

Хіль В.В.

Одеський національний політехнічний університет

ВИБІР ОПТИМАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ПЕРВИННОГО ПЕРЕГРІВУ ПАРИ

Нині автоматизують практично всі виробничі процеси, які сприяють збільшенню випуску, зниженню собівартості й поліпшенню якості продукції, зменшують чисельність обслуговуючого персоналу, підвищують надійність і довговічність машин, економічність, поліпшують умови праці й техніки безпеки. За рівнем автоматизації теплоенергетика займає одне із провідних місць серед інших галузей промисловості. Теплоенергетичні установки характеризуються безперервністю процесів, які протікають у них, при цьому вироблення електричної і теплової енергії в будь-який момент повинно відпо-відати споживанню (навантаженню).

Майже всі операції на теплоенергетичних установках автоматизовані. Автоматизація парогенераторних установок дає значні переваги:

- 1) забезпечує зменшення чисельності обслуговуючого персоналу, підвищення продуктивності його праці;
- 2) призводить до зміни характеру й полегшення умов роботи обслуговуючого персоналу;
- 3) збільшує точність підтримки параметрів вироблюваної пари;
- 4) підвищує безпеку праці й надійність роботи обладнання;
- 5) збільшує економічність роботи парогенератора.

При налагодженні системи регулювання необхідне знання динамічних властивостей об'єкта, які можуть бути отримані двома способами: експериментально (безпосередньо на об'єкті) або аналітично при виведенні й дослідженні його математичної моделі. Перший спосіб трудомісткий, вимагає застосування спеціальних вимірювальних і самописних пристроїв, втручання в роботу об'єкта, участі в експерименті кваліфікованого персоналу. Деякі виміри, наприклад вихідного сигналу термopарі при вимірянні відхилення температури на 5°C – 10°C , вимагають застосування високочутливих і високо-точних самописних пристроїв.

Другий спосіб більш універсальний. Він вимагає суттєво менших витрат, має значну інформативність, особливо при застосуванні універсальних пакетів прикладних програм на сучасних ПЕОМ, однак відрізняється меншою точністю при застосуванні на конкретному об'єкті. При багатобічних дослідженнях складних об'єктів перевагу варто надавати аналітичним методам дослідження.

Ключові слова: пароперегрівач, перегрітий пар, первинний перегрів пари, автоматична система регулювання, колектор змішання, нижня радіаційна частина, верхня радіаційна частина, конвективний пароперегрівач, економайзер, гаряче повітря.

Постановка проблеми. Підтримка необхідної величини температури перегріву пари має важливе значення для забезпечення надійної роботи паросилових установок. При коливаннях температури (вище–нижче) кристалічна решітка залізної труби тріскається, і це приводить до тріщин на стінці трубопроводу. Заміна пошкодженої ділянки труби не можлива без зупинки котлоагрегату, що призводить до значних економічних втрат.

Аналіз існуючих систем регулювання температури перегріву пари. Опираючись на матеріали наукової літератури, а саме [1–4], автор дійшов висновку, що на початку 90-х років АСР температури перегріву пари методом вприскування власного конденсату проектувалися з уведенням додаткового впливу по витраті пари, але широкого застосування вони не знайшли. Існу-

ють АСР із різного роду зв'язками типу «люфт» між окремими схемами регулювання температури перегрітої пари на ділянках парового тракту котла. Вони не отримали широкого розповсюдження через відсутність стандартних датчиків типу «Люфт» і труднощі їх налагодження.

У закордонній практиці знайшли застосування АСР температури перегріву пари з коригувальним і стабілізуючим регуляторами, але у вітчизняній практиці вони поки не застосовуються, хоча, як показують попередні розрахунки, ці АСР у деяких випадках можуть мати значні переваги перед типовими зі зникаючим імпульсом із проміжної точки.

У вітчизняній практиці в основному застосовується типова АСР температури перегріву пари, яка отримала назву каскадної АСР зі зникаючим

імпульсом із проміжної точки. Принципова схема АСР зображена на рисунку 1, де Р – ПІ-регулятор; ДФ – диференціатор; РО – регулюючий орган (клапан уприскування); ТЕ1 і ТЕ2 – термоелектричні термометри (типу ТХК або ТХА); ПП – пароперегрівник; ПО – парохолодник.

Можливе застосування АСР без випереджуючого швидкісного сигналу за температурою пари. У цьому випадку схема АСР значно спрощується й набуває такого вигляду, як це зображено на рис. 2 (позначення ті ж самі, що й на рис. 1). Таке спрощення призводить до погіршення якості перехідних процесів, у том числі до невиконання вимог, які висуваються до АСР.

Таким чином, серед усіх відомих схем регулювання температури пари на виході з пароперегрівника кращою є схема з використанням одного випереджуючого швидкісного сигналу за температурою пари за місцем вприскування конденсату. Перехідні процеси регулювання при використанні цієї схеми відповідають вимогам до АСР температури пари на виході з ПП, а настройки регулятора й диференціатора розраховуються досить легко і не потребують додаткових даних. Тож далі автор досліджуватиме найпоширенішу схему керування температурою пароперегріву.

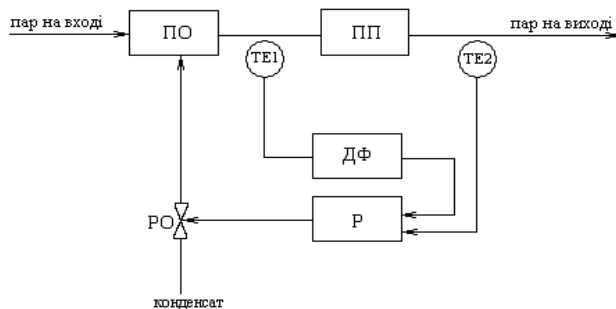


Рис. 1. Принципова схема АСР температури перегріву пари зі зникаючим імпульсом із проміжної точки за місцем вприскування

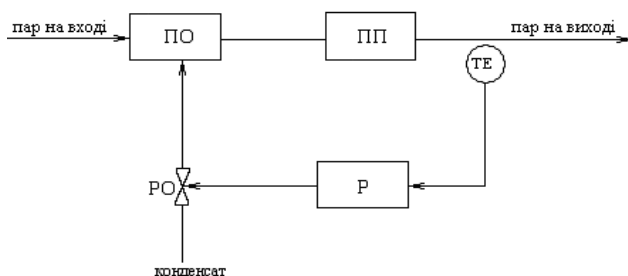


Рис. 2. Принципова схема АСР температури перегріву пари із жорстким зворотнім зв'язком

Постановка завдання. Найбільш поширеним способом регулювання температури перегріву пари

є охолодження перегрітої пари шляхом вприскування живильної води або власного конденсату. Для регулювання температури на заданому рівні використовується автоматична система регулювання первинного перегріву пари з уведенням похідної у довільній точці. Перегрітий пар – пар, нагрітий до температури, яка перевищує температуру кипіння при такому тиску. Перегріта пара використовується в циклах різних теплових машин із метою підвищення їх ККД. Отримання перегрітої пари відбувається в спеціальних пристроях – пароперегрівачах.

Виклад основного матеріалу дослідження. Пароперегрівач – це пристрій, призначений для перегріву пари, тобто підвищення його температури вище критичної. Використання перегрітої пари дозволяє значно підняти ККД парової установки. Пароперегрівач – це система трубчастих каналів, які проходять через топку. Для того, щоб зменшити відкладення накипу на стінках, пароперегрівачі підключають до системи після паросепараторів, які відокремлюють дрібні краплі води. Осідання накипу призводить до збільшення теплового опору стінок каналів, що викликає перегрів і вигорання елементів пароперегрівача.

Пароперегрівач складається з паралельних труб, виконаних зі сталі. Внутрішній d труби – від 20 до 70 мм. Труби вигнуті у вигляді змійовиків і укріплені або в газододах, або в різних частинах топки. Пакет змійовиків складається з системи таких труб у паровому котлі. Змійовики одним краєм приєднуються до вхідного колектора або барабану котла, а іншим – до проміжного або вихідного колектора.

Ціль роботи – аналіз автоматичної системи регулювання температури первинного перегріву пари. Первинний перегрів пари потрібен для того, щоб зменшити відкладення накипу на стінках. Так, пароперегрівачі підключаються до системи після паросепараторів, які відокремлюють дрібні краплі води.

Осідання накипу призводить до збільшення теплового опору стінок каналів, викликає перегрів і вигорання елементів пароперегрівача. Схема моделювання автоматичної системи первинного перегріву пари в програмному забезпеченні Math Lab SIMULINK показана на рисунку 3.

Для синтезу системи регулювання температури перегріву становить інтерес визначення кривої розгону по каналу регулюючого впливу, які показані на рисунках 4 і 5.

Час розгону $T_a = 322$ с

Ємкісне запізнення $\tau = 38$ с

Чисте запізнення $\tau_0 = 2$ с

$K = k_M k_P = 2,15$
 Ємкісне запізнення $\tau = 32$ с
 Чисте запізнення $\tau_0 = 2$ с

Для регулювання системи був вибраний регулятор із введенням похідної у довільній точці. Об'єкт управління розділений на дві частини:

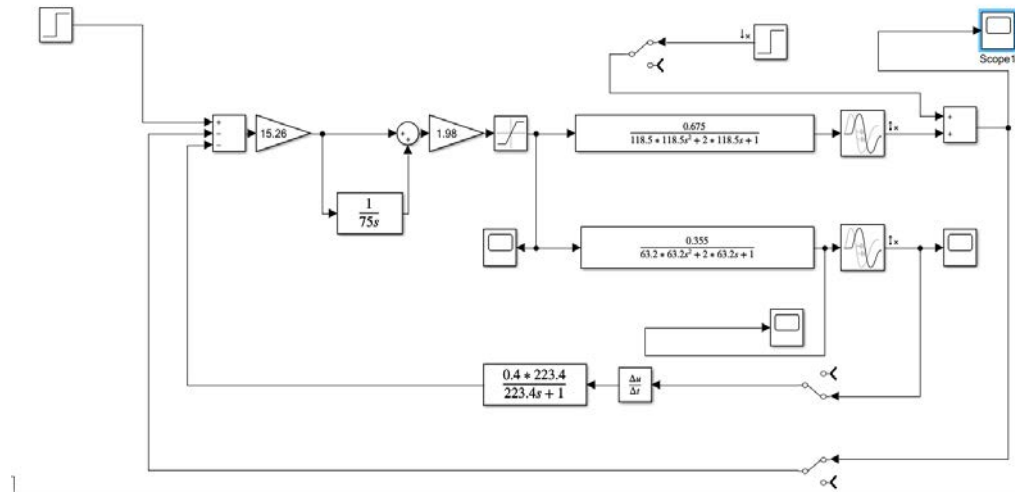


Рис. 3. Схема моделювання

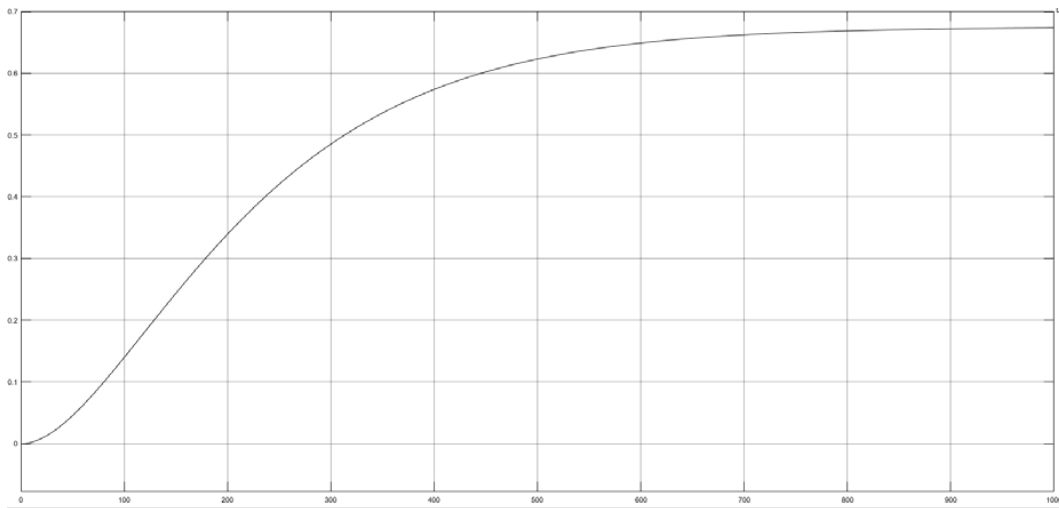


Рис. 4. Крива розгону об'єкта 1

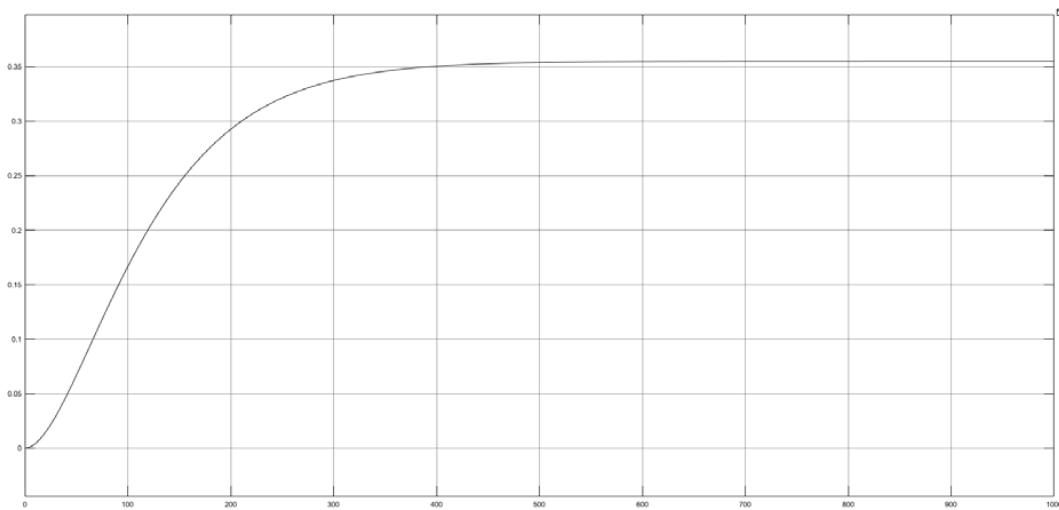


Рис. 5. Крива розгону об'єкта 2

$W_{out}^{MX}(s)$ і $W_{in}^{MX}(s)$. Перша частина має відносно меншу інерційність, ніж друга, тобто випереджає її. Друга більш інерційна, оскільки має велику довжину і масу. Між першою і другою частинами об'єкта влаштований пункт для відбору інформаційного сигналу, від якого за допомогою диференціатора береться перша похідна. В якості основного регулятора в цій схемі зазвичай застосовується ПІ-регулятор. З огляду на передавальні функції реального диференціатора і ПІ-регулятора:

$$W_d(s) = \frac{k_d T_d s}{T_d s + 1}, W_p(s) = k_p + \frac{k_i}{T_i s}, \quad (1)$$

Визначенню повинні підлягати чотири параметри налагодження:

$$k_d, T_d, k_p, T_i.$$

Розрахунок параметрів регулятора. Криві розгону використовуються для отримання даних для налаштування регулятора. Вони були оброблені

за методикою Л.Й. Кона. Вважається, що дані для обробки отримані у вигляді кривої розгону керованого об'єкта по каналу регулювання. Крива розгону була наслідком того, що на вхід було подано ступінчастий сигнал одиничного розміру, яким вважається 100% значення цього сигналу.

Налаштування коригуючого регулятора. Із знайдених налаштувань, еквівалентних стабілізуючому і коригуючому регулятору, автор визначив параметри налаштувань:

реального ПІ-регулятора $W_p(s)$:

$$T_u = \frac{T_{u1}^* T_d}{T_{u1}^* + T_d} = \frac{114 \cdot 223.4}{114 + 223.4} = 75, \quad (2)$$

$$k_p = \frac{k_{p2}^*}{T_d} (T_u + k_{p2}^* k_{00} T_d) = \frac{6}{223.4} (75 + 6 \cdot 0.355 \cdot 223.4) = 15.26, \quad (3)$$

реального диференціатора $W_d(s)$

$$T_d = 223,4$$

$$k_d = \frac{k_{p1}^*}{k_p} = \frac{6}{15.26} = 0.4, \quad (4)$$

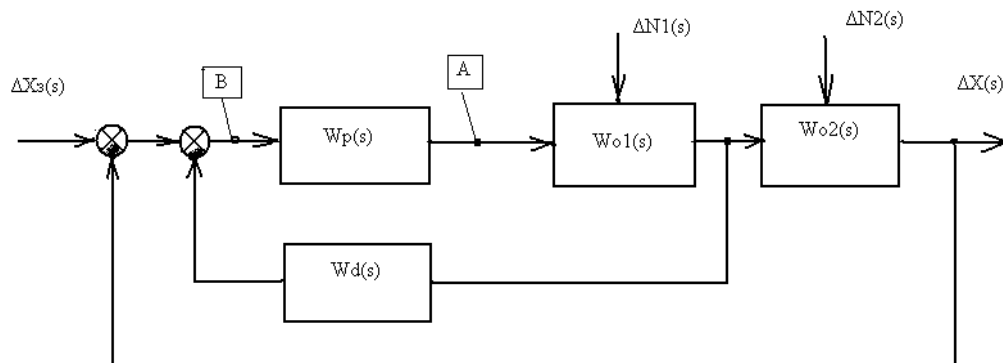


Рис. 6. Структура АСР з уведенням похідної у довільній точці

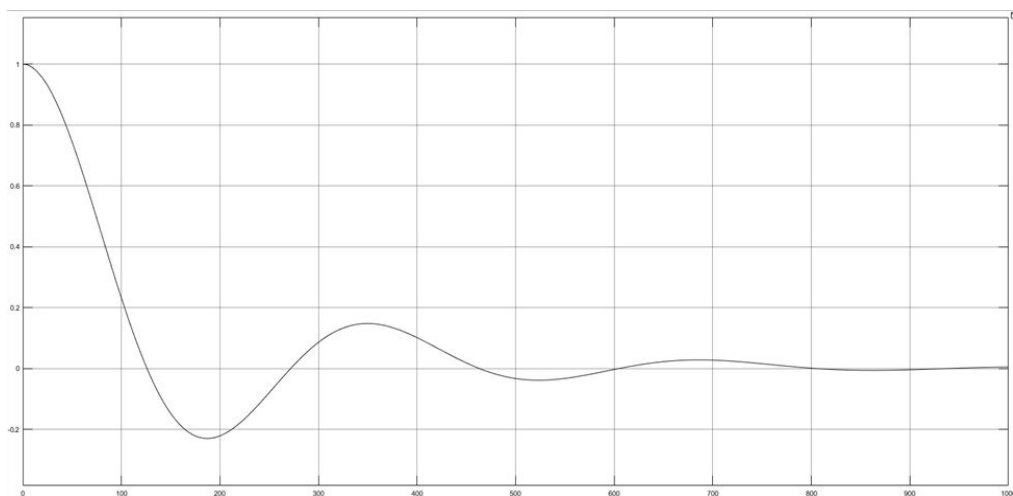


Рис. 7. Результати налаштування перехідних процесів регулювання температури в SIMULINK

Результати налаштування ППР температури в SIMULINK показані на рисунку 7.

Показниками якості ППР температури є:

1. Максимальне відхилення регульованої величини: $A_1 = 0,53^\circ\text{C}$.

2. Час регулювання: $t_p = 600^\circ\text{C}$.

3. Міра згасання коливань перехідного процесу:

$$\psi = \frac{A_1 - A_3}{A_1} = \frac{1 - 0,17}{1} = 0,83 \quad (5)$$

4. Коефіцієнт коливальності:

$$\sigma = \frac{A_2}{A_1} \cdot 100\% = \frac{0,22}{1} \cdot 100\% = 22\% \quad (6)$$

Висновки. Підтримка необхідної величини температури перегріву пари має важливе значення для забезпечення надійної роботи паросило-
лових установок. При коливаннях температури (вище – нижче) кристалічна решітка залізної труби тріскається, і це призводить до тріщин на стінці трубопроводу. Заміна пошкодженої ділянки труби не можлива без зупинки котлоагрегату, що призводить до значних економічних втрат.

Найбільш поширеним способом регулювання температури перегріву пари є охолодження перегрітої пари вприскуванням живильної води або власного конденсату. Для регулювання температури на заданому рівні використовується автоматична система регулювання первинного перегріву пари з уведенням похідної у довільній точці.

Список літератури:

1. М.В. Мейкляр. Парові котли електростанцій. М. : Енергія, 1974. 143 с.
2. Н.І. Давидов, Т.Г. Тюпіна. Дослідження системи регулювання температури пари з двома випереджачими швидкісними сигналами. М. : 2002. № 10. С. 17–21.
3. Д.Я. Кузьменко. Регулювання і автоматизація парових котлів. М. : Енергія, 1978. 45 с.
4. Г.П. Плетньов. Автоматичне регулювання і захист теплоенергетичних установок електростанцій. М. : Енергія, 1976. 76 с.
5. Харабет А.Н. Вивчення класичної теорії автоматичного управління за допомогою сучасного персонального комп'ютера : учебное пособие. О. : Бахва, 2014. 188 с.
6. Беркович В.М., Горохів В.Ф., Татарників В.П. Про можливості регулювання енергосистеми за допомогою атомних електростанцій. Теплоенергетика. 1974. № 6. С. 16–19.
7. Фощ Т.В. Аналіз впливу методів управління потужністю енергоблоку з водо-водяним реактором на осьової офсет / Т.В. Фощ, М.В. Максимов, М.В. Нікольський. Східно-Європейський журнал передових технологій. № 2(8). 2014. С. 19–27.
8. Купрієнко С.В. Сучасні технології управління: в 2 т. Монографія / під заг. ред. С.В. Купрієнко; Sworld. О., 2012. 179 с.

Khil V.V. AUTOMATIC CONTROL SYSTEM OF PRIMARY STEAM OVERHEATING

Currently, they automate virtually all production processes, which leads to an increase in output, lower cost and improve product quality, reduces the number of service personnel, increases the reliability and durability of machines, increases efficiency, improves working conditions and safety. In terms of automation, heat power is one of the leading places among other industries. Thermal power plants are characterized by the continuity of their processes. In this case, the generation of electrical and thermal energy at any time should correspond to consumption (load). Almost all operations on thermal power plants are automated.

Automation of steam generators has significant advantages:

- 1) provides a reduction in the number of service personnel, e increase the productivity of his work;
- 2) changes the nature and ease of service personnel;
- 3) increases the accuracy of maintaining the parameters of the produced steam;
- 4) improves safety and reliability of equipment;
- 5) increases the efficiency of steam generator operation.

When adjusting the control system requires knowledge of the dynamic properties of the object, which can be obtained in two ways: experimentally directly on the object or analytically in the derivation and study of its mathematical model.

The first method is time consuming, requires the use of special measuring and recording devices, intervention in the object, participation in the experiment of qualified personnel. Some measurements, such as the output signal of a thermocouple when measuring temperature deviations, require the use of highly sensitive and high-precision recorders.

The second method is more versatile, requires significantly less cost, has considerable informativeness, especially when using universal application packages on modern PCs, but it is less accurate when applied to a specific object. In multilateral studies of complex objects, preference should be given to analytical methods of study.

Key words: steam superheater; superheated steam, primary steam superheater, automatic control system, mixing manifold, lower radiation part, upper radiation part, convective steam superheater, economizer, hot air.