

Описано промисловий пароводяний тепловий пункт. Проведено його дослідження як об'єкта керування та створено модель динаміки об'єкта із взаємозв'язками технологічних змінних. Описано практичні алгоритми, які використовуються в розробленій системі керування. Показано перехідні процеси в системі при регулюванні параметрів

Ключові слова: тепловий пункт, система керування, схема взаємозв'язків, опалення, гаряче водопостачання

Описан промышленный пароводяной тепловой пункт. Проведено его исследование как объекта управления и создана модель динамики объекта со взаимосвязями технологических переменных. Описаны практические алгоритмы, которые используются в разработанной системе управления. Показаны переходные процессы в системе при регулировании параметров

Ключевые слова: тепловой пункт, система управления, схема взаимосвязей, отопление, горячее водоснабжение

УДК 621.311:681.5

DOI: 10.15587/1729-4061.2015.42141

СИНТЕЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ПРОМИСЛОВИМ ПАРОВОДЯНИМ ТЕПЛОВИМ ПУНКТОМ

О. В. Степанець

Кандидат технічних наук, старший викладач, *

E-mail: stepanets.av@gmail.com

А. П. Ущатовський *

E-mail: andrew.upk@gmail.com

*Кафедра автоматизації теплоенергетичних процесів
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»
пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056

1. Вступ

Теплопостачання є базовим компонентом ефективності роботи будь-якої енергозатратної технології. Від його надійності, ефективності, обґрунтованості спеціальних рішень залежить якість роботи технологічної системи загалом: будь-то забезпечення комфортного мікроклімату будівель чи трансформація енергії для потреб виробничих ліній. Злагодженість роботи окремих контурів промислового теплового пункту напряму впливає як на якість продукції, так і на комфортні умови праці персоналу, а, отже, і на його працездатність.

Для забезпечення ефективної та безпечної роботи теплового пункту необхідна система автоматичного керування, яка підтримуватиме параметри, що підлягають регулюванню, на заданому оператором рівні.

Необхідною умовою побудови автоматизованих систем, які ефективно керують будь-яким технологічним процесом, є розуміння динамічних властивостей об'єкта. Для цього розробляються відповідні математичні моделі, що відображають динаміку поведінки системи та взаємозв'язки між окремими її частинами. Однак створення такої моделі у виключно аналітичному вигляді дуже затратне з огляду на витрачені час та зусилля, і при цьому сповнене припущень для спрощення процедур математичного розрахунку. Тому, щоб більш ефективно організувати роботу над створенням систем автоматичного керування, вдаються до симбіозу аналітичних знань та практичного експерименту. Такий підхід дає готовий для використання на даному об'єкті набір інженерно-математичних інструментів.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Поширеним способом дослідження об'єктів керування, зокрема їх динаміки, є аналітичне конструювання моделей на основі матеріально-енергетичного балансу [1] та інших фізичних властивостей об'єкта. Цей підхід дозволяє отримати точне відтворення реальної установки, але лише у випадку, коли враховані всі важливі фактори, що впливають на його поведінку. Інакше похибки та спрощення, що виникають на різних етапах синтезу моделі, можуть некоректно відображати динаміку. Іншим підходом до попереднього вивчення об'єкта є експеримент [2], результуючі дані якого апроксимуються у вигляді певних функцій. Але найчастіше на практиці зустрічається комбінація цих методів («сірий ящик»), коли загальна структура математичних моделей визначається аналітично, а числові коефіцієнти уточнюються під час активного експерименту.

Об'єктом регулювання в тепловому пункті є системи опалення та гарячого водопостачання. Так, для підтримання заданого напору в системі опалення об'єктом є вся система, для регулятора теплового потоку – теплообмінник й прилегле обладнання. Аналогічно визначається об'єкт регулювання в системі гарячого водопостачання. Особливістю системи гарячого водопостачання є те, що вона є розімкнутою, тобто відбувається відбір води із системи, і об'єктом регулювання є процес відбору води користувачами [3]. Проблеми взаємовпливу замкнених контурів зв'язаних систем регулювання описано в [4].

Фізична природа об'єкта регулювання – суттєвий момент задачі керування. Таким чином, розробник системи керування повинен розуміти фізику

процесів. До цього відносяться початкові знання про основний енергетичний баланс, баланс мас і матеріальні потоки в системі. Фізичні розміри обладнання і те, як вони пов'язані з експлуатаційними характеристиками, також повинні бути зрозумілі. Необхідно створювати структуру фізичних моделей, як перший крок в проектуванні та забезпеченні систем керування [5]. Знаючи властивості кожного об'єкту регулювання, можна налаштувати регулятор так, щоб отримати задану якість керування вказаним об'єктом [6].

Проблема полягає в тому, що для опису процесу динамічними ланками необхідно індивідуально підходити до кожного конкретного процесу. У переважній більшості випадків цей крок опускають, що в результаті призводить до того, що налаштування регуляторів системи автоматичного керування залишають на значеннях за замовчуванням [7]. Якщо скрупульозно поставитися до дослідження об'єкта керування, його опису математичними моделями та відповідальним налаштуванням регуляторів, то можна досягти вражаючих результатів, у тому числі – з енергоефективною складовою. Дослідження проводилося на промисловому тепловому пункті.

3. Мета і завдання дослідження

Метою роботи є розробка ефективної за прямими показниками якості системи автоматичного керування паровим тепловим пунктом в умовах взаємовпливів контурів керування.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі наукові та технічні завдання:

- проаналізувати технологічну схему устаткування для визначення основних технологічних змінних, керуючих впливів та збурень;
- визначити вимоги до якості роботи парового теплового пункту;
- синтезувати математичну модель компонентів теплового пункту;
- розробити структуру системи керування та розрахувати налаштування автоматичних регуляторів, які забезпечують задані показники якості роботи комплексу.

При цьому для побудови математичних моделей об'єкта будуть використані експериментальні дані, отримані в процесі пуско-налагоджувальних робіт.

4. Технологія теплоспоживання

Тепловий пункт складається із трьох контурів (рис. 1): опалення, гарячого водопостачання (ГВС) та додаткового контуру повернення конденсату, який утворюється в процесі теплообміну між первинним теплоносієм та теплоносієм контурів [8].

Первинним теплоносієм в тепловому пункті є пара, яка надходить із котельної. Між котельною та тепловим пунктом встановлено редукційний вузол, що зменшує тиск та температуру пари, яка вже безпосередньо надходить у тепловий пункт.

Контур опалення – незалежна схема із двома резервованими пластинчастими теплообмінниками, із підживленням [9]. Зміна витрати пари, яка подається в контур опалення на кожен теплообмінник для стабілізації температури води на подачі, відбувається через регулювальний клапан із аналоговим керуванням. Тиск у контурі опалення підтримується за допомогою насосної групи із двох насосів, які працюють за формулою робочий-резервний. Регулювання тиску в контурі здійснюється зміною потужності насосів за допомогою частотного перетворювача. Підживлення контуру здійснюється холодною водою із водопроводу.

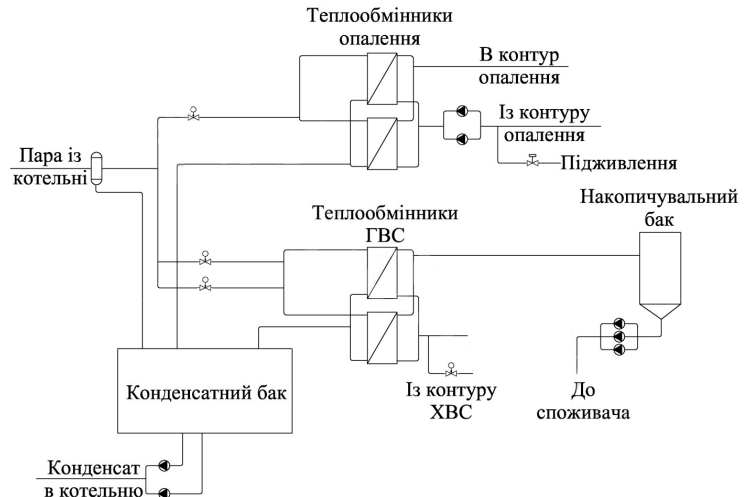


Рис. 1. Технологічна схема теплового пункту

У контурі гарячого водопостачання теплообмін забезпечується також двома пластинчастими теплообмінниками. Встановлена накопичувальна ємність для буферного об'єму підготовленої води на потреби технологічного процесу.

Регулювання витрати пари, яка подається на теплообмінники контуру ГВС відбувається за допомогою двох клапанів – великого та малого. Великий клапан включається в роботу лише при пікових навантаженнях. Керування великого клапану – трипозиційне, малого – аналогове. Вода в контурі циркулює за допомогою насосної групи із трьох насосів – двох насосів малої потужності та піковий технологічний насос більшої. Насоси малої ввімкнені через частотний перетворювач та працюють за схемою основний-резервний з можливістю пікового одночасного включення. Контур ГВС підживлюється водою із водопроводу. Підживлення використовується для регулювання рівня води в накопичувальному баку, а вода подається через регулювальний клапан із аналоговим керуванням.

Конденсат із контурів опалення, ГВС та редукційного вузла зливається в конденсатний бак. Рівень в конденсатному баку підтримується за допомогою насосної групи з двох насосів, які змінюють продуктивність інвертором.

5. Динамічні властивості парового теплового пункту

Паровий тепловий пункт – це дуже складна й відповідальна технологічна система. Через наявність водяної пари високих параметрів до неї висуваються

значно жорсткіші вимоги, ніж до водяних теплових пунктів. Втрата контролю за процесом передачі тепла може призвести до значних аварій через можливі гідродари, теплові напруження трубопроводів чи то навіть до травмування людей. Для того щоб керувати будь-яким технологічним об'єктом, необхідно знати усі вихідні параметри та способи їх зміни. Способи їх зміни полягають у керуванні фізичним обладнанням, які впливають на енергетичні та матеріальні потоки.

На рис. 2 показана схема взаємозв'язків між технологічними параметрами контуру опалення.

У контурі опалення параметрами, що підлягають регулюванню є температура води на подачі, температура повітря в приміщенні та тиск у системі. На температури впливають положення клапана подачі пари, при цьому характеристики пари є збуренням.

Тиск у системі опалення регулюється продуктивністю насосів, а при критичному зниженні тиску вмикається в роботу контур підживлення. Збуренням для тиску в контурі є втрати, які можуть виникати у контурі, наприклад, прорив трубопроводів.

На рис. 3, а-в наведені розгінні характеристики каналів регулювання:

Розгінні характеристики, показані на рис. 3, апроксимовані передаточними функціями аперіодичних ланок другого порядку із запізненням [10]:

– положення клапана подачі пари – температура води на подачі:

$$W(s) = \frac{0.58}{(20 \cdot s + 1) \cdot (18 \cdot s + 1)} \cdot e^{-16s}; \quad (1)$$

– положення клапана подачі пари – температура в приміщенні:

$$W(s) = \frac{0.28}{(119 \cdot s + 1) \cdot (163 \cdot s + 1)} \cdot e^{-65s}; \quad (2)$$

– продуктивність частотного перетворювача – напір у системі опалення:

$$W(s) = \frac{1.82}{(3.3 \cdot s + 1) \cdot (2.7 \cdot s + 1)} \cdot e^{-6s}. \quad (3)$$

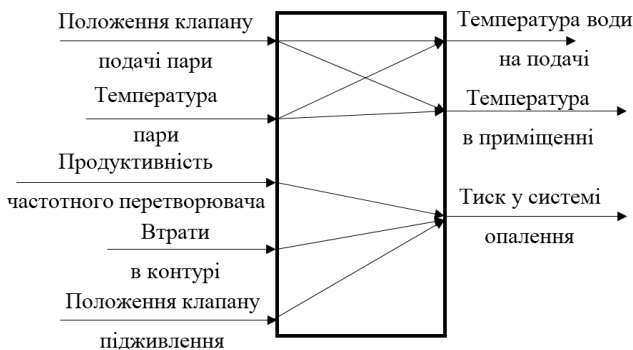


Рис. 2. Взаємозв'язки між вхідними та вихідними параметрами в системі опалення

У контурі гарячого водопостачання необхідно регулювати температуру води на подачі, рівень води в баку та тиск у контурі. Температура води на подачі регулюється за рахунок подачі пари на теплообмінник, при цьому якість пари є збурюючим впливом.

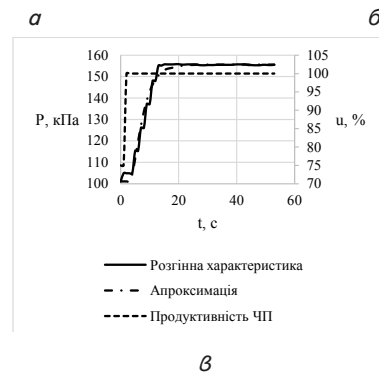
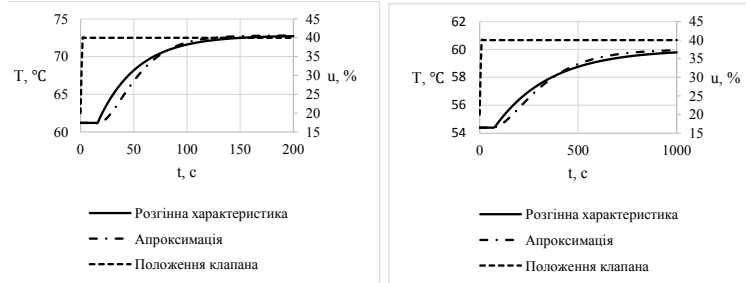


Рис. 3. Розгінна характеристика каналів регулювання в системі опалення: а – положення клапана подачі пари – температура води на подачі; б – положення клапана подачі пари – температура в приміщенні; в – продуктивність частотного перетворювача – тиск у системі опалення

Рівень води в накопичувальному баку підтримується подачею води із трубопроводу холодного водопостачання. При цьому водовідбір із контуру є збуренням.

Тиск у контурі підтримується за рахунок продуктивності роботи насосів насосної групи. Водовідбір із контуру також є збуренням для цього параметра.

Описана схема взаємозв'язків наведена на рис. 4.

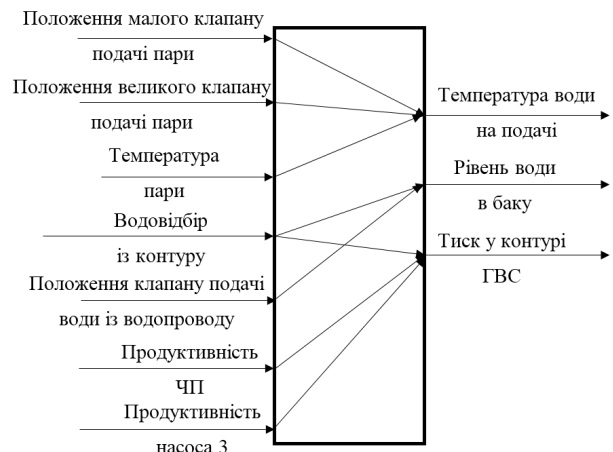


Рис. 4. Взаємозв'язки між вхідними та вихідними параметрами в контурі ГВС

На рис. 5, а–д показано розгінні характеристики каналів регулювання:

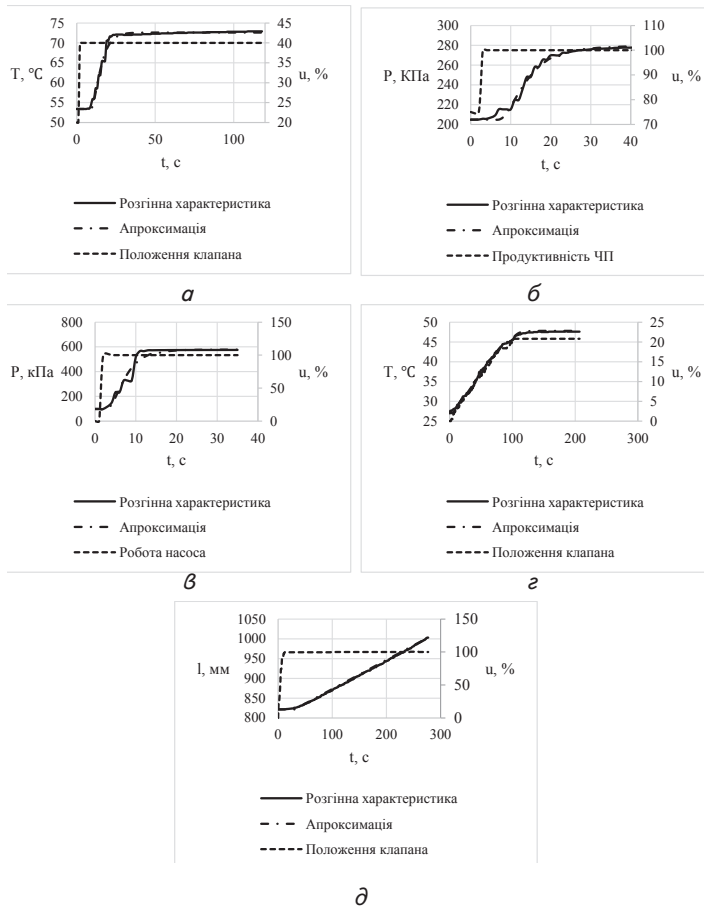


Рис. 5. Розгінні характеристики каналів регулювання в контурі ГВС: а – положення малого клапану – температура води на подачі; б – продуктивність частотного перетворювача – тиск у системі; в – робота великого насоса – тиск у системі; г – положення великого клапану – температура води на подачі; д – положення клапану подачі холодної води – рівень у баку

Динамічні властивості компонентів об'єкта описуються такими передаточними функціями:

– положення малого клапану – температура води на подачі:

$$W(s) = \frac{0.83}{(5.7 \cdot s + 1) \cdot (3 \cdot s + 1)} \cdot e^{-9.3s}, \quad (4)$$

– продуктивність частотного перетворювача – тиск у системі:

$$W(s) = \frac{2.4}{(4.5 \cdot s + 1) \cdot (3.5 \cdot s + 1)} \cdot e^{-6.5s}, \quad (5)$$

– робота великого насоса – тиск у системі:

$$W(s) = \frac{4.8}{(3 \cdot s + 1) \cdot (2 \cdot s + 1)} \cdot e^{-2s}, \quad (6)$$

– положення великого клапану – температура води на подачі:

$$W(s) = \frac{1.02}{(s+1) \cdot (4 \cdot s+1)}, \quad (7)$$

– положення клапану подачі холодної води – рівень у баку:

$$W(s) = -\frac{1}{139 \cdot s} \cdot e^{-30.5s}. \quad (8)$$

У робочому режимі система підтримує рівень конденсату в баку на заданому оператором рівні. Рівень регулюється балансом між надходженням в бак конденсату та витратою рідини, що з баку відходить (рис. 6). Плавність цього процесу регулюється частотним перетворювачем. Він впливає на поточну продуктивність робочого насоса, щоб підтримувати задане значення рівня.

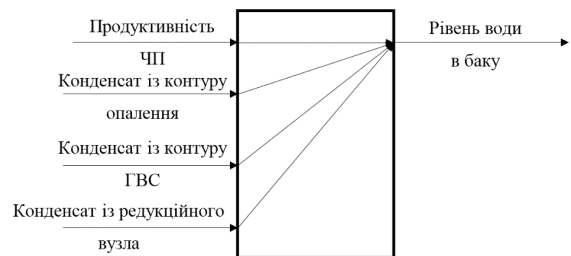


Рис. 6. Взаємозв'язки між вхідними та вихідними параметрами в конденсатному баку

На рис. 7 показано розгінну характеристику рівня води в баку:

Залежність між рівнем у конденсатному баку та продуктивністю частотного перетворювача описується такою передаточною функцією інтегральної ланки [10]:

$$W(s) = -\frac{1}{71.4 \cdot s} \cdot e^{-25.8s}. \quad (9)$$

Таким чином було отримано математичні моделі кожного контуру регулювання промислового теплового пункту. Ці дані було використано для налаштування регуляторів на задану якість перехідних процесів.

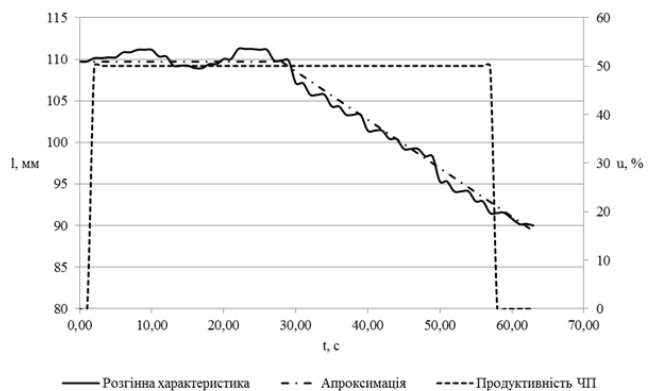


Рис. 7. Розгінна характеристика каналу продуктивність частотного перетворювача – рівень у баку

6. Система автоматичного керування технологічними параметрами парового теплопункта

У контурі опалення підтримується температура на виході із теплообмінника перед подачею до споживача. Система може підтримувати або сталу температуру подавального трубопроводу, або використовувати ідею еквітермального керування залежно від погодних умов, що гарантує економію енергоресурсів на рівні 20–30 %, особливо у перехідні сезони.

Контур керування температурою води в подавальному трубопроводі опалення є одноконтурною системою регулювання [11]. Датчик температури, встановлений на подавальному трубопроводі після теплообмінника, формує сигнал для контролера, в якому реалізований закон регулювання. Контролер порівнює сигнал із заданим оператором (або визначеним із графіка) значенням і формує керувальний вплив на електропривід.

Ще одним способом забезпечити комфортний мікроклімат є підтримання заданої температури повітря в ключовому «усередненому» приміщенні. У такому разі система керування будується за каскадною структурою [11], де головний регулятор підтримує температуру в контрольованій зоні, генеруючи завдання внутрішньому регулятору температури води на подачі в систему.

Система автоматично підтримує заданий перепад тиску у контурі. З позиції теорії автоматичного керування – це одноконтурна система [11]. Перетворювачі тиску, встановлені на подавальному та оберненому трубопроводах, опитуються контролером, а далі різниця між їх показами використовується в законі регулювання як технологічна змінна. Контролер порівнює сигнал із заданим оператором значенням і формує керувальний вплив на частотний перетворювач.

Для підтримання заданого значення тиску в контурі здійснюється підживлення контуру водою. У випадку зниження тиску в контурі нижче порогового значення відкривається електромагнітний клапан підживлення. Клапан залишається відкритим до тих пір, поки тиск не збільшиться вище заданого значення, тобто створено двопозиційний регулятор з гістерезисом

Точка, в якій регулюється температура води на подачі в контур ГВС, знаходиться за теплообмінником. Контролер за показами датчика температури, встановленого в цій точці, та за заданим значенням температури формує сигнал керування на привід клапана, який повинен працювати у поточний момент часу. Цікавим є алгоритм перемикання малого та великого клапанів, встановлених паралельно на паропроводі до теплообмінника. Спочатку в роботу вмикається малий привід. Якщо діапазон його роботи не дозволяє підтримувати задану температуру, або є підозра на великий водорозбір по показникам давача рівня в накопичувальній ємності, що призведе до значного надходження холодної води в бак, то підключається великий привід. Продуктивність клапанів розрахована таким чином, щоб малий клапан покривав потреби в нагріванні води при циркуляції та в умовах незначних витрат води, коли основні технологічні агрегати вимкнені.

Для зміни тиску в контурі гарячого водопостачання контролер керує насосами через частотний перетво-

рювач. Для цього контролер порівнює задане значення тиску в контурі із поточним і при ненульовій різниці цих значень змінює продуктивність роботи насосів через частотний перетворювач.

Підтримання заданого рівня води у накопичувальному баку відбувається положенням клапану подачі холодної води в бак. Для визначення необхідного поточного положення клапана використовується ПІ регулятор, вхідними сигналами якого є поточне значення рівня води в баку та рівень, який потрібно підтримувати в ємності. Плавність процесу підтримання рівня в конденсатному баку забезпечується за рахунок керування насосами через частотний перетворювач. Необхідне значення частоти змінного струму для живлення насосів частотному перетворювачу вказує контролер, який обчислює це значення на основі відхилення поточного значення рівня конденсату від заданого.

Отримані математичні моделі контурів регулювання дозволили провести якісне налаштування регуляторів. Для налаштування регуляторів було поставлено 2 умови:

- система повинна бути стійкою із деяким запасом;
- перехідні процеси повинні бути монотонними.

Налаштування регуляторів проводилося за допомогою програми PID Tuner [12], що входить до складу системи комп'ютерної математики MatLab. PID Tuner автоматично налаштовує регулятор для заданого об'єкту, використовуючи алгоритм, при якому буде досягнуто заданий запас стійкості по фазі [13]. Користувачу необхідно задати вид та форму регулятора. PID Tuner надає можливість користувачу інтерактивно налаштовувати перехідні процеси на задані показники якості. У результаті було отримано налаштування 7 пропорційно-інтегральних регуляторів, які відповідають за кожен контур регулювання (табл. 1).

Таблиця 1

Налаштування регуляторів

№ контуру	Контур регулювання	Регулятор
1	положення клапана подачі пари – температура води на подачі в системі опалення	$W_{PI}(s) = 1 \cdot \left(1 + \frac{1}{30 \cdot s}\right);$
2	положення клапана подачі пари – температура в приміщенні	$W_{PI}(s) = 1.32 \cdot \left(1 + \frac{1}{186 \cdot s}\right);$
3	продуктивність ЧП – напір у системі опалення	$W_{PI}(s) = 0.05 \cdot \left(1 + \frac{1}{3 \cdot s}\right);$
4	положення малого клапану – температура води на подачі в контурі ГВС	$W_{PI}(s) = 0.1 \cdot \left(1 + \frac{1}{5 \cdot s}\right);$
5	продуктивність ЧП – тиск у контурі ГВС	$W_{PI}(s) = 0.04 \cdot \left(1 + \frac{1}{4 \cdot s}\right);$
6	положення клапану подачі холодної води – рівень у накопичувальному баку	$W_{PI}(s) = 2 \cdot \left(1 + \frac{1}{600 \cdot s}\right);$
7	продуктивність ЧП – рівень у конденсатному баку	$W_{PI}(s) = 1 \cdot \left(1 + \frac{1}{200 \cdot s}\right).$

На рис. 8, а–є показано перехідні процеси, які отримані в системі автоматичного керування пароводяним тепловим пунктом після налаштування регуляторів:

Отримані перехідні процеси є оптимальними для технологічного процесу, що відбувається на підприємстві, і відповідають вимогам, які були поставлені до налаштування регуляторів.

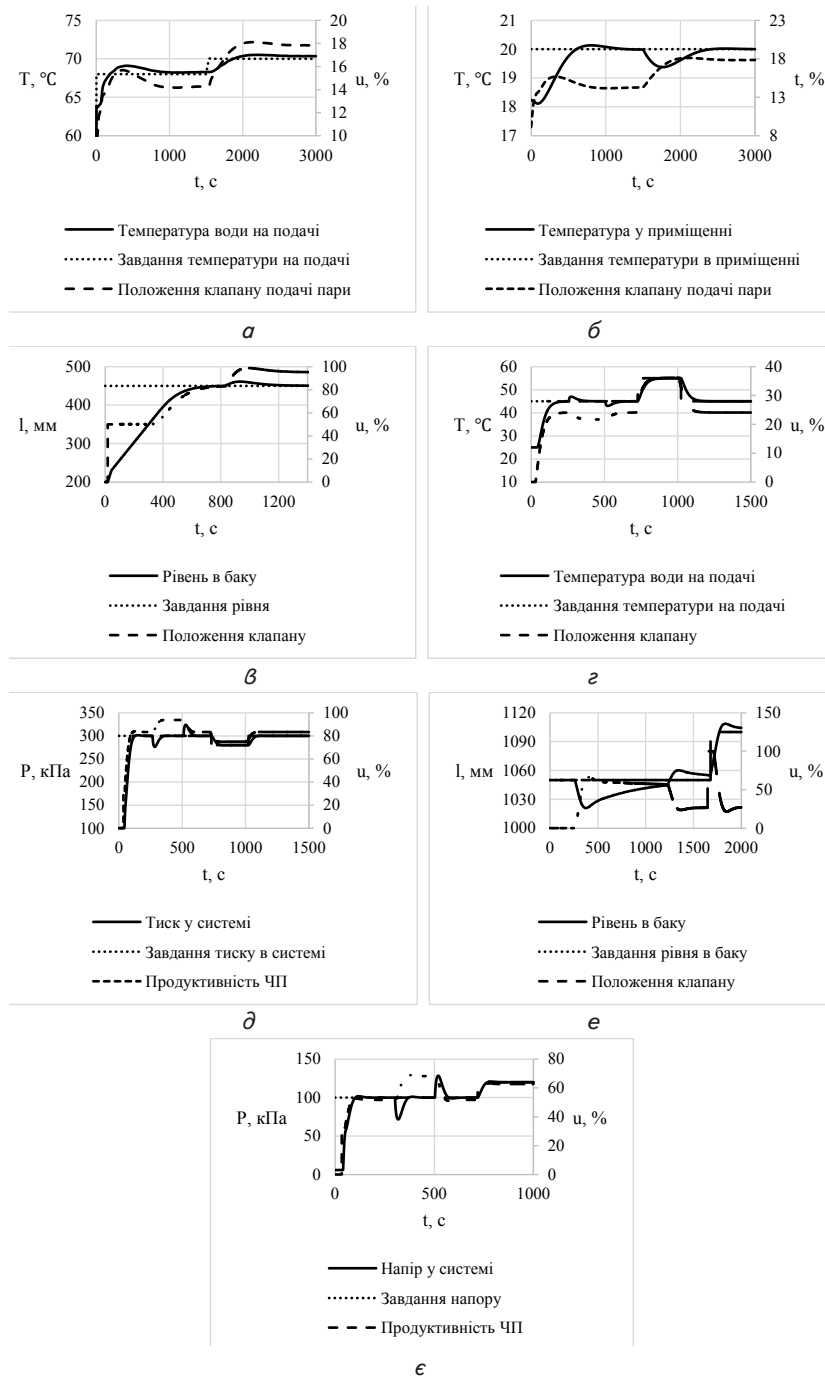


Рис. 8. Перехідні процеси при регулюванні параметрів: а – температури води на подачі; б – температури в приміщенні; в – рівень у конденсатному баку; г – температура води на подачі в контурі ГВС; д – тиск у контурі ГВС; е – рівень у накопичувальному баку контуру ГВС; є – напір у контурі опалення

7. Висновки

Дослідження парового теплового пункту як об'єкта автоматизації, виконане в рамках роботи, показує необхідність детального вивчення структури устаткування та його динаміки для синтезу ефективної за прямими показниками якості роботи системи автоматичного керування.

Показано, що основними технологічними змінними, які характеризують роботу системи, є температурні показники в контрольованих зонах. Разом з тим на ефективність функціонування комплексу впливають також гідравлічний режим та поточне навантаження, що також повинні бути враховані при синтезі регуляторів.

У результаті експериментального дослідження динаміки окремих ділянок об'єкта отримані математичні моделі, які підтверджують теоретичну базу стосовно перебігу теплоенергетичних процесів, характерних для теплових пунктів. Узагальнена у вигляді ряду передавальних функцій модель застосована для синтезу системи автоматичного керування паровим тепловим пунктом та може бути використана в дослідженнях інших об'єктів цього класу.

Технологічні змінні, значення яких повинне підтримуватися на заданому рівні, забезпечені автоматичними регуляторами, що у комплексі становлять загальну структуру запропонованої системи автоматичного керування. На основі отриманих моделей виконано налаштування регуляторів, що забезпечують необхідні показники якості роботи, зокрема близькі до аперіодичних перехідні процеси.

Досягнута якість перехідних процесів за рахунок детального аналізу динаміки об'єкта керування та запропонованих алгоритмічних рішень вказують на те, що система працюватиме з оптимальною витратою енергоресурсів. Особливо це актуально для парових теплових пунктів, так як підготовка перегрітої водяної пари є матеріально затратним процесом.

Література

1. Тодорцев, Ю. К. Модели элементов установки теплоснабжения как объекта автоматизации [Текст] / Ю. К. Тодорцев, К. В. Беглов, И. Н. Максименко // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2005. – № 2 (16). – С. 27–31.

2. Зедгинидзе, И. Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем [Текст] / И. Г. Зедгинидзе. – М.: Наука, 1976. – 390 с.
3. Пырков, В. В. Современные тепловые пункты. Автоматика и регулирование [Текст] / В. В. Пырков. – К.: ИДП «Такі справи», 2007. – 252 с.
4. Лошаков, А. Н. Взаимовлияние замкнутых контуров связанных систем регулирования [Текст] / А. Н. Лошаков // Журнал С.О.К. – 2013. – № 11.
5. Гудвин, Г. К. Проектирование систем управления [Текст] / Г. К. Гудвин, С. Ф. Греббе, М. Э. Сальгадо. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. – 911 с.
6. O'Dwyer, A. Handbook of PI and PID Controller Tuning Rules, 2nd Edition [Text] / A. O'Dwyer. – Imperial College Press, Londod, 2006. – 545 p. doi: 10.1142/9781860949104
7. Пугачев, В. И. Метод расчета и оптимизации параметров системы управления с сервомотором постоянной скорости [Текст] / В. И. Пугачев // Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов. – 2010. – № 5. – Режим доступа: <http://jurnal.org/articles/2010/inf8.html>
8. Альбом принципиальных схем блочных тепловых пунктов Данфосс [Текст] / К.: Такі справи, 2006. – 57 с.
9. Сканава, А. Н. Отопление [Текст]: учебник / А. Н. Сканава; 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1988. – 416 с.
10. Денисенко, В. В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием [Текст] / В. В. Денисенко. – М.: Горячая линия-Телеком, 2009. – 608 с.
11. Ротач, В. Я. Теория автоматического управления [Текст]: учебник / В. Я. Ротач; 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 396 с.
12. PID Controller Tuning in Simulink [Electronic resource] / MathWorks – MATLAB and Simulink for Technical Computing. – Available at: <http://www.mathworks.com/help/slcontrol/guided/automated-tuning-of-simulink-pid-controller-block.html/> – 24.04.2015. – Title from the screen.
13. Åström, K. J. Advanced PID Control [Text] / K.J. Åström, T. Hägglund. – Research Triangle Park, NC: Instrumentation, Systems, and Automation Society, 2006. – 461 p.

Проведено дослідження працездатності і динаміки нової системи автоматичного управління оборотними гідроагрегатами в штатних режимах їх роботи і в режимі корекції ККД по напору. Показано ефективність роботи такої системи і можливість її застосування для оборотних гідротурбін всіх видів ГАЕС, включаючи підземні і шахтні ГАЕС

Ключові слова: оборотний гідроагрегат, змінна частота обертання, система автоматичного управління, ККД, напір

Проведены исследования работоспособности и динамики новой системы автоматического управления обратимыми гидроагрегатами в штатных режимах их работы и в режиме коррекции КПД по напору. Показана эффективность работы такой системы и возможность ее применения для обратимых гидротурбин всех видов ГАЭС, включая подземные и шахтные ГАЭС

Ключевые слова: обратимый гидроагрегат, переменная частота вращения, система автоматического управления, КПД напор

УДК 621.22–546

DOI: 10.15587/1729-4061.2015.42495

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОБРАТИМЫХ ГИДРОАГРЕГАТОВ, РАБОТАЮЩИХ С ПЕРЕМЕННОЙ ЧАСТОТОЙ ВРАЩЕНИЯ

И. И. Червоненко

Аспирант

Кафедры электрических станций

Национальный технический университет

«Харьковский политехнический институт»

ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61002

E-mail: Chervonenko_Ivan@mail.ru

1. Введение

Улучшение технологии конструирования и производства современных гидротурбин, за счет совершенствования оборудования и применения компьютеризированных систем при их проектировании, привело

к тому, что современные гидроагрегаты работают с достаточно высокими энергетическими показателями, увеличение которых уже мало зависит от их конструктивных особенностей. Это в первую очередь касается главного критерия эффективности гидротурбины – ее КПД. В настоящее время конструкторы практически