

Трубопровідний транспорт, нафтогазосховища

УДК 681.511.52: 622.691.4

АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ПІДХОДІВ ДО ІДЕНТИФІКАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ ВЕЛИКОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

М. П. Кулик, В. Р. Процюк

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;
76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15;
тел. +38 (050) 3377437; e-mail: m_p_kulyk@pisem.net*

В роботі проаналізовані можливі підходи до математичного моделювання об'єктів великої енергетики, до числа яких відносять паливні, парові котли, парогенератори, пароперегрівники, теплообмінники, парові та газові турбіни, електричні генератори та багато іншого допоміжного обладнання. Математичний опис процесів, що проходять в цих апаратах, ускладнений їх нестаціонарністю, а також величезними геометричними розмірами апаратів, які ж до того змінюються в часі та просторі через суттєву зміну температури. У випадку поєднання парового та газового циклів в комбінованій парогазотурбінній енергетичній установці використання диференціальних рівнянь з частковими похідними ще більше ускладнює формульні вирази, що можуть скласти математичну модель технологічного ланцюжка генерації електричної енергії. Ситуація ще більше ускладнюється у тому випадку, коли для формування робочого тіла газової частини використовуються продукти згорання твердого палива, зокрема кам'яного вугілля. При цьому реалізується двохстадійне спалювання палива із застосуванням додаткового технологічного апарату – паливни(циклонного типу), через рубашку охолодження якої циркулює потік збагаченого азотом атмосферного повітря. Використання таких виразів для оптимізації параметрів комбінованої парогазотурбінної енергетичної установки, а також режимів її роботи з метою наприклад, поліпшення маневрених і мобільних характеристик та зменшення обсягу викидів шкідливих речовин в атмосферне повітря не може забезпечити отримання простої та зручної кінцевої розрахункової формули. Найпростіше досягнути поставленої мети можна лише при використанні для опису динамічних характеристик об'єктів великої енергетики їх функцій передачі у

вигляді лапласівських зображень. Отримано формульний вираз такої узагальненої функції комбінованої парогазотурбінної енергетичної установки, як об'єкта системи автоматичного керування.

Ключові слова: паровий, газовий цикл генерації електричної енергії, парова та газова турбіни, диференційне рівняння з частковими похідними, динамічні характеристики, функція передачі, зображення Лапласа, паливня циклонного типу.

Вступ. В сфері математичного моделювання та опису динамічних властивостей технологічних об'єктів, а також складних систем прийнято використовувати наступні математичні моделі – диференційні рівняння з частковими похідними, передавальні функції, часові та частотні [1-4] характеристики. Весь вказаний перелік методів побудови математичних моделей класифікують за рядом ознак, а зокрема, за способом отримання їх поділяють на аналітичні та експериментальні, які мають свою конкретну сферу застосування.

Процес отримання та розподілу теплової та електричної енергії на теплових електростанціях (ТЕС) проходить з використанням взаємодії потоків речовин, зокрема палива, і енергії в різноманітних спеціальних пристроях – паливнях (топкових камерах), теплообмінниках, парогенераторах, випарниках, підігрівниках та спеціальних пристроях чи конструкціях, які часто називають тепломасообмінниками.

Останнім часом у сфері великої енергетики поряд із широко поширеним паровим циклом перетворення починає використовуватися, за винятком України, газовий цикл перетворення теплової енергії в електричну. Поєднання вказаних циклів в одній комбінованій парогазовій енергетичній установці може мати ряд суттєвих переваг в техніко-економічному та екологічному аспекті. Правильний вибір співвідношення потужностей в паровому і газовому циклах та оптимізація перехідних процесів при зміні потужностей неможливий без математичного опису основних технологічних процесів [5-7], які протікають в основних технологічних блоках парового та газового циклів.

Аналіз відомих досліджень та публікацій. До основних аналітичних рівнянь, що відображають загальновідомі закони термодинаміки та описують процеси тепло- і масообміну відносяться нижченаведені [8, 9]:

- рівняння нерозривності (збереження маси)

$$\frac{\partial D}{\partial z} + f\left(\frac{\partial \rho}{\partial t}\right) = 0, \quad (1)$$

де D , ρ – витрата і густина робочого тіла, z , t – просторові та часові координати;

- рівняння збереження енергії

$$D \frac{\partial i}{\partial z} + f(\rho) \frac{\partial i}{\partial t} = \alpha_b h_b (\theta_{cm} - \theta), \quad (2)$$

де i – ентальпія робочого тіла, α_b – коефіцієнт конвективного теплообміну, h_b – товщина стінки елементу теплопередаючого пристрою, θ_{cm} , θ – температура стінки пристрою та потоку робочого тіла відповідно;
- рівняння теплового балансу

$$q_n - q_m C_m \frac{\partial \theta_{cm}}{\partial t} = \alpha_b F_b (\theta_{cm} - \theta), \quad (3)$$

де q_n , q_m – щільність вхідного та вихідного теплового потоку, відповідно, C_m – теплоємність матеріалу теплообмінника, F_b – загальна площа контакту поверхні теплообмінника;
- рівняння стану

$$\rho = \rho(P, \theta), \quad i = i(P, \theta), \quad (4)$$

де P , θ , i – тиск, температура та ентальпія робочого тіла;
- а також загальновідоме рівняння руху

$$\frac{\partial P}{\partial z} = 0. \quad (5)$$

В деяких з вищенаведених рівнянь індекс "n" відноситься до зовнішньої стінки, "b" – внутрішньої стінки, "m" – до матеріалу теплообмінника.

Тут доцільно зауважити, що окремі апарати, а саме теплообмінники, паливні, парові котли та їх різноманітні поєднання можна вважати типовими тепловими об'єктами регулювання та управління. За своїми характеристиками та властивостями такі об'єкти можна об'єднати в певні групи, для яких характерні однотипні динамічні характеристики.

В об'єктах теплової енергетики рух потоків речовини та енергії може бути усталеним(стаціонарним) або нестаціонарним. В першому випадку величини, які характеризують теплофізичні параметри потоків на вході x_i і на виході y_i (тиск, температура, витрата і інші) залишаються постійними, а в другому – досить суттєво змінюються в часі.

В реальних умовах технологічного процесу завжди мають місце певні коливання при зміні параметрів потоків енергії та речовини, однак, коли ці зміни відносно малі, режим об'єкту може вважатися стаціонарним. Стаціонарні режими описуються статичними характеристиками виду $y_i = vx_i$, а нестаціонарні – динамічними характеристиками, які можна записати наступним виразом $y_i(t) = f[x_i(t)]$.

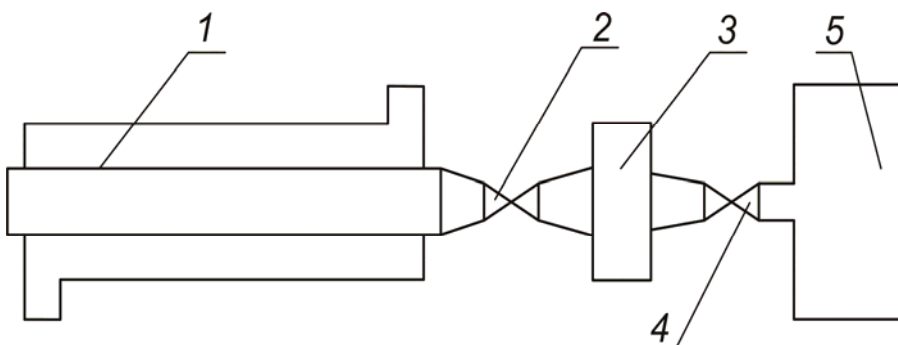
Сукупність математичних залежностей у вигляді алгебраїчних чи диференціальних рівнянь, які описують взаємозв'язки між вхідними x_i і вихідними y_i величинами фізичної моделі, утворюють її математичну модель [3]. При складанні математичних моделей теплових об'єктів,

зокрема, об'єктів теплової енергетики, використовують моделі із зосередженими і розподіленими параметрами.

Виділення невирішеної задачі. В моделях з розподіленими параметрами властивості димових газів та робочого середовища (водяної пари), а також геометричні розміри каналів змінюються вздовж руху потоків по трубах. Математичний опис такої моделі є досить складним і громіздким. Для його спрощення з метою визначення приблизних динамічних характеристик теплових об'єктів використовують моделі із зосередженими параметрами [8-11]. Маса і енергія таких систем сконцентровані в одній або декількох матеріальних точках, а фізичні величини, які характеризують систему в конкретній точці, не залежать від просторових координат, а є лише функцією часу, тобто вважаються постійними по довжині теплообмінника чи будь-якого іншого апарату, на скінченній ділянці.

Теплові об'єкти є термодинамічними системами, які можна графічно зобразити у вигляді теплообмінника типу "труба в трубі", в кільцевому каналі якого рухаються продукти згорання (наприклад, подрібненого твердого палива), а по внутрішньому – робоче середовище – теплоносії (вода або пара).

Спрощену фізичну модель пароперегрівника (чи парового котла) і парового тракту теплової електричної станції показано на рис. 1.



1 – поверхня нагріву, 2 – опір парового котла, 3 – ємність парового тракту,
4 – гідравлічний опір парової турбіни, 5 – конденсатор

Рис. 1. Фізична модель парового котла та парового тракту ТЕС

Для складання математичної моделі згаданого парового тракту з парогенератором розглянемо процес зміни тиску на вході P_1 і виході P_2 трубопроводу і при зміні степені відкриття регулюючого вентиля ξ .

Структурну схему математичної моделі пароперегрівника (парового котла) та його парового тракту наведено на рис. 2.

Тепер запишемо основні рівняння термодинаміки для теплового об'єкта із зосередженими параметрами для наведеної раніше фізичної моделі.

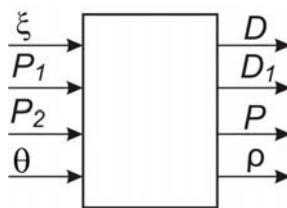


Рис. 2. Структурна схема математичної моделі теплообмінника.

Рівняння збереження маси речовини

$$D_1 - D = V \frac{\partial \rho}{\partial t}; \tag{6}$$

рівняння стану

$$\rho = \left(\frac{\partial \rho}{\partial p}\right)_{\theta_0} P + \left(\frac{\partial \rho}{\partial \theta}\right)_{p_0} \theta; \tag{7}$$

а також рівняння руху

$$P_1 - P = \xi \frac{D_1^2}{\rho}, \tag{8}$$

де ξ – приведений коефіцієнт гідравлічного опору пароперегрівача ($\xi = \text{const}$), а рівняння регулюючого вентиля буде мати вигляд

$$P - P_2 = \xi_{кл} \frac{D^2}{\rho} \tag{9}$$

де $\xi_{кл}$ – коефіцієнт гідравлічного опору клапана, який залежить від степені відкриття.

Початкові умови у формулах 6-9 задаються величинами стаціонарного режиму, або беруться із теплового розрахунку при номінальних значеннях $D_i^0, D^0, \xi_l^0, p_1^0, p_2^0, \theta_0$. Для переходу від вищезгаданої системи рівнянь (6-9), які описують статику процесу, до рівнянь динаміки необхідно замінити кожен змінну величину, що входить у рівняння (6-9), через їх постійні значення в початковий момент часу і прирости $x_i = x_i^0 + \Delta x_i$. Оскільки система в загальному випадку нелінійна, для розгляду її в лінійному наближенні беремо до уваги тільки малі значення приростів Δx_i .

Після перетворень системи рівнянь (6-9) з врахуванням запису її змінних x_i в приростах, тобто за умови математичного опису вже нестационарних процесів, від неї необхідно відняти такі ж рівняння для стаціонарного (або, що краще звучить – для статичного) режиму при значеннях $x_i = x_i^0$. Таким чином отримано систему рівнянь(10)

$$\Delta D_i - \Delta D = V \frac{\partial \Delta P}{\partial t} \left(n p u \frac{\partial \rho_0}{\partial t} = 0 \right),$$

$$\Delta\rho = \left(\frac{\partial\rho}{\partial P}\right)_\theta \Delta P + \left(\frac{\partial\rho}{\partial\theta}\right)_{P_0} \Delta\theta, \quad (10)$$

$$\Delta P_1 - \Delta P = \frac{2\delta P_1}{D_0} \Delta D_1,$$

$$\Delta P - \Delta P_2 = \frac{2\delta P_2}{D_0} \Delta D + \frac{\delta P_2}{\xi_{кл}^0} \Delta \xi_{кл} - \frac{\delta P_2}{\rho_0} \Delta\rho,$$

де $\delta P_1 = P_1^0 - P_0$ – гідравлічний опір пароперегрівника і паропроводу в стаціонарному режимі, $\delta P_2 = P_0 - P_2^0$ – перепад тиску на регулюючому клапані в тому ж режимі.

Отримана система (10) лінійних рівнянь описує динаміку приростів вхідних і вихідних параметрів.

Слід зауважити, що таку лінеаризацію не завжди можна зробити при розгляді режимів, які змінюються в широкому діапазоні визначальних параметрів, але це цілком коректно при вивченні роботи систем автоматичної стабілізації або об'єктів з самовирівнюванням, коли забезпечується підтримання вихідних величин в системі рівнянь (10) з досить високою точністю поблизу заданих значень.

Досліджувана система рівнянь (10) містить вісім параметрів, з яких тільки чотири (ΔP , ΔP_2 , $\Delta \xi_{кл}$, $\Delta\theta$) є незалежними, тобто можуть розглядатися як збурення на вході об'єкту, а решта чотири (ΔP , ΔD_i , ΔD , $\Delta\rho$) є їх функціями, які необхідно визначити.

Для кращого розуміння суті подальшого аналітичного розрахунку та спрощення математичних викладок можна припустити, що у сформульованому вище завданні може розглядатись лише динаміка по каналу збурення $P_1 \rightarrow P$. Виходячи із цього, будемо вважати в системі рівнянь (10) величини θ , P_2 і $\xi_{кл}$ постійними, а їх прирости рівними нулю. Після таких міркувань систему рівнянь (10) можна переписати в такому вигляді

$$\begin{aligned} \Delta D_1 - \Delta D &= V \frac{\partial \Delta P}{\partial t}, \\ \Delta\rho &= \left(\frac{\partial\rho}{\partial P}\right)_{\theta_0} \Delta P, \\ \Delta P_1 &= \frac{2\delta P_1}{D_0} \Delta D_1, \\ \Delta P &= \frac{2\delta P_2}{D_0} \Delta D - \frac{\delta P_2}{\rho_0} \Delta\rho. \end{aligned} \quad (11)$$

Система рівнянь (11) може бути спрощена та зведена до одного рівняння, якщо в перше рівняння системи (11) підставити значення інших залежних змінних ΔD , ΔD_1 і $\Delta\rho$, знайдених відповідно із друго-

го, третього та четвертого рівняння тієї ж системи (11), через шукану змінну ΔP і незалежну змінну ΔP_1 .

$$\Delta P_1 \frac{D_0}{2\delta P_1} - \Delta P \frac{D_0}{2\delta P_2} - \Delta P \frac{D_0}{2\rho_0} \left(\frac{\partial \rho}{\partial P} \right)_{\theta_0} = \frac{d\Delta P}{dt} V \left(\frac{\partial \rho}{\partial P} \right)_{\theta_0}. \quad (12)$$

Після згрупування членів із ΔP у лівій частині рівняння (12), отриманого із системи (11), а члени із незалежною змінною ΔP_1 – у правій частині цього ж рівняння, а в подальшому поділивши дві частини на коефіцієнт, який стоїть перед змінною величиною ΔP , яку необхідно визначити. В результаті отримуємо наступний, досить складний, вираз

$$\Delta P + \frac{1}{\left(\frac{1}{\delta P_2} + \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial P} \right) D_0 \rho_0} \frac{2V\rho_0}{\partial P} \frac{\partial \rho}{dt} \frac{d\Delta P}{dt} = \frac{D_0}{\delta P_1} \frac{1}{\left(\frac{1}{\delta P_2} + \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial P} \right) D_0} \Delta P_1. \quad (13)$$

Із якого, після введення наступних проміжних значень,

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\delta P_2} + \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial P}}, \quad k_{p_1} = \frac{k}{\delta P_1}, \quad T = \frac{2G_0}{D_0} \frac{k}{\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial P}, \quad (14)$$

де δP_1 , δP_2 , ρ_0 і D_0 рівні їх номінальним значенням, взятих для стаціонарного режиму; $\frac{\partial \rho}{\partial P}$ визначають за табличними залежностями густини водяної пари від тиску, а $V\rho_0 = G_0$ – маса водяної пари в об'ємі досліджуваного пристрою, отримуємо вираз, що дозволить рівняння (13) з урахуванням прийнятих позначень записати у вигляді:

$$\Delta P(t) + T \frac{\Delta P(t)}{\partial t} = k_{p_1} \Delta P_1(t). \quad (15)$$

Розв'язком такого лінійного диференційного рівняння першого порядку в часовій області є вираз перехідної характеристики, що має вигляд експоненціальної функції:

$$\Delta P(t) = k_{p_1} \Delta p_1 \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right). \quad (16)$$

Для визначення динамічних характеристик ділянки, яка нами розглядається на початку даної роботи у вигляді функції передачі або амплітудно-частотної характеристики застосовується [9-11] при нульових початкових умовах та при збуреннях по параметру ΔP у вигляді ступінчастої функції перетворення Лапласа-Карсона. Якщо додатково позначити вихідну величину ділянки, яка нами моделюється, через $y = \Delta P/P_0$, а вхідну через $x = \Delta P_1/P_0$, а їх зображення – як $Y(p)$ та $X(p)$, тоді з врахуванням позначення оператора Лапласа ($p=d/dt$) вираз (16) можна записати

$$Y(p)(1 + Tp) = k_{p_1} x_1(p). \quad (17)$$

Із рівняння (17), яке відображає зв'язок лапласівського зображення вихідної та вхідної величин, можна отримати функцію передачу досліджуваної ділянки та її амплітудно-фазову характеристику по каналу збурення $p_1 \rightarrow p(x_1 \rightarrow y)$, які запишемо у наступному вигляді

$$W(p) = \frac{k_{p_1}}{1 + Tp} \quad \text{та відповідно} \quad W(i\omega) = \frac{k_{p_1}}{1 + i\omega T}, \quad (18)$$

де k_{p_1} , T – коефіцієнт підсилення чи пропорційності, постійна часу ланки, об'єкту чи системи відповідно

В реальних умовах значно простіше досліджувати та користуватися замість диференціальних рівнянь їх такими лапласівськими зображеннями. Особливо такий підхід є зручним при аналізі складних об'єктів великої енергетики, а також у випадку поєднання парового та газового циклу генерування електричної енергії, що є значно складнішим випадком

Можливі шляхи вирішення поставленого завдання. Спробуємо провести порівняльний аналіз простих та комбінованих парогазо-турбінних енергетичних установок.

Спрощений паровий цикл генерування електричної енергії складається із декількох етапів перетворення скритої теплоти твердого палива, найчастіше із його видів використовується кам'яне вугілля.

Тверде паливо готується в так званому пиловугільному блоці (на рис. 3 не показаний). Кульовими млинами пиловугільного блоку кам'яне вугілля мелеться до необхідної тонини. Далі помелене паливо подається для спалювання в топку котельного агрегату, димові гази передають своє тепло в паровий котлі попередньо нагрітій котельній воді. Перегріта та стиснута водяна пара з відповідними параметрами (тиском і температурою) поступає в парову турбіну, яка потім розкручує електрогенератор.

Приведена на рис. 3 блочна узагальнена схема теплової електричної станції, яка працює по традиційному паровому циклу, містить паливню з паровим котлом, з виходу якого отримана водяна пара необхідних параметрів розкручує парову турбіну, яка в свою чергу – електричний генератор. В контурі парового циклу ще міститься конденсатор, водяний живильний насос та підігрівник котлової води з регенерацією теплоти.

Алгоритм перетворення теплової енергії в електричну нараховує чотири етапи, кожний з яких має свій певний коефіцієнт корисної дії.

Всі теплові електростанції України, які підпорядковані НЕК “Укренерго”, введені в дію в 60-70 роках минулого століття, працюють по паровому циклу, вичерпали нормативний термін експлуатації, характеризуються великими питомими витратами умовного палива на ви-

роблену одиницю електроенергію та надзвичайно низьким коефіцієнтом корисної дії (на рівні 30%, проти 45% у розвинутих країнах світу).

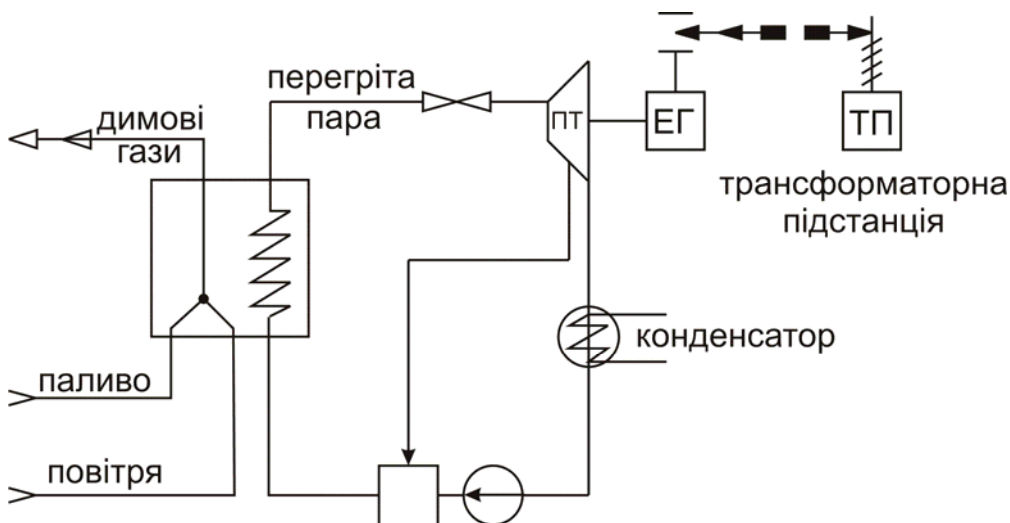


Рис. 3. Принципова схема теплової електричної станції

Поряд з цим існує і газовий цикл [5, 6] генерації електричної енергії. На існуючих в Україні 14 теплових електростанціях газовий цикл чомусь не використовується.

В газовому циклі у камері згоряння спалюється дороге турбінне паливо, або спеціально готується робоче тіло. В цьому випадку алгоритм перетворення нараховує лише три етапи.

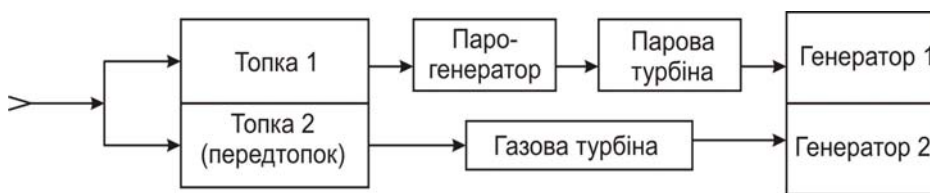


Рис.4. Блок-схема комбінованої паро газотурбінної енергетичної установки

Коефіцієнт корисної дії відповідних блоків у газовому та паровому циклі знаходяться на майже однакових рівнях, то загальний коефіцієнт перетворення у газовому циклі є вищим на 5-10% тільки завдяки відсутності лишнього етапу перетворення. Детальний аналіз спільної роботи комбінованих парогазотурбінних проведений у роботі [12], а її узагальнена блок-схема наведена на рис. 4.

Обидва генератори, кожний із яких приводяться в рух паровою і газовою турбіною відповідно, працюють на спільну електричну мережу.

Робоче тіло для газової частини енергетичної установки готується по спеціальній схемі в об'ємі охолодження паливній циклонного типу, розташованого перед котельним агрегатом. Тверде паливо поступає, як у додаткову паливню (менша частина), так і в основну паливню, разом із тою частиною, що недогорає у передтопку. В таких енергетичних установках для забезпечення процесу горіння використовується не атмосферне повітря, як звичайно, а дещо збагачена киснем із застосування мембранних технологій суміш. Мембранне розділення атмосферного повітря дозволяє отримати його кисневу та азотну частини. Перша забезпечує ефективне спалювання вугілля, в тому числі і низької якості. Шкідливі викиди при цьому досить суттєво зменшуються по причині зменшення кількості атмосферного азоту в суміші, що подається в основну паливню. А частина атмосферного повітря, збагачена азотом та стиснута до необхідного тиску, циркулює в газовій частині, нагрівається в рубашці паливній циклонного типу. Робоче тіло газової частини може ще додатково модифікуватися відборами водяної пари з вихлопів циліндрів середнього чи низького тиску парової турбіни.

Запропоновані в багатьох роботах, зокрема в [13, 14] комбіновані парогазотурбінні енергетичні установки, які підпадають під приведену блок-схему, мають ряд переваг, серед яких слід виділити наступні:

- газова частина енергетичної установки завдяки меншій кількості етапів перетворення теплової енергії в електричну (три проти чотирьох у паровій частині) характеризується вищим на 5-10% коефіцієнтом корисної дії,

- ефективність паралельного з'єднання парової і газової частини зростає, як мінімум на 5%,

- формування робочого тіла для газової частини, за рахунок двохстадійного, або трьохстадійного спалювання твердого палива, приведе до збільшення потужності комбінованої парогазотурбінної енергетичної установки без суттєвого збільшення подачі в котельний агрегат помеленого вугілля. А в підсумку, така установка характеризується значно вищою маневреністю та мобільністю, тобто швидкою зміною потужності, завдяки наявності газової частини, а також при незначному збільшенні кількості спалюваного вугілля суттєво зменшиться величина питомих валових викидів шкідливих речовин в атмосферне повітря (в розрахунку на одиницю потужності (МВт), або на одиницю виробленої електроенергії (кВт/год.).

Слід зауважити, що математичне моделювання всіх процесів в подібних енергетичних установках з використанням вище описаних диференціальних рівнянь є надзвичайно важким завданням, а в деяких випадках майже неможливим, по причині великих габаритів основних технологічних блоків, складних та розгалужених зв'язків між ними, складності їх математичного опису та нестационарності більшості процесів.

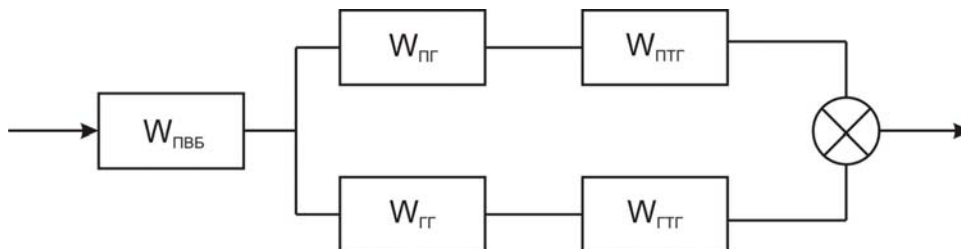


Рис. 5. Структурна схема комбінованої парогазотурбінної енергетичної установки

Тому для певних досліджень такого класу установок можна запропонувати підхід, що полягає у використанні динамічних характеристик основних технологічних об'єктів великої теплової енергетики. А для цього необхідно перетворити блок-схему енергетичної установки, зображеної на рис. 4, в структурну схему функцій передачі окремих блоків, включаючи пиловугільний блок, адже процес генерування електричної енергії починається з помелу на теплових електростанціях кам'яного вугілля відповідної якості. Таку схему енергетичної установки наведено на рис. 5,

де $W(p)_{пвб}$ – функція передачі пиловугільного блоку,

$W(p)_{пг}$ – функція передачі парового котла,

$W(p)_{гг}$ – функція передачі блоку, який генерує робоче тіло для газової частини енергоустановки (газогенератор),

$W(p)_{птг}$ – функція передачі парового турбогенератора,

$W(p)_{гтг}$ – функція передачі газового турбогенератора.

З урахуванням правил перетворень паралельного та послідовного з'єднань, як елементів системи автоматичного керування, зведена функція передачі технологічної схеми (W_o) генерації електроенергії буде мати наступний вигляд

$$W(p)_o = W(p)_{пвб}(W(p)_{пг}W(p)_{птг} + W(p)_{гг}W(p)_{гтг}). \quad (19)$$

Таким чином, функція передачі (19) є узагальнюючим виразом для певного класу енергетичних установок і з його допомогою вже можна досить легко досліджувати та оптимізувати характеристики складових частин парового і газового циклу генерації електричної енергії з метою досягнення необхідних показників для поліпшення маневрених, мобільних та екологічно безпечних режимів основних технологічних процесів генерування електричної енергії. Подальша проблема тепер полягатиме у виборі достовірних даних стосовно функцій передачі окремих технологічних блоків парового і газового циклів генерування електричної енергії. Деякі з необхідних таких функцій можна отримати експериментально, а деякі – аналітично шляхом фізичного чи симулятивного моделювання.

Висновки.

Проаналізовано можливі підходи до ідентифікації об'єктів теплової енергетики. Математичне моделювання таких об'єктів із використанням диференційних рівнянь з частинними похідними є доволі непростим. Складність такого підходу значно підвищується у випадку поєднання в комбінованій парогазотурбінній енергетичній установці парового і газового циклу генерації електричної енергії.

Враховуючи той факт, що формування робочого тіла для газової частини здійснюється в додатковій паливній циклонного типу основного котельного агрегату, де на спалювання помеленого вугілля подається збагачене киснем із застосування мембранних технологій атмосферне повітря, а робоче тіло отримують нагрівом залишкової збагаченої азотної суміші, чим підвищується складність взаємозв'язків блоків парової і газової частини, розробка традиційних математичних моделей для таких схем ще більше ускладнюється

Для ідентифікації об'єктів складних комбінованих парогазотурбінних енергетичних установок запропоновано використовувати функції передачі.

Отриману узагальнену функцію передачі комбінованої парогазотурбінної енергетичної установки можна використовувати для оптимального вибору співвідношення потужностей парової і газової частини, що забезпечить необхідну маневреність енергетичного блока та його високу мобільність, а також значне зменшення питомих валових викидів шкідливих речовин в атмосферне повітря на одиницю виробленої електричної енергії.

Література

1. Теория автоматического управления / Под ред. А.В. Нетушила. – М.: Высшая школа, 1976. – Ч.1. – 400 с., 1982. – Ч. 1,2. – 432 с.
2. Льюнг Ленарт. Идентификация систем. Теория для пользователя / Ленарт Льюнг. – М.: Наука, 1991. – 432 с.
3. Остапенко Ю.О. Идентификация та моделювання технологічних об'єктів керування. Підручник для студентів вищих закладів освіти що навчаються за напрямком “Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології” / Ю.О. Остапенко. – К.: Задруга, 1999. – 424 с.
4. Стенцель Й.І. Математичне моделювання технологічних об'єктів керування: Навч. посібник / Й.І. Стенцель. – К.: ІСДО, 1993. – 328 с.
5. Андрищенко А.И. Парогазовые установки электростанций / А.И. Андрищенко, В.Н. Лапшов. – Л.: Энергия, 1965. – 245 с.
6. Андрищенко А.И. Основы термодинамики циклов теплоэнергетических установок / А.И. Андрищенко. – М.: Высшая школа, 1985. – 318 с.
7. Андрищенко А.И. Оптимизация режимов работы и параметров тепловых электростанций / А.И. Андрищенко, Р.З. Аминов. – М.: Высшая школа, 1983. – 255 с.

8. Серов Е.П. Динамика парогенераторов / Е.П. Серов, Б.П. Корольков. – М.: Энергия, 1972. – 418 с.
9. Плетнев Г.П. Автоматическое регулирование и защита теплоэнергетических установок электрических станций / Г.П. Плетнев. – М.: Энергия, 1976. – 423 с.
10. Плетнев Г.П. Автоматическое управление и защита теплоэнергетических установок электростанций / Г.П. Плетнев. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 344 с.
11. Плетнев Г.П. Автоматизированное управление объектами тепловых электростанций / Г.П. Плетнев. – М., 1981. – 368 с.
12. Семчук Я.М. Екологічні та техніко-економічні аспекти спільної роботи парогазотурбінних енергетичних установок / Я.М. Семчук, М.П. Кулик // Всеукраїнський науково-технічний журнал “Нафтогазова енергетика”. – 2008. – №1(6). – С. 65-68.
13. Кулик М.П. Підвищення ефективності роботи комбінованих енергетичних установок та зменшення екологічного забруднення навколишнього середовища / М.П. Кулик // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2006. – №5. – С. 53-59.
14. Кулик М.П. Підвищення екологічної безпеки теплових електростанцій / М.П. Кулик // Праці Одеського політехнічного університету. – 2013. – №3(42). – С. 94-98.

Стаття надійшла до редакційної колегії 4.03.2015 р.

*Рекомендовано до друку д.т.н., професором Грудзом В.Я.,
д.т.н., професором Тимківим Д.Ф.*

ANALYSIS OF BASIC APPROACHES TO AUTHENTICATION OBJECTS OF LARGE ENERGY

M. P. Kulyk, V. R. Protsiuk

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas;

76019, Ivano-Frankivsk, st. Carpats'ka, 15;

ph. +38 (050) 3377437; e-mail: m_p_kulyk@pisem.net

In the paper possible approaches to mathematical modelling of great power objects are analysed, which include burning chambers, steam generators, steam superheaters, heat exchangers, steam and gas turbines, electric generators and a lot of other auxiliary equipment. The mathematical description of the processes taking place in these devices is complicated due to their non-stationarity and huge geometric dimensions of devices which change in time and space because of significant changes in temperature. When steam and gas cycles are combined in combined steam and gas turbine power plant, use of differential equations with partial derivatives makes formula expressions, which may compose a mathematical model of techno-

logical process chain of electrical energy generation, even more complicated. The situation gets even more complicated when combustion products of solid fuel are used, especially of coal, for creation of working gaseous fluid. Meanwhile, two-stage fuel combustion is implemented using an additional technological device – cyclone precombustor, with a flow of nitrogen-enriched air circulating through its cooling jacket. The use of such expressions for optimization of parameters of combined steam and gas turbine power plant and its operational modes in order to improve manoeuvrability characteristics and reduce harmful emissions into the atmosphere does not provide a simple and convenient final calculation formula. The easiest way of achieving the set goal is only possible when transfer functions are used as Laplacian images for description of the dynamic characteristics of great power objects. A formula of generalized transfer function of a combined steam and gas turbine power plant, as an object of automatic control system is received.

Key words: *steam, gas cycle of electricity generation, steam and gas turbines, differential equations with partial derivatives, dynamic characteristics, transfer function, Laplace image transform, cyclone precombustor.*