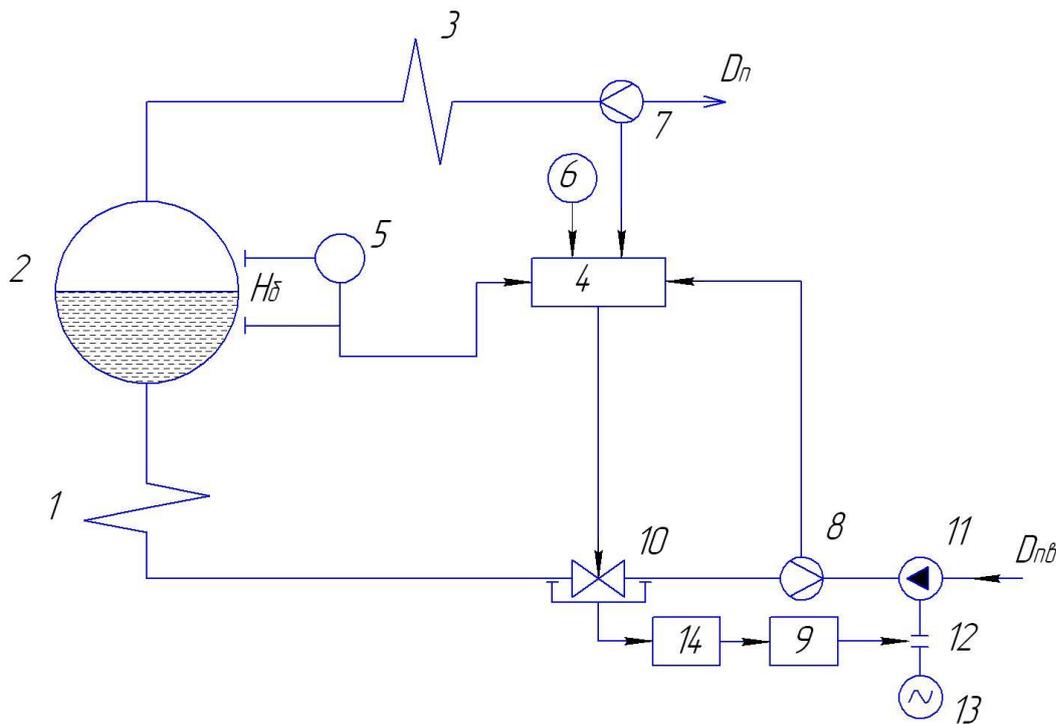


Рис. Б.3. Принципова схема регулювання живлення барабана котла [13]

1 - економайзер, 2 - барабан котла, 3 - пароперегрівач, 4 - регулятор живлення, 5 - датчик рівня, 6 - задатчик, 7 - датчик витрати пари, 8 - датчик витрати живильної води, 9 - регулятор продуктивності, 10 - живильний клапан, 11 - живильний насос, 12 - гідромуфта, 13 - електродвигун, 14 - диференційний манометр

Як регулюючі органи живлення використовуються шибєрні клапани і клапани золотникового типу.

При повному скиданні навантаження на котлі внаслідок підвищення тиску пари в барабані можливо спрацьовування запобіжних клапанів. Кількість пари, що проходить через ці клапани не враховується датчиком витрати пари. Регулятор живлення при цьому стає двохімпульсним і буде підтримувати занижений рівень в барабані відповідно до нерівномірності регулятора за рівнем. Тому необхідно вибирати мінімально можливу величину нерівномірності за рівнем, що забезпечує прийнятні динамічні якості САК живлення.

При змінному початковому тиску пари перед турбіною для котла, що працює з нею в блоці, по всьому пароводяного тракту відсутнє дроселювання робочого тіла, а зменшення тиску проводиться зниженням швидкості обертання живильного насоса, при цьому скорочується потужність, що витрачається на його привод. Зміна числа обертів живильного насоса, (11) пов'язаного гідромуфтою (12) з електродвигуном (13), досягається впливом регулятора продуктивності (9) по сигналу перепаду тиску на живильному клапані (10) від дифманометра (14).

### Регулювання безперервного продування барабанних парових котлів.

Хімічний склад води, що циркулює в барабанних котлах, має суттєвий вплив на тривалість їх безперервної роботи і безремонтної компанії. До основних показників якості котлової води відносять загальний солевміст (концентрація солей в перерахунку на солі  $\text{NaCl}$  мг / кг) і надлишок вмісту фосфатів  $\text{PO}_4^{-3}$ .

Підвищення загального солевмісту може привести до винесення солей котельної води в пароперегрівач і проточну частину турбоагрегату.

Брак концентрації фосфатів викликає інтенсивний процес накипу формування на внутрішніх поверхнях екранних труб, що веде до погіршення їх охолодження пароводяної сумішшю, а, отже, до перегріву в місцях утворення накипу і в кінцевому підсумку до перегріву металу труб.

Підтримка загального солемісту котлової води в межах норми здійснюється за допомогою безперервних і періодичних продувок з барабана в спеціальні розширювачі. Втрати води котла з продувкою заповнюють живильною водою у кількості, визначеній рівнем води в барабані котельного агрегату. Періодичність продування для видалення скупчень шламу в нижніх колекторах виконують 1-2 рази на зміну та, як правило, не автоматизують. Безперервна продувка служить для видалення надлишку солі NaCl і оксидів кремнію SiO<sub>2</sub>, що скупчуються в котельній воді в процесі пароутворення.

Регулювання безперервної продувки здійснюється впливом регулятора продувки на регулюючий клапан на лінії продування.

Схема автоматичного регулювання безперервної продувки наведена на рис. Б.4.

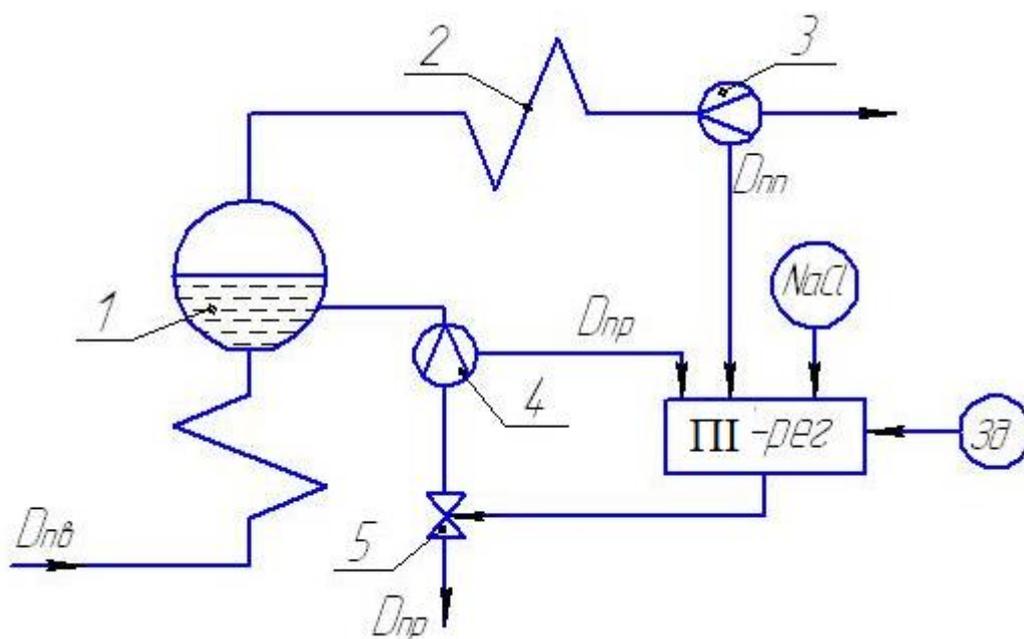


Рис. Б.4. Принципова схема регулювання безперервної продувки [13]  
 1 - барабан к/а, 2 - пароперегрівач, 3 - датчик витрати свіжої пари  $D_{nn}$ , 4 - датчик витрати продувальної води  $D_{np}$ , 5 - регулюючий клапан продувки, III-рег - регулятор продувки, Зд - задатчик ручного управління

На вхід III-регулятора надходять сигнали по витраті пари  $D_{nn}$  і витраті продувальної води  $D_{np}$ , а також коригувальний сигнал по солемісту солей NaCl.

Безперервне вимірювання надлишку фосфатів у воді важко через відсутність відповідного датчика. Необхідну концентрацію фосфатів встановлюють залежно від парового навантаження котла введенням фосфатів в чистий відсік барабана. Необхідне співвідношення між вмістом фосфатів, паровим навантаженням і безперервної продувкою встановлюють за результатами теплохімічних випробувань. Витрата води безперервного продування коливається в межах 0,5-2% максимальної продуктивності парового котла.

## АВТОМАТИЗАЦІЯ ДОПОМІЖНОГО ОБЛАДНАННЯ КОТЕЛЕНЬ АГРЕГАТІВ ТЕС



В системі подачі палива автоматизуються наступні періодичні операції:

1. Пуск механізмів і стрічкових транспортерів.
2. Процес завантаження бункерів сирого вугілля і відключення механізмів та транспортерів після закінчення завантаження
3. Включення вібраторів в процесі застрягання вугілля у вузлах пересилання.
4. Зупинка всіх попередніх по ходу палива транспортерів при пробуксовці, обриві і сході стрічки або забиванні приймальних пристроїв на наступних транспортерах.

### Регулювання пилосистем з кульовими барабанними млинами.

В системах пилоприготування з проміжним бункером розмелювання і підсушування палива здійснюють в кульових барабанних тихохідних млинів (КБМ). Продуктивність КБМ і витрата палива, що надходять в топку, не пов'язані між собою, так як КБМ працює на промбункером пилу, звідки через шнековий живильник пил надходить до топку. Продуктивність КБМ та її завантаження пов'язані лише за певних умов, а саме, появи завалу млинів, коли надмірна товщина шару палива всередині млина перешкоджає захопленню сталевих куль обертовим барабаном, і маса куль «прослизає» щодо його корпусу. Принципова схема регулювання пилосистеми з КБМ наведена на рис. В.1.

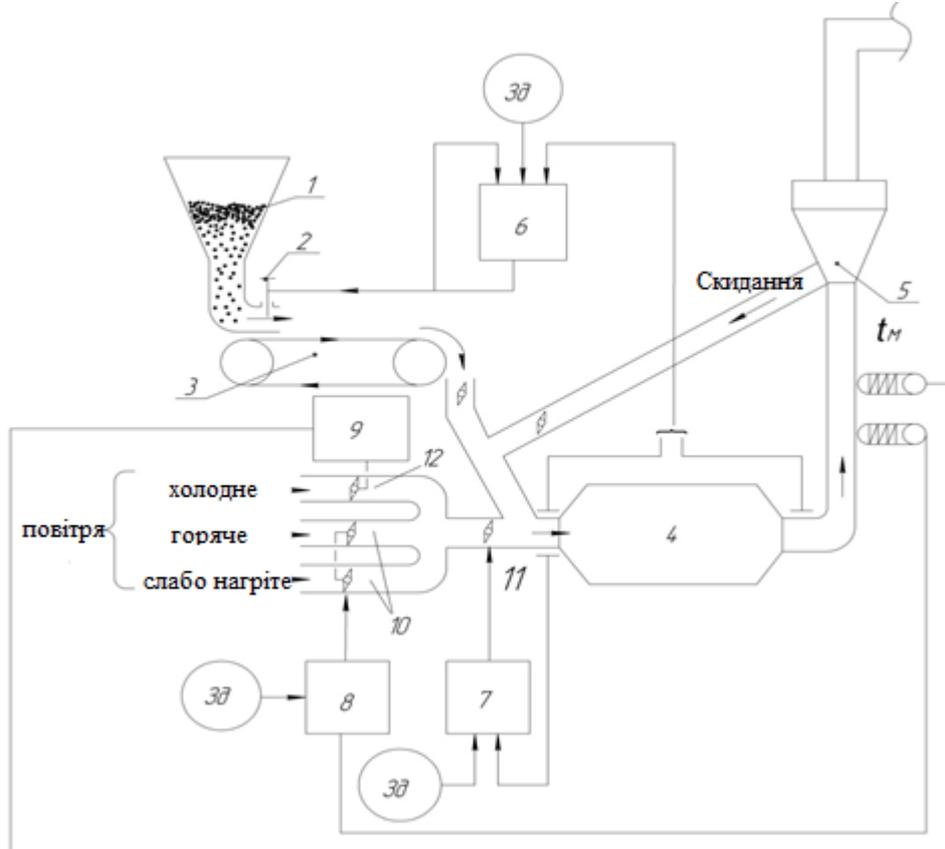


Рис. В.1. Принципова схема регулювання пилосистеми із шаробарабанним млином [13]

1 - бункер сирого вугілля; 2 - шибер стрічкового живильника; 3 - стрічковий живильник палива; 4 - шаробарабанний млин; 5 - сепаратор; 6 - регулятор завантаження млина; 7 - регулятор розрідження у вхідній горловині млина; 8 - регулятор температури повітряної суміші за млином; 9 - регулятор аварійної присадки холодного повітря; 10 - сепараційні заслінки; 11,12 - заслінки; Зд - задатчик ручного керування.

**Регулювання завантаження млина.** Завантаження КБМ оцінюють за перепадом тисків  $\Delta P_m$  повітряної суміші до та після млина або вимірюванням різниці швидкостей суміші в тих же точках.

Стабілізацію завантаження здійснюють впливом на стан ножа живильника сирого вугілля (стрічкового або тарілчастого) в залежності від значення обраного показника завантаження і перепаду тиску. Однак, продуктивність млина бажано підтримувати не постійною, а змінювати в залежності від вентиляції, зменшуючи зі збільшенням вентиляції і навпаки. Це дозволяє стабілізувати дисперсність помелу при порушеннях повітряного режиму млина. В цьому випадку пил, який стає грубим, що, в свою чергу, викликане збільшенням витрати повітря, буде компенсуватися зменшенням завантаження млина. У схемі регулювання продуктивності млина (рис. В.1) використовується двохімпульсний регулятор завантаження млина (6) з жорстким зворотним зв'язком по положенню регулюючого органу - шибера стрічкового живильника (2) і основним сигналом за перепадом тисків аеросуміші на млині  $\Delta P_m$ .

**Регулювання розрідження перед млином.** Кульова барабанна млин (4) повинна знаходитися під постійним розрідженням, щоб запобігти вибиванню пилу з її горловини. Вхідним сигналом для ПІ-регулятора розрідження (7) є розрідження перед млином ( $S_m$ ). Регулятор впливає на заслінку (11) на лінії підведення повітря до млина.

**Регулювання температури повітряної суміші за млином.** Температуру аеросуміші за млином  $t_m$  стабілізують в заданих межах впливом на витрату суміші слабопідігрітого і гарячого повітря. Правила технічної експлуатації котельних агрегатів встановлюють максимально допустимі значення температур аеросуміші за млином для палив з вологістю до 25% - 70°C, для палив з вологістю понад 25% - 80°C, для пісного вугілля - 100°C. В якості оптимальної приймається  $t_m$  на 3-5°C нижче максимально допустимої.

ПІ-регулятор температури аеросуміші (8) отримує сигнал  $t_m$  від датчика температури аеросуміші за млином і через виконавчий механізм переміщує в потрібному напрямку спарені заслінки (10), встановлені на лініях подачі слабопідігрітого і гарячого повітря. Зчленування виконавчого механізму зі спареними заслінками виконані так, що при відкритті однієї з них інша закривається і, навпаки; з тим, щоб загальна витрата повітря на млин залишалася незмінною.

У пилосистемах з вибухонебезпечними паливами крім регулятора температури аеросуміші передбачений регулятор аварійної присадки холодного повітря (9), що відкриває заслінку (12) на лінії подачі холодного повітря в разі підвищення температури аеросуміші  $t_m$  понад допустимі значення і розмиканні кінцевого або колійного вимикача «менше» виконавчого механізму регулятора температури аеросуміші за млином.

**Регулювання молоткових млинів.** При камерному способі спалювання легкозаймистих сортів палива застосовують пилосистеми з безпосереднім вдуванням пилу в топку.

На відміну від кульового барабанного млина, що працює на проміжний бункер, подача на молоткові млини безпосередньо визначає витрату палива, що надходить в топку з бункера сирого вугілля.

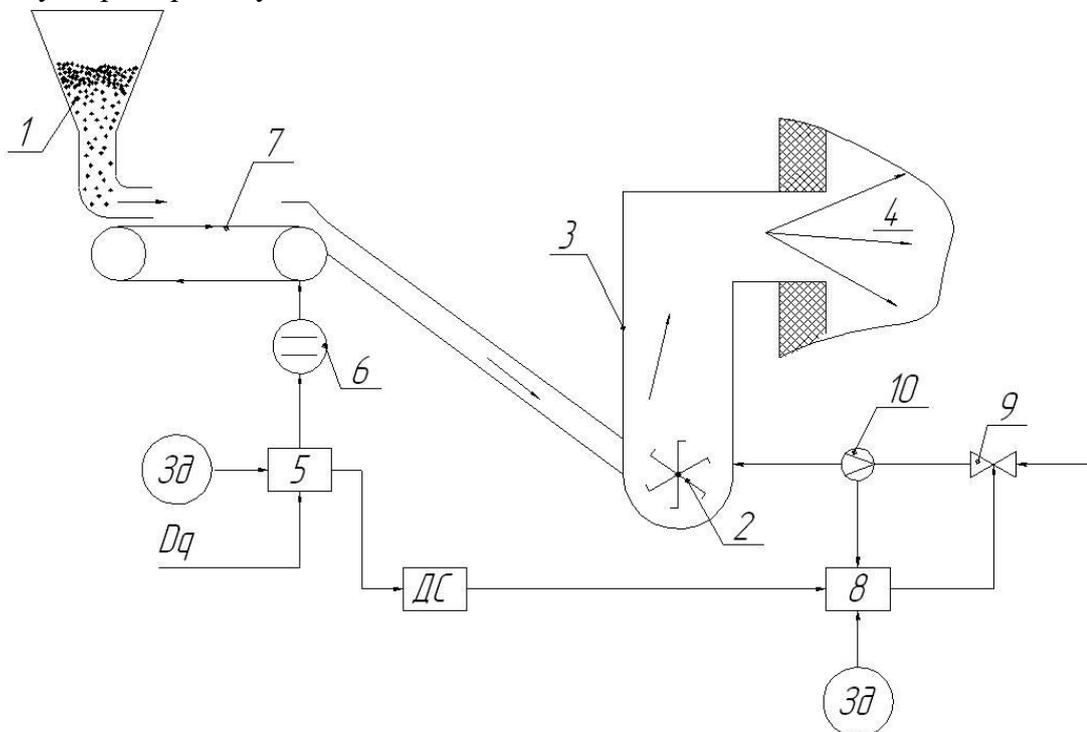


Рис. В.2. Принципова схема регулювання пилосистеми з молотковим швидкохідним млином [13]

1 - бункер сирого вугілля, 2 - молотковий швидкохідний млин (МШМ), 3 - шахта, 4 - топка, 5 - регулятор завантаження млина, 6 - електропривод, 7 - стрічковий живильник сирого вугілля, 8 - регулятор витрати первинного повітря, 9 - заслінка на подачі первинного повітря, 10 - витратомір (звужуючий пристрій); ДС - пристрій динамічного зв'язку

Розмелювання палива здійснюється в молотковому швидкохідному млині (МШМ). В ньому ж починається і підігрів аеросуміші, який завершується в шахті, що з'єднує МШМ з топкою.

Система регулювання подачі палива МШМ (рис. В.2) пов'язана з роботою регуляторів теплового навантаження котла, завдання від якого  $Dq$  надходить в АСР завантаження млина. Регулятор завантаження млина підтримує необхідну подачу палива і оптимальний розмір пилу, впливаючи на електропривод з регульованою частотою обертання (6), пов'язаний з приводом барабана стрічкового живильника сирого вугілля (7). Стабілізація необхідного розміру пилу здійснюється за допомогою регулятора витрати первинного повітря (8), що діє на заслінку (9) за сигналом перепаду тиску на пристрої звуження потоку (10), встановленого на підводі нагрівачого повітря до млина (2).

Зміна подачі пилу при впливі на завантаження млина (2) відбувається зі значною інерцією. Для прискорення процесу зміни кількості пилу, що вдувається в топку,

використовується сигнал за тепловим навантаження або сигнал динамічного зв'язку (ДС) від регулятора завантаження млина (5) на регулятор первинного повітря (8).

Для стабілізації вологості пилу в заданих межах передбачений регулятор температури аеросуміші за млином, діючий на зміну співвідношення витрат гарячого і слабо нагрітого повітря таким же способом, як і в системі регулятора температури аеросуміші для котлоагрегатів з кульовими барабанними млинами.

**АВТОМАТИЧНИЙ ТЕПЛОВИЙ ЗАХИСТ  
КОТЕЛЬНИХ АГРЕГАТИВ ТЕС****Автоматичні захисні пристрої.**

Автоматичний тепловий захист – це автоматичні захисні пристрої (АЗП), які обслуговують теплову частину електричної станції.

АЗП встановлюються для контролю найбільш відповідальних параметрів, надмірне відхилення яких від заданих значень веде до порушення нормального технологічного процесу і пошкодження обладнання.

Більшість сучасних АЗП це системи непрямої дії, що включають окремі, пов'язані між собою елементи: первинні прилади-датчики, забезпечені електричними контактами; підсилювальні пристрої, проміжні реле, пристрій пуску і зупинки виконавчих механізмів.

Практично завжди дію теплового захисту пов'язують з роботою логічних систем управління, які дозволяють вмикати і вимикати електричні пускові пристрої допоміжних механізмів в певній послідовності - «за ланцюжком».

За ступенем впливу на установки захисні пристрої поділяються на основні (головні) і місцеві (локальні).

До основних відносяться захисні пристрої, спрацювання яких призводить до зупинки котла або електроблока в цілому або до глибокого зниження їх навантажень.

Локальні захисти запобігають розвитку аварії без зупинки основних агрегатів.

Як джерела електричного живлення захисних пристроїв на ТЕС служать акумуляторні батареї з напругою на виході 220 В, які забезпечують електропостачання ланцюгів захисту при аваріях, супроводжуваних повною втратою напруги змінного струму в системі власних потреб. Крім того, напругу живлення підводять до панелей захисту по двох незалежних лініях, одна з яких є резервною. При цьому сигнал про відхилення напруги живлення на кожному з груп захистів автоматично передається на щит управління за допомогою спеціальних пристроїв (світлове табло, звуковий сигнал).

Мірою надійності теплових захистів служить середній час роботи на одну відмову або середній час роботи обладнання між двома відмовами.

$$\tau_{\text{ср}} = \sum_{i=1}^n t_i / n ,$$

де  $t_i$  - час роботи на одну відмову,  $n$  - число відмов.

Відповідно до нормативних вимог  $\tau_{\text{ср}}$  при проектуванні систем захистів повинно бути не нижче 200 тис. годин, але за дослідними даними для реальних захистів  $\tau_{\text{ср}}$  поки не перевищує 5-10 тис. годин.

**Автоматичний захист барабаних парових котлів.**

**Захист від підвищення тиску пари.** Паровий котел на випадок підвищення тиску пари понад допустимий забезпечується запобіжними клапанами, що діють за принципом регуляторів тиску «до себе».

Клапани встановлюються на вихідному колекторі пароперегрівача і барабані котельної установки. Сумарна пропускна здатність цих клапанів вибирається з деяким запасом по відношенню до максимальної паропродуктивності котла на випадок відмови частини клапанів.

При цьому клапани, встановлені на вихідному колекторі, повинні відкриватися раніше барабанних і при меншому за абсолютним значенням тиску пари на 0,2-0,3 МПа, з тим щоб забезпечити охолодження змішувиків пароперегрівача парою при наявності факела в топці.

На сучасних парових котлах і парових колекторах в комплекті запобіжних клапанів використовується спеціальні імпульсні пристрої - імпульсні клапани (рис. Г.1).

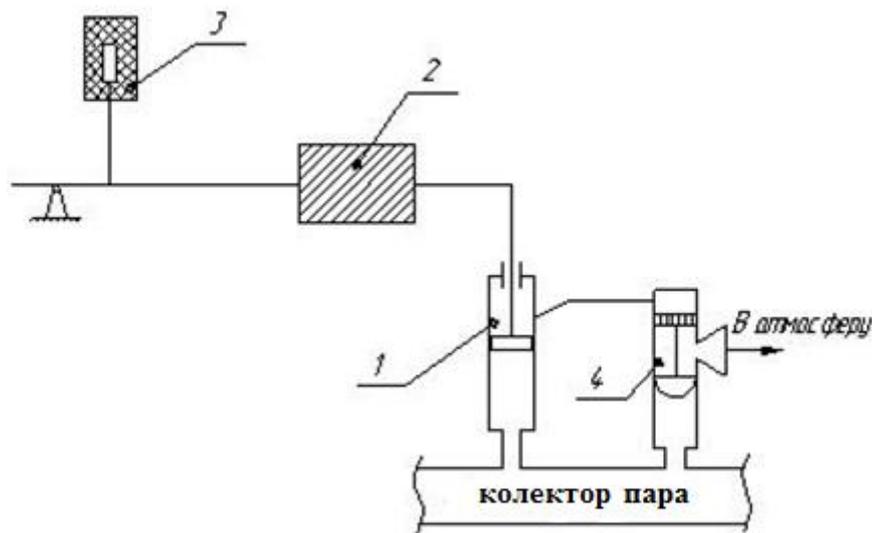


Рис. Г.1. Принципова схема імпульсного запобіжного пристрою [13]

1 - імпульсний клапан, 2 - вантаж, 3 - електромагніт, 4 - головний запобіжний клапан

При нормальному тиску імпульсний клапан (1) закритий під тиском вантажу (2). Головний клапан (4) щільно закритий під тиском пари в колекторі. При підвищенні тиску пари в колекторі пароперегрівача понад допустимий спочатку відкривається імпульсний клапан (1) за рахунок того, що сила тиску пари на запірну тарілку клапана перевищує силу тиску на неї з боку вантажу (2).

Крім того, імпульсний клапан (1) може бути відкритий під дією зусилля електромагніту (3), який діє за сигналом від електроконтактного манометра.

При відкритті імпульсного клапана (1) тиск пари над поршнем головного клапана (4) зростає у порівнянні з тиском в колекторі, і поршень почне зміщуватися вниз, відкриваючи головний клапан (4). Це викличе пропуск надлишкової пари в атмосферу і відновлення тиску пари в колекторі паропроводу до значення, при якому імпульсний клапан (1) знову закриється під дією вантажу (2) або електромагніту (3).

Припинення доступу пари з боку імпульсного клапана (1) до надпоршневого простору головного клапана (4) викличе його закриття під дією тиску пари в колекторі.

### **Захист за рівнем води в барабані.**

Зниження рівня і переживлення барабана відноситься до найважчих аварій на ТЕС. Кожен паровий котел оснащується системою автоматичного захисту від підвищення і зниження рівня. Зниження рівня на 100-200мм нижче встановленої межі викликає зупинку котельної установки - відключаються дуттьові вентилятори і системи паливостачання. Захист від зниження рівня виконується одночасно з функцією захисту від розриву екранних труб парового котла, оскільки зниження води в барабані котла призводить до порушення живлення екранних труб і перепаду їх при наявності факела в топці.

Захист від перевищення рівня води в барабані має дві межі спрацьовування. Досягнення рівнем першої межі до 100мм викликає відкриття запірних засувки на лінії аварійного скидання води з барабана. При досягненні рівнем другої граничної позначки (до 120-150 мм) дія захисних пристроїв повинна призвести до зупинки котла, як і при опусканні води.

Логічні схеми захистів здійснюють послідовність спрацьовування пускових пристроїв та пристроїв, що відключають. Так, для спрацьовування захисту від підвищення рівня в барабані до 2-го встановленого значення на захисній пристрій повинні надходити сигнали датчиків рівня № 1 (100мм) та № 2 (120-150мм). Якщо сигнал надходить одночасно від двох датчиків, система захисту відключить дуттьовий вентилятор і подачу палива. Зупинка дуттьового вентилятора і припинення подачі палива в топку котельного агрегату повинні викликати закриття головної парової засувки для припинення доступу пари в котел із загальної магістралі з одночасним відкриттям продувки пароперегрівача і закриттям запірних клапанів на лінії уприскування власного конденсату для запобігання доступу води в пароохолоджувач і паровий котел.

### **Захист від потьмарення і згасання факела.**

У разі згасання факела в топці подача палива на котел повинна бути припинена, оскільки його скупчення може призвести до утворення вибухонебезпечної суміші, одночасно з цим відключаються дуттьові вентилятори.

Парові котли, що працюють на пилоподібному паливі, додатково забезпечуються захистом від потьмарення факела, що впливає на подачу резервного палива - включення газових пальників або мазутних форсунок при зниженні рівня яскравості факела.

Схема захисту містить реле часу, яке затримує команди на відкриття клапана з електромагнітним приводом на лінії резервного палива на 5-10с, що необхідно для запобігання помилкових спрацьовувань в разі короткочасних потьмарень (мерехтінь) факела.

### **Захист від пониження температури первинної перегрітої пари.**

Автоматичні захисні пристрої цього виду виконують роль захисту від закидання частинок води в паропровід і проточну частину турбоагрегату. При зниженні температури пари до граничного значення сигнал від температурного датчика (термопари) впливає на зупинення дуттьового вентилятора і далі на зупинення котла.

В енергоблоках захист від зниження температури пари відноситься до турбіни і впливає на закриття його стопорного клапана. Аналогічно влаштовано захист від підвищення температури первинної пари понад установлене максимальне значення.

### **Захисні пристрої млинових систем парового котла.**

Крім захистів від підвищення температури аеросуміші, що впливають на відкриття заслінки на лінії присадки холодного повітря, на млинових системах передбачається захисний пристрій, що діє на зупинку млинів при зниженні тиску масла в системі змащення підшипників.

Цей сигнал формується електроконтактним манометром. При падінні тиску масла до 1-го встановленого значення включається резервний масляний насос. При падінні тиску масла до 2-го встановленого значення спрацьовує пристрій, що відключає електропривод млина, і зупиняється живильник сирого вугілля.

На обох типах млинів може бути передбачено включення вібраторів на лініях підведення сирого вугілля при забиванні їх і обриві подачі палива. Відключення вібраторів проводиться після відновлення подачі палива або після закінчення встановленої витримки часу.

В системах пилоприготування з КБМ при забиванні циклону передбачається відключення млинів.

**АВТОМАТИЗАЦІЯ ОПАЛЮВАЛЬНИХ І  
ВИРОБНИЧИХ КОТЕЛЬНИХ****Автоматичне регулювання парових барабанних котлів малої потужності.**

В парових котлоагрегатах типу ДКВР, ДЕ, ГМ-50 і БКЗ-75 регулюються процеси горіння і живлення котла водою.

Крім того, для котлів БКЗ-75 і ГМ-50 передбачається регулювання температури перегрітої пари і безперервного продування. Схеми автоматичного регулювання для цих котлів визначаються технічними умовами заводу-виробника котлів. Автоматичне регулювання процесу горіння включає регулювання подачі палива в топку в залежності від навантаження котла, підтримки оптимального співвідношення палива і повітря для економічного спалювання палива, підтримання необхідного стійкого розрідження в топці.

У схемах регулювання процесів горіння для котлів, що працюють на твердому паливі (пиловугільне), широко використовується сигнал за тепловим навантаженням. При роботі котла тільки на газоподібному паливі, регулювання подачі палива на котел спрощується, так як калорійність природного газу одного родовища практично постійна, а вимірювання витрати газу не викликає труднощів.

Для групи котлів, що працюють паралельно на загальну парову магістраль, функції розподілу навантаження виконує головний (коригувальний) регулятор, який отримує сигнал за тиском пари в загальній паровій магістралі. Головний регулятор коригує роботу підключених до нього через перемикач навантаження регуляторів теплового навантаження котлів (Рис. Д.1), а оптимальний розподіл навантажень між котлами встановлюється за допомогою задатчиків регуляторів. Для переводу будь-якого з котлів в базовий режим роботи переривають сигнал до регулятора навантаження цього котла від головного регулятора, встановлюючи значення від задатчика ручного керування. Слід зазначити, що схеми регулювання процесів горіння з використанням сигналу за тепловим навантаженням, зазвичай, застосовують для котлів паропродуктивністю 50 т/год і вище. Для котельних установок меншою паропродуктивності, наприклад, ДЕ і ДКВР застосування складних схем регулювання недоцільно.

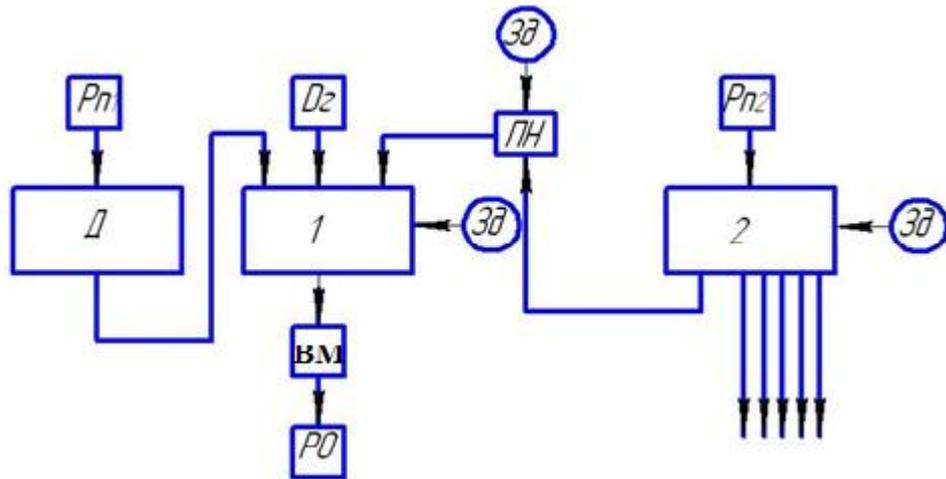


Рис. Д.1. Структурна схема регулювання навантаження «за теплом» [13]

1 - регулятор теплового навантаження; 2 - головний коригувальний регулятор тиску; Зд - задатчик; ВМ - виконавчий механізм; РО - регулюючий орган;  $P_{п1}$  - тиск пари в барабані котла;  $P_{п2}$  - тиск пари в загальній магістралі; Д - диференціатор;  $D_z$  - витрата газу до котла; ПН - перемикач навантаження

Для котлів ДЕ і ДКВР роль регулятора навантаження виконує регулятор тиску пари в барабані котла, впливаючи на зміну подачі палива (рис. Д.2).

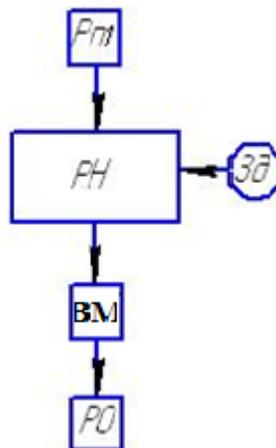


Рис. Д.2. Структурна схема регулювання навантаження за тиском пари в барабані [13]

$P_{п1}$  - тиск пара в барабані; РН - регулятор навантаження; Зд - задатчик; ВМ - виконавчий механізм; РО - регулюючий орган

Різниця  $(p_1-p_2)$  в першому випадку характеризує абсолютну величину нерівномірності регулювання тиску в магістралі  $P_m$  за всім діапазоном зміни сумарного навантаження паралельно працюючих котлів, у другому випадку - дорівнює сумі абсолютних нерівномірностей всіх регуляторів навантаження.

Для опалювально-виробничих котельних, де величина  $P_m$  може коливатися в бік зменшення в межах 0,15-0,2Па, рекомендується розподіляти навантаження при паралельній роботі котлів, відповідно до варіанту, наведеним на рис. Д.3, б. В окремих випадках можуть складатися інші графіки розподілу навантаження між котлами, які є комбінаціями графіків, наведених на рис. Д.3.

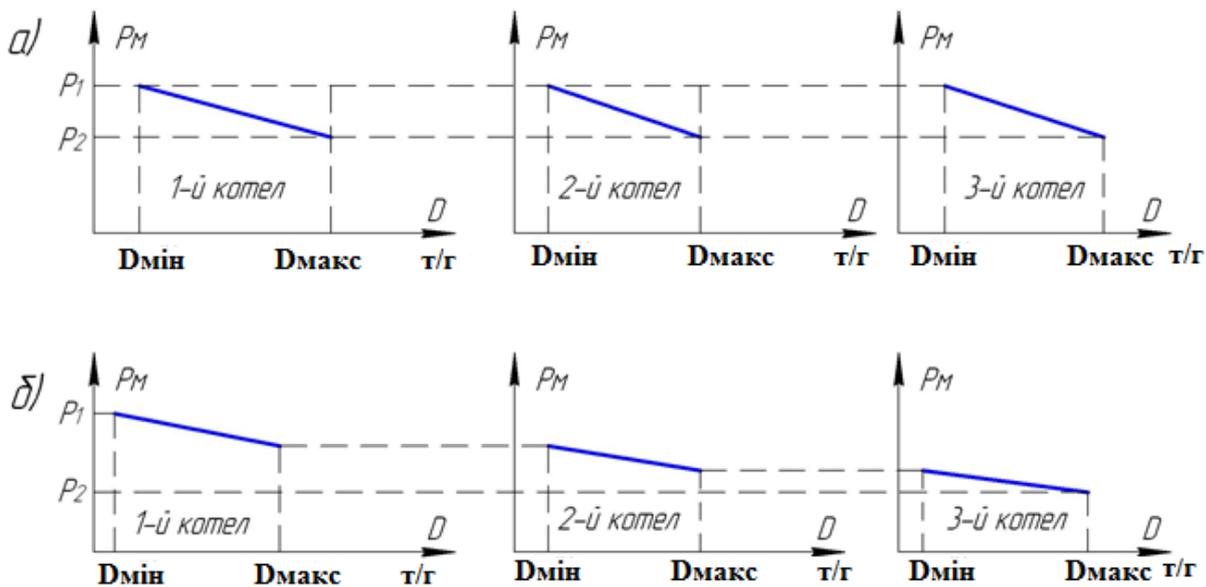


Рис. Д.3. Розподіл навантаження між котлами [13]

а – спільне включення паралельно працюючих котлів при пропорційно їх номінальним продуктивностям; б - послідовне включення паралельно працюючих котлів відповідно абсолютної нерівномірності їх регуляторів,

$P_M$  - тиск пари в загальній магістралі;  $D$  - витрата пари

Підтримка оптимального співвідношення палива і повітря (надлишку повітря) здійснюється для економічного спалювання палива в топці котла.

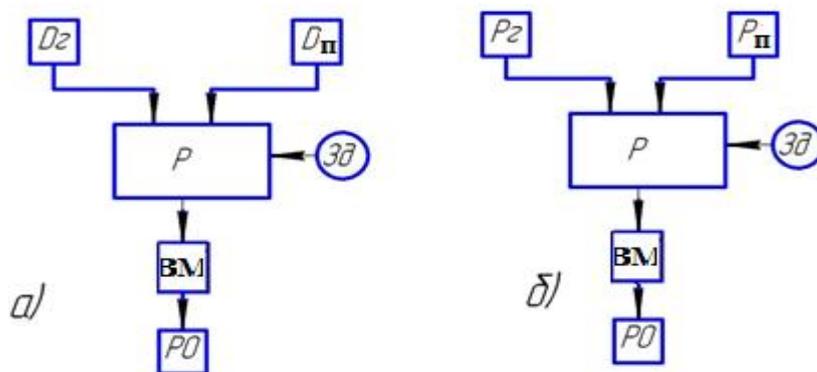


Рис. Д.4. Структурна схема регулювання повітря (паливо - повітря) [13]

$D_{\text{г}}$  - витрата газу до котла;  $D_{\text{п}}$  - витрата повітря;  $P_{\text{г}}$  - тиск газу до котла;  $P_{\text{п}}$  - тиск повітря;  $P$  - регулятор повітря;  $Зд$  - задатчик;  $ВМ$  - виконавчий механізм;  $РО$  - регулюючий орган

При роботі котла на газоподібному паливі для котлів ГМ-50 і БКЗ-75 рекомендується включати регулятор навантаження за схемою «паливо - повітря» (рис. Д.4, а). Регулятор отримує два імпульси: за витратою газу до котла, який безпосередньо вимірюється за допомогою діафрагми і дифманометра, і другий імпульс за перепадом

тиску повітря на повітропідігрівнику пропорційного витраті повітря. Регулятор впливає на направляючий апарат дуттьового вентилятора.

В окремих випадках, наприклад, для котлів ДЕ і ДКВР, коли за конструктивних міркувань неможливо забезпечити необхідну довжину газопроводу для установки звужуючого пристрою, імпульс за витратою газу можна замінити імпульсом за тиском газу перед пальниками, що побічно характеризує витрату газу. Слід мати на увазі, що імпульс за тиском газу характеризує витрату палива тільки для котлів, в топці яких підтримується стале розрідження. При цьому другим імпульсом, що надходять на регулятор, буде тиск повітря перед пальниками (рис. Д.4, б). Статичний натиск повітря в загальному повітропроводі перед пальниками характеризує витрату повітря за умови, що опір частини повітропроводу між точкою відбору імпульсу і пальниками буде постійним (т. Е). На цій ділянці відсутні пристрої, що змінюють опір повітропроводу.

Для котлів, які працюють на мазуті, при можливості вимірювання витрати мазуту за допомогою сопла профілем «чверть кола» або здвоєною діафрагмою, схема «паливо – повітря» не відрізняється від схеми, наведеної на рис. Д.6.

Для котлів ДЕ і ДКВР, що працюють на мазуті та твердому паливі, імпульсом, що характеризує витрату палива, є імпульс від датчика переміщення регулюючого органу виконавчого механізму регулятора палива. Витрата палива не завжди відповідає положенню вихідної ланки виконавчого механізму, так як видаткова характеристика регулюючого органу нелінійна, зчленування виконавчого механізму з регулюючим органом має люфти.

Створення стійкого розрідження в топці котла повинно здійснюватися автоматично в межах від -20 до -30Па. У зв'язку з тим, що топка котла є об'єктом зі значним самовирівнюванням, регулювання може здійснюватися одноімпульсним астатичним регулятором.

Регулятор розрідження отримує імпульс за розрідженням у верхній частині топкової камери і впливає на направляючий апарат димососа (рис. Д.5).

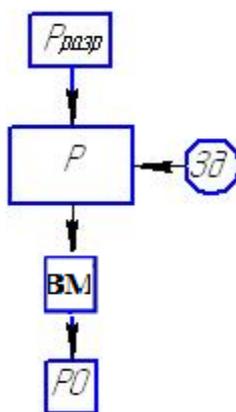


Рис. Д.5. Структурна схема регулювання розрідження [13]

$P_{разр}$  - датчик;  $P$  - регулятор розрідження;  $Зд$  - задатчик;  $ВМ$  - виконавчий механізм;  
 $РО$  – регулюючий орган

Для котлів продуктивністю вище 50т/год в схему регулятора для поліпшення якості регулювання вводиться зникаючий динамічний зв'язок від регулятора повітря. Регулювання живлення котла здійснюється трьохімпульсним регулятором рівня в барабані котла. Підтримка рівня води в барабані котла в заданих межах означає

відповідність витрат пари (навантаженні) витратам живильної води, що надходить в барабан.

Регулятор живлення котлів ГМ-50 і БКЗ-75, являє собою ПІ-регулятор, який підсумовує три імпульси: рівень в барабані, витрату пара і витрату живильної води, що значно покращує якість регулювання, особливо при різкозмінних навантаженнях.

Для котлів ДКВР і ДЕ, що мають великий обсяг води в барабані, підтримання рівня води в необхідних межах при малих коливаннях навантажень досить добре забезпечується одноімпульсним (за рівнем) регулятором живлення. Регулятор живлення через виконавчий механізм впливає на регулюючий клапан, встановлений на трубопроводі живильної води до котлів.

Необхідність регулювання температури перегріву пари визначається умовами міцності металу і плавністю зміни температури при коливаннях навантаження. Для розглянутих типів котлів регулювання температури здійснюється зміною витрати живильної води через охолоджувач поверхневого типу, встановлений у розтин пароперегрівача.

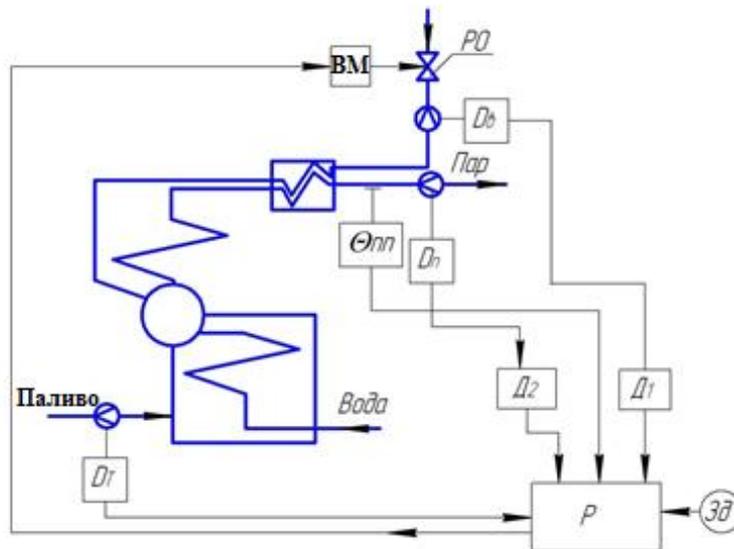


Рис. Д.6. Принципова схема регулювання температури пари [13]

$D_v$  - витрата води на парохолоджувач;  $D_p$  - витрата пари;  $D_T$  - витрата палива;  $\Theta_m$  - температура пари за перегрівачами;  $D_1, D_2$  - диференціатори;  $P$  - регулятор температури;  $Зд$  - задатчик;  $ВМ$  - виконавчий механізм;  $РО$  - регулюючий орган

Найбільш поширеною схемою регулювання температури пари є схема з двоімпульсним регулятором: за температурою пари на виході з пароперегрівача і за швидкістю зміни температури пари за парохолоджувачем. Однак, ця схема не дає бажаних результатів: слабка реакція на зовнішні збурення та значне запізнювання. Найбільш повно відповідає всім вимогам схема регулювання, що наведена на рис. Д.6.

Основним імпульсом є температура пари за пароперегрівом. Регулятор температури перегрітої пари пов'язаний через об'єкт регулювання - котел з регулятором живлення, так як частина живильної води, що надходить в барабан котла, проходить через парохолоджувач. Тому для сприйняття збурень по живильній воді в схему вводиться додатковий імпульс за швидкістю зміни витрати води на парохолоджувач.

При різкозмінних навантаженнях для поліпшення роботи схеми рекомендується вводити додаткові імпульси за швидкістю зміни витрати пари від котла і витрати палива

до котла, що характеризують рівновагу теплового балансу пароперегрівача, але в статиці ці сигнали відсутні, а  $D_p$  і  $DT$  не змінюються.

При випаровуванні води розчинені в ній солі не повинні досягати певної концентрації. Видалення цих солей проводять за допомогою безперервної і періодичної продувок. Для котлів продуктивністю більше 50т/год процес безперервного продування автоматизується. Через відсутність датчиків солевмісту в котельній воді автоматична продувка ведеться пропорційно витраті пари. Регулятор продувки отримує імпульс за витратою пари і для поліпшення роботи схеми регулювання додатковий імпульс за положенням регулюючого органу виконавчого механізму (рис. Д.7).

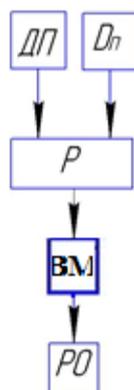


Рис. Д.7. Структурна схема регулювання безперервної продувки [13]

$D_p$  - витрата пари; ДП - датчик переміщення виконавчого механізму; P - регулятор безперервної продувки; ВМ - виконавчий механізм; РО – регулюючий орган

## АВТОМАТИЧНЕ РЕГУЛЮВАННЯ ВОДОГРІЙНИХ КОТЛІВ.



В даний час в промисловій енергетиці широко застосовуються такі типи водогрійних котлів: КВ-ГМ і ПТВМ-30м - для спалювання газу та мазуту, ТВГ - для спалювання газу, КВ-ТС - для шарового спалювання твердого палива.

Регулятор навантаження котла отримує імпульс за температурою води за котлом і впливає на зміну подачі палива до котла (рис. Е.1)

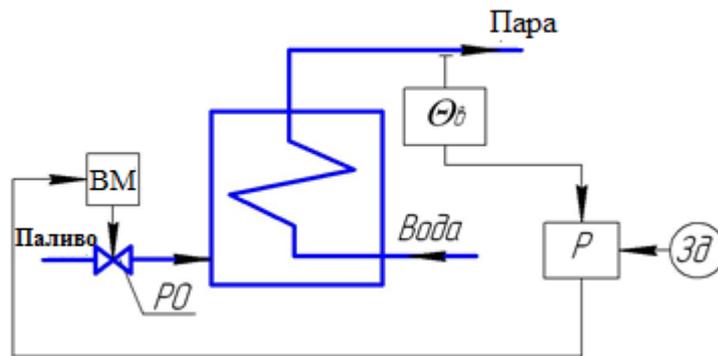


Рис. Е.1. Принципова схема регулювання навантаження водогрійного котла [13]  
 $\Theta_b$  - температура води за котлом; Р - регулятор навантаження; Зд - задатчик; ВМ - виконавчий механізм; РО - регулюючий орган

Для котлів КВ-ТС виконавчий механізм регулятора навантаження впливає на плунжер пневмозаклидувача. Регулятор співвідношення палива і повітря включається за схемою «паливо – повітря» і отримує два імпульси: за витратою палива і тиском повітря.

Для котлів продуктивністю до 20 Гкал/год імпульс за витратою палива може бути замінений: при спалюванні газу - імпульсом за тиском газу перед пальниками, при спалюванні рідкого і твердого палива - імпульсом від датчика положення регулюючого органу виконавчого механізму регулятора навантаження. Регулятор навантаження впливає на направляючий апарат дуттьового вентилятора (при однозонних пальниках) або на заслінку, встановлену в повітроводі вторинного повітря до пальників (при двозонних пальниках). Для котлів ПТВМ-30 та КВ-ГМ-100, що комплектуються двома дуттьовими вентиляторами, в схему включаються прилад, що додатково стежить, і окремі виконавчі механізми для кожного направляючого апарату вентиляторів (рис. Е.2).

Робота регулятора розрідження не відрізняється від роботи аналогічного регулятора для парових котлів.

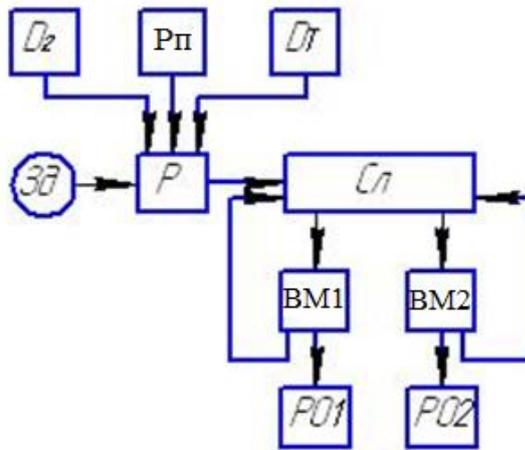


Рис. Е.2. Структурна схема регулювання повітря («паливо – повітря») [13]

$D_2$  - витрата газу до котла;  $P_p$  - тиск повітря перед котлом;  $DT$  - витрата палива до котла;  
 $P$  - регулятор повітря;  $Зд$  - задатчик;  $Сл$  – прилад, який стежить;  $ВМ1, ВМ2$ - виконавчі механізми;  $PO1, PO2$  - регулюючі органи

### Автоматичне регулювання допоміжного обладнання.

За діючими Санітарними Нормами і Правилами автоматично потрібно регулювати такі параметри:

- а) тиск пари за редукційними (РУ) і редукційно-охолоджувальними (РОП) установками;
- б) температуру пари за РОП;
- в) тиск в деаераторі атмосферного типу (розрідження у вакуумному деаераторі);
- г) рівень в баку-акумуляторі деаератора;
- д) тиск рідкого палива в загальному напірному трубопроводі.

В опалювальних котельнях додатково регулюються:

- температура води, що подається в тепломережу;
- тиск в зворотному колекторі тепломережі (підживлення);
- температура води в мережі гарячого водопостачання (для систем з закритим водорозбіром);
- тиск в циркуляційному контурі мережі гарячого водопостачання;
- постійну витрату води до котлів.

### Автоматичне регулювання редукційних установок.

Автоматичне регулювання редукційних установок (РУ) в котельнях, які виробляють насичений пар, полягає в підтримці заданого (зниженого) тиску пари після редукування. Єдиним збурюючим впливом на регульовану величину є зміна споживання пари. З точки зору динамічної характеристики РУ є об'єктом з розподіленою за довжиною ємністю. З огляду на те, що РУ володіє значним самовирівнюванням, а відбір імпульсу здійснюється поблизу РУ, можна вважати редукційну установку одноємнісним об'єктом з самовирівнюванням.

Регулятор тиску отримує імпульс за тиском пари після РУ і впливає через виконавчий механізм на регулюючий клапан на паровому колекторі.

При виробленні котлом перегрітої пари для зниження його тиску і температури застосовується РОП. Регулятор тиску працює так само, як і в схемі з РУ. Регулювання температури здійснюється уприскуванням живильної води.

Для поліпшення якості регулювання слід одночасно змінювати і тиск і температуру перегрітої пари. З цією метою від регулятора тиску до регулятора температури передбачений динамічний зв'язок.

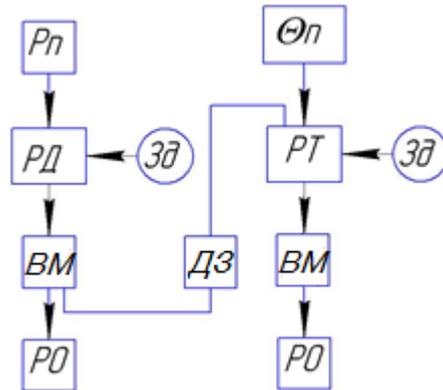


Рис. Е.3. Структурна схема автоматичного регулювання РОП [13]

$P_n$  - тиск пари після РОП;  $T$  - температура пари після РОП; РД - регулятор тиску пари; РТ - регулятор температури пари; ДЗ - динамічний зв'язок; Зд - задатчик; ВМ - виконавчий механізм; РО - регулюючий орган.

### Регулювання деаераторів.

В котельнях з паровими котлами термічна деаерація (видалення з води розчинених в ній газів) проводиться в деаераторах атмосферного типу. Причиною корозії трубних систем котла і допоміжного обладнання є, в першу чергу, розчинений у воді кисень, а також вуглекислий газ. Розчинність газу залежить від температури: при підвищенні температури вона зменшується, а в киплячій воді близька до нуля. Для нагріву води до  $104^{\circ}\text{C}$  в деаератор подається пар, витрата якого регулюється для деаераторів з барботажним пристроєм за тиском в паровому просторі бака-акумулятора.

Для заповнення неминучих втрат конденсату на виробництві в деаератор надходить хімічно очищена вода. Регулятор рівня в деаераторному баку впливає на зміну витрати води (рис. Е.4).

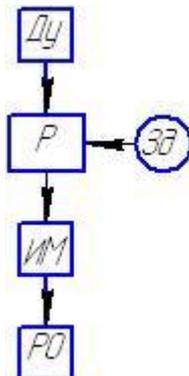


Рис. Е.4. Структурна схема регулювання рівня в деаераторі [13]

Др - датчик рівня; Р - регулятор рівня; ВМ - виконавчий механізм; РО - регулюючий орган; Зд - задатчик

Для деаераторів одного тиску, що працюють паралельно, слід застосовувати один регулятор тиску пари і один регулятор рівня води в баках на групу деаераторів. В цьому випадку деаератори повинні мати зрівняльні лінії по воді та парі.

#### **Регулювання тиску в мазутопроводі, що подає.**

Підтримування постійного тиску мазуту в напірному трубопроводі, так само, як і тиску води в поживних магістралях, має на меті стабілізацію тиску перед регулюючими клапанами палива і живлення котла.

Регулюючий клапан регулятора тиску мазуту встановлюється на циркуляційному мазутопроводі та мазутонасосах, а регулятора тиску живильної води на лінії скидання її в деаератор.

#### **Регулювання температури мазуту.**

Регулювання температури мазуту, що надходить в пальники, проводиться, як правило, в мазутонасосних, де розміщуються підігрівачі мазуту. При невеликих витратах мазуту на кожному підігрівачі рекомендується встановлювати регулятори температури прямої дії. Якщо не вдається підібрати регулятори температури прямої дії, слід встановлювати загальний регулятор на групу підігрівачів.

Всі регулятори допоміжного обладнання реалізують П - або ПІ - закони в залежності від необхідної точності підтримки регульованого параметра або використовуються регулятори прямої дії. Вибір закону регулювання і необхідну якість перехідних процесів регламентується заводом-виробником технологічного обладнання або інженерно-конструкторською організацією.

**АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ В ТЕПЛОВИХ МЕРЕЖАХ.****Автоматизація подачі тепла.**

В опалювально-виробничих котельних, де для потреб опалення встановлюються підігрівальні установки, для підтримки температури води в тепломережі відповідно до опалювального графіка необхідно передбачати регулятор температури. Опалювальний графік котельні має залежність температури мережевої води від температури зовнішнього повітря. Схема регулятора температури мережевої води з корекцією за температурою зовнішнього повітря не виправдала себе, тому що датчик температури зовнішнього повітря не в змозі врахувати вплив напрямку вітру, його силу, інтенсивність сонячної радіації, температуру приміщень і ще ряд факторів, що впливають на теплоємність опалювальних будівель, тому необхідна температура мережної води, яку повинен підтримувати регулятор, визначається оператором за опалювальним графіком і задається вручну. Як правило, це середня температура за минулі пів доби.

У котельнях, призначених для теплопостачання тільки будівель з періодичним перебуванням людей (установи, видовищні заклади і т.п.), рекомендується передбачати можливості програмного регулювання подачі тепла з метою економії палива за рахунок зниження температури приміщень на періоди відсутності людей.

Температура води в тепломережі може підтримуватися декількома способами:

- впливом на витрату пари, що подається на підігрівач;
- зміною поверхні нагрівання підігрівача;
- підмішуванням частини зворотної мережної води в пряму.

Регулювання температури мережевої води зміною витрати насиченої пари має певні недоліки: незадовільна робота регулюючого клапана на насиченій парі низького тиску і можливість появи вакууму в паровому просторі підігрівача при температурі насиченої пари менше 100°C, зниження тиску конденсату (при малих навантаженнях) нижче величини, необхідних для його надходження в деаератор.

При регулюванні зміни поверхні нагрівання підігрівача регулюючий орган встановлюється на лінії конденсату після підігрівача, і в залежності від температури мережевої води частина поверхні нагріву затоплюється конденсатом і виключається з активного теплообміну. При цьому способі діапазон регулювання невеликий і швидше виходять з ладу поверхні нагрівання підігрівача. При регулюванні підмішування регулюючий орган встановлюється на обвідній лінії підігрівача або групи підігрівачів, пропускаючи частину зворотної мережної води безпосередньо в тепломережу, минаючи підігрівачі. Структурна схема регулювання аналогічна схемі, що наведена на рис. Е. 1

Ця схема регулювання отримала найбільше поширення. Однак її застосування вимагає детального розрахунку опору обвідної лінії.

### Регулювання підживлення теплової мережі.

Регулювання підживлення тепломережі ведеться в залежності від величини тиску зворотної мережної води на всмоктуванні мережевих насосів. Завдання регулятора підживлення полягає в збереженні постійного п'єзометричного графіка теплової мережі. Для тепломереж, виконаних із закритою схемою водорозбіру підживлення становить приблизно 2% кількості циркулюючої води. При невеликих витратах можна встановлювати регулятор тиску прямої дії. Динамічна характеристика процесу підживлення може бути прийнята, як для одноємнісного об'єкта з самовирівнюванням, і тому для регулювання тиску води на всмоктуванні мережевих насосів рекомендується застосовувати статичний регулятор.

У котельних, що мають підігрівачі для потреб гарячого водопостачання, необхідно підтримувати температуру води постійною (не вище 70 ° С).

### Автоматичне регулювання температури води в тепломережі.

Регулювання температури води в тепломережі в котельні з водогрійними котлами пов'язано з регулюванням температури води за котлами і витратою води через котли. На рис. Ж.1 і Ж.2 представлені функціональні схеми автоматизації водогрійної котельні, що працює на рідкому і газоподібному паливі. Технологічні вимоги, що пред'являються до системи регулювання, такі: температура води в тепломережі повинна підтримуватися відповідно до опалювального графіку; витрата води через котли повинна бути постійною; температура води на виході з котлів повинна бути не вище 150°С.

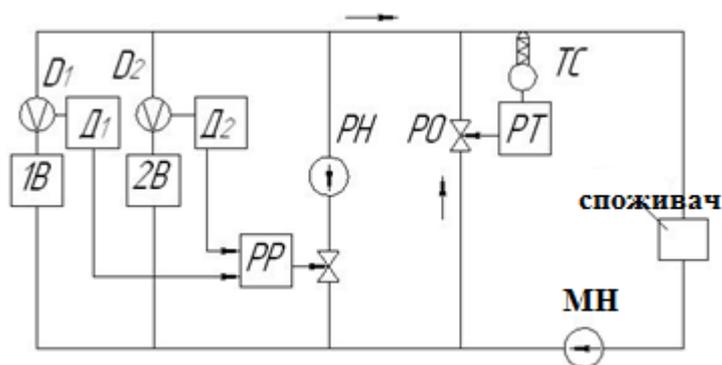


Рис. Ж.1 Функціональна схема автоматичного регулювання водогрійної котельні [13]  
1В, 2В - котли; РН - насос рециркуляційної води; МН - мережний насос води; D1, D2 -  
діафрагми; Д1, Д2- датчики; РР - регулятор постійної витрати води до котлів; Т -  
термометр; РТ - регулятор температури води в тепломережі; РО - регулюючий орган

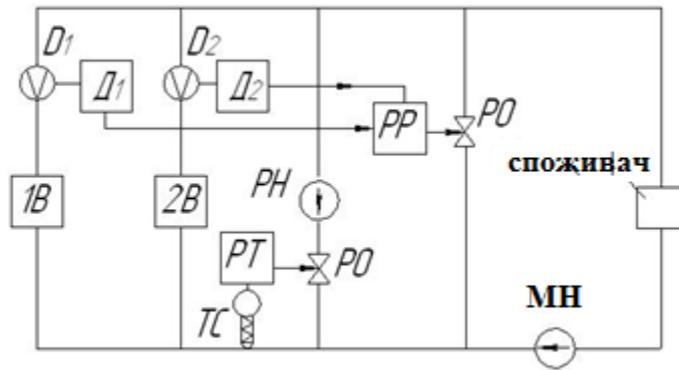


Рис. Ж.2. Функціональна схема автоматичного регулювання водогрійної котельні («паливо – газ») [13]

1В, 2В - котли; РН - насос рециркуляційної води; МН – мережний насос води; D1, D2- діафрагми; Д1, Д2- датчики; РР - регулятор постійної витрати води до котлів; ТС - термометр опору; РТ - регулятор температури води до котлів; РО - регулюючий орган

При роботі водогрійних котлів на сірчистому мазуті для виключення впливу корозії конвективних поверхонь нагріву, що викликаються конденсацією сірчаної кислоти, температуру води на виході з котла необхідно підтримувати постійною, рівною 150°C.

В цьому випадку температуру води в тепломережі підтримує регулятор температури, впливаючи на витрату води через перемичку, а постійну витрату води до котлів забезпечує регулятор витрати, який одержує сумарний імпульс по витраті води за котлами і впливає на подавання води до котлів з контуру рециркуляції.

Постійна витрата води до кожного котла забезпечується при налагодженні шляхом вирівнювання гідравлічних опорів трубопроводів за допомогою дросельних шайб від колектора зворотної мережної води до котла. Для котлів, що спалюють лише газоподібне паливо, температура води на вході повинна бути не менше 70°C, щоб уникнути появи корозії і для забезпечення паспортної продуктивності котла. У цьому випадку схема автоматизації трохи видозмінюється (рис. Ж.2): температура води в тепломережі підтримується регуляторами навантаження котлів; регулювання температури води перед котлами здійснює регулятор, отримуючи імпульс по температурі води перед котлами і впливаючи на подачу води з контуру рециркуляції. Регулювання постійної витрати води до котлів здійснює регулятор, пропускаючи частину води зі зворотної лінії теплової мережі в пряму лінію. У водогрійних котельнях, де відсутній теплоносій-пара, широке застосування отримали вакуумні деаератори. Тиск 7,5 кПа або 30 кПа, що створюється ежекторами, забезпечує температуру води на виході з деаератора відповідно 40 або 70°C. Вода для деаерації надходить з температурою на 15-25°C нижче температури кипіння. Для підігріву води до температури кипіння безпосередньо в деаератор подається високотемпературна вода. Залишкова концентрація розчиненого у воді кисню після деаерування від 30 до 50мкг / кг залежить від схеми тепlopостачання. Автоматичне регулювання процесу деаерації в вакуумних деаераторах, що працюють з тиском  $3 \cdot 10^4$  Па, здійснюється двома регуляторами. Перший з них підтримує постійну температуру 55°C води, що пройшла водопідготовку, впливаючи на подачу в підігрівач високотемпературної

води від котлів; і другий, отримуючи імпульс за величиною вакууму в деаераторі, подає високотемпературну воду безпосередньо в деаератор, догріваючи воду до 70°C. Якщо деаератор працює з тиском  $7,5 \cdot 10^3$  Па (температура на виході дорівнює 40°C), то в деаератор відразу подається хімічно очищена вода, без підігріву, тому що її температура 25-30°C і перший регулятор не потрібен. Рівень в вакуумних деаераторах регулюється так само, як і в атмосферних (рис. Ж.1).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Автоматизация теплоэнергетических установок : учеб. пособие / Ю. М. Голдобин, Е. Ю. Павлюк. — Екатеринбург : УрФУ, 2017. — 186 с.
2. Автоматизированные системы теплоснабжения и отопления / С. А. Чистович [и др.]. Ленинград : Стройиздат, 1987. 248 с.
3. Брюханов О. Н. Газифицированные котельные агрегаты / О. Н. Брюханов, В. А. Кузнецов. Москва : Инфра-М, 2010. 391 с.
4. Варфоломеев Ю. М. Отопление и тепловые сети / Ю. М. Варфоломеев, О. Я. Кокорин. Москва : Инфра-М, 2010. 480 с.
5. ГОСТ 21.404–85. Условные обозначения приборов и средств автоматизации технологических процессов. Москва : Изд-во стандартов, 1985. [Б. п.].
6. Калмаков А. А. Автоматика и автоматизация систем теплогазоснабжения и вентиляции / А. А. Колмаков [и др.]. Москва : Стройиздат, 1986. 479 с.
7. Клюев А. С. Наладка систем автоматического регулирования барабанных паровых котлов / А. С. Клюев, А. Г. Лебедев, С. И. Новиков. Москва : Энергоатомиздат, 1985. 280 с.
8. Плетнев Г. П. Автоматическое регулирование и защита теплоэнергетических установок электрических станций / Г. П. Плетнев. Москва : Энергоиздат, 1981. 368 с.
9. Плетнев Г. П. Автоматическое управление объектами тепловых электростанций / Г. П. Плетнев. Москва : Энергоиздат, 1981. 368 с.
10. Соколов Б. А. Устройство и эксплуатация оборудования газомазутных котельных / Б. А. Соколов. Москва : Академия, 2007. 302 с.
11. Техника чтения схем автоматического управления и технологического контроля. Москва : Энергоатомиздат, 1991. [Б. п.].
12. Плетнев Г.П. Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике: учебник для студентов вузов / Г.П. Плетнев. – 4-е изд., стереот. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 352 с.
13. Липатников, Г. А. Автоматическое регулирование объектов теплоэнергетики : учебное пособие для студентов направления 650800 "Теплоэнергетика" вузов региона / Г. А. Липатников, М. С. Гузеев ; Дальневосточный гос. технический ун-т (ДВПИ им. В. В. Куйбышева). - Владивосток : Изд-во ДВГТУ, 2007. – 225 с.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ  
ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА

С.М. АНАСТАСЕНКО, І.С. БІЛЮК, Л.І. БУГРИМ,  
С.О. ГАВРИЛОВ, В.В. ЖИГУЛІНА, М.М. СЕМЕНОВ,  
О.В. ШОСТАК

# ОСНОВИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

*Відповідальна за випуск С.В. Піча*

*Дизайн та верстка Краснощоків К.А.*

Підписано до друку 15.05.2020 р.  
Формат 60x84/16. Папір друк. №2.  
Гарнітура Times New Roman Умовн. друк. арк. 11,5.  
Тираж 300 прим.  
Замовлення 15-05-2020

Видавець ФОП Піча С.В.  
а/с 5026, м. Львів-53, 79053, Україна  
e-mail: novsv2016@ukr.net

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи  
до Державного реєстру видавців, виготівників і  
розповсюджувачів видавничої продукції: серія ДК № 5069 від  
22.03.2016 року, видане Державним комітетом інформаційної  
політики, телебачення та радіомовлення України