

УДК 62-50

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ТЕМПЕРАТУРОЮ НА ВИХОДІ З ТЕПЛООБМІННИКА ЗМІШАННЯ

Кравченко А.Д., студент; Жукова Н.В., доц., к.т.н.

(ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», м. Донецьк, Україна)

Загальна постановка проблеми.

Регулювання теплообмінників змішання полягає в підтримці заданого значення температури вихідного потоку шляхом зміни витрати одного з теплоносіїв за умови, що основним джерелом збурень є витрата і температура другого потоку, а температура першого потоку і питомі теплоємності речовин постійні. В якості базового об'єкту управління для дослідження системи автоматичного управління температурою на виході з теплообмінника обраний технологічний процес (ТП) охолодження сірководневих газів з 750°C до 450°C , шляхом їх змішування з повітрям [1].

Аналіз процесу охолодження сірководневих газів як об'єкту управління, показав, що витрата сірководневого газу G_2 і температура газу є основним джерелом збурень, а подача повітря G_1 - керуючим впливом, температура повітря приймається постійною [2]. Авторами в [2] був проведений аналіз математичної моделі об'єкта. Аналіз показав, що при звичайних збуреннях, спостережуваних на практиці, помилка в результаті лінеаризації може виявитися істотною. При збільшенні витрати газів на 30% порівняно із заданим, коефіцієнт посилення по керуючому впливу може змінитися на 5-20%, а по збурювальному на 25-40% від розрахункових, залежно від співвідношення витрат G_1 і G_2 . Також було показано, що стабілізація відношення витрат $G_1/G_2 = \gamma^{\circ}$ дозволяє зменшити вплив нелінійності в математичній моделі, оскільки за відсутності інших збурень, крім G_2 , забезпечуватиметься сталість вихідної температури. Наявність інших джерел обурення, крім витрати газу, потребують введення корекції γ° [2].

Аналіз структурних схем систем автоматичного управління об'єктами даного класу показав, що добре зарекомендували себе комбіновані автоматичні системи регулювання, в яких забезпечується компенсація основних збурень і вводиться зворотній зв'язок по регульованій координаті. На рис. 1 наведені функціональна і структурна схеми системи автоматичного регулювання температури вихідного потоку з внутрішнім регулятором співвідношення витрат G_1 і G_2 , таким, що $G_1 = \gamma(T) \cdot G_2$. При наявності інших збурень, наприклад, зміна тепловтрат в навколишнє середовище, така структура буде підтримувати температуру вихідного потоку в заданих межах.

Таким чином, метою даної статті є дослідження динаміки представленої САР, аналіз показників якості при зміні збурювальних впливів.

Методика вирішення задачі.

Розглянемо роботу САР температури вихідного потоку. В якості виконавчого механізму виберемо двигун постійного струму (ДПТ). Цей механізм дозволяє відкрити заслінку тільки в допустимих межах.

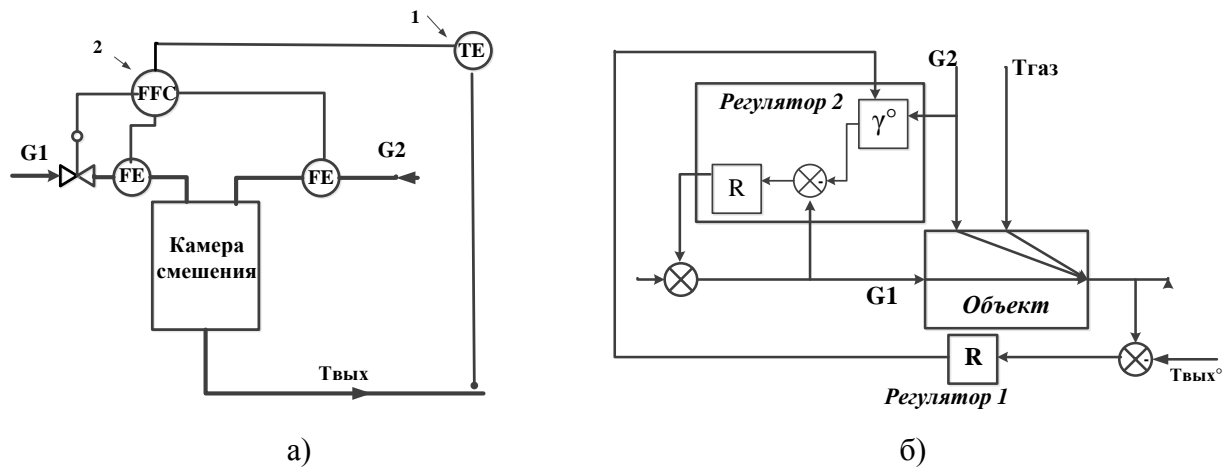


Рисунок 1 – Функціональна (а) і структурна (б) схеми САР вихідної температури з корекцією коефіцієнта за температурою сумарного потоку

Нехай співвідношення витрати газів і повітря таке, що газ, що виходить з теплообмінника, мають температуру 450 C° . Тоді на виході випрямляча - нуль вольт, ДПТ не обертається і заслінка перебуває у фіксованому положенні. При збільшенні обурення (збільшення витрати сірководневого газу), як результат почне збільшуватися температура вихідних газів. Це призведе до того, що помилка незгодженості почне зростати, що в свою чергу викличе збільшення сигналу на виході регулятора співвідношення, а також напруги на виході керованого випрямляча. Двигун почне обертатися, повертаючи заслінку в сторону відкривання, що справить до збільшення подачі повітря в камеру змішування. Це призведе до деякого зниження температури вихідного потоку.

Якщо подача сірководневого газу буде продовжувати лінійно збільшуватися, то в результаті перехідного процесу помилка регулювання стабілізується, заслінка буде відкриватися все більше, з постійною швидкістю. По досягненню подачі повітря деякої постійної величини, двигун призведе заслінку до такого положення, при якому помилка стане рівною нулю, двигун зупиниться і температура на виході теплообмінника буде дорівнює 450 C° .

При різких змінах подачі сірководневого газу в камеру змішування з'являється інерційно - коливальні властивості САР і на деякий час перехідний процес може зробити температуру коливальною. Для того, щоб уникнути такого режиму, коли помилки стабілізації можуть перевищити допустимі значення, технологією заборонено збільшувати швидкість подачі сірководневого газу в піч - котел більше ніж $1500\text{ м}^3/\text{год}$ [1].

Схема моделювання розглянутої САР наведена на рис. 2.

Основна задача синтезу САР полягає у виборі закону регулювання та визначенні настроювальних параметрів регулятора. З практики застосування регуляторів співвідношення потоків [3] приймаємо ПІ-закон управління:

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{1}{T_u} \int_0^t e(t) dt,$$

де K_p - пропорційна складова; $K_u = \frac{1}{T_u}$ - інтегральна складова; $e(t) = T_{зад}(t) - T_{oc}(t)$ -

помилка регулювання.

Значення параметрів настройки, досить близькі до оптимальних, отримані в результаті дослідження динаміки замкнutoї системи. В якості методу знаходження

Перехідний процес по температурі з оптимальними параметрами більш швидкодіючий: час регулювання складає $t_p = 50$ с, перерегулювання $\sigma = 10\%$. Час відпрацювання обурючого впливу по подачі газу становить в обох випадках близько 30 с. Дані показники є задовільними.

На рис. 4, 5 наведені перехідні характеристики впливу, що задає, по витраті повітря і кута відкриття регулюючого органу для внутрішнього регулятора співвідношення витрат, тобто $G_1 = \gamma(T) \cdot G_2$. Коефіцієнт співвідношення $G_1/G_2 = \gamma^\circ$ коригується у відповідність з можливим обуренням по витраті газу.

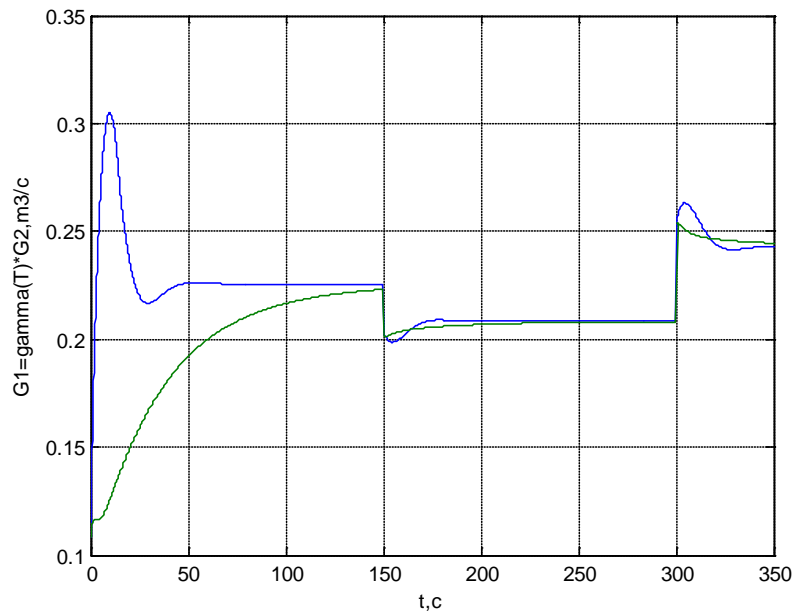


Рисунок 4 - Перехідна характеристика завдання витрати повітря у відповідність із коефіцієнтом співвідношення γ° при зміні подачі газу

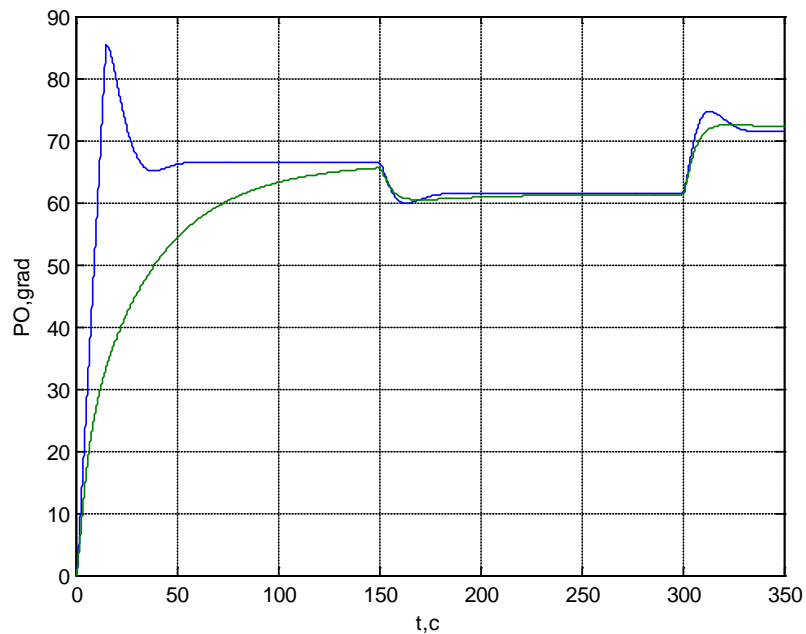


Рисунок 5 - Перехідна характеристика кута відкриття заслінки при зміні подачі газу

Як видно з графіка перехідна характеристика кута відкриття регулюючого органу не виходить за межі технологічних обмежень, що свідчить нормальному режимі роботи САР.

У досліджуваній САР проведено аналіз на підвищену сприйнятливість до наявності шумів в сигналі помилки, який поступає на регулятор температури. Для цього на вихід суматора головного зворотного зв'язку поданий сигнал з генератора білого нормального шуму. Заданий ширококутовий гаусовський шум зі стандартним відхиленням, рівним $10\text{ }^\circ\text{C}$. Як видно, з рис.3. САР легко справляється зі своєю задачею стеження та стабілізації.

Таким чином, результати моделювання показали працездатність каскадної САР і можливість застосування таких систем, основними показниками якості яких виступають:

- відсутність статичної помилки;
- час регулювання - порядку 100 сек;
- аперіодичний характер перехідних процесів з допустимим перерегулюванням до 10 %;
- задовільний час відпрацювання сигналів уставок і обурень порядку 30 сек;
- компенсація як контрольованих, так і неконтрольованих збурень за рахунок обраного принципу управління по відхиленню з підлеглим регулюванням.

Висновки:

1. Розглянуто технологічний процес охолодження сірководневих газів як об'єкт управління. Основним джерелом збурень є витрата і температура газу, а температура повітря і питомі теплоємності речовин постійні. В якості базового об'єкту управління для дослідження системи автоматичного управління температурою на виході з теплообмінника обраний технологічний процес охолодження сірководневих газів з $750\text{ }^\circ\text{C}$ до $450\text{ }^\circ\text{C}$.

2. Показано, що стабілізація відношення витрат $G_1/G_2 = \gamma^\circ$ дозволяє зменшити вплив нелінійності в математичній моделі. Аналіз структурних схем систем автоматичного управління об'єктами даного класу показав, що добре зарекомендували себе комбіновані автоматичні системи регулювання, в яких забезпечується компенсація основних збурень і вводиться зворотній зв'язок по регульованій координаті.

3. Результати моделювання каскадної САР з різними варіантами налаштувань ПІ-регуляторів показали задовільні показники якості системи. Перехідна характеристика температури з регулятором, налаштованим вручну носить аперіодичний характер, час регулювання складає $t_p = 150\text{ с}$. Перехідний процес по температурі з оптимальними параметрами більш швидкодіючий: час регулювання складає $t_p = 50\text{ с}$, перерегулювання $\sigma = 10\%$. Час відпрацювання обурювального впливу по подачі газу становить в обох випадках близько 30 с.

4. У досліджуваній САР проведено аналіз на підвищену сприйнятливість до наявності шумів в сигналі помилки, який поступає на регулятор температури. При подачі білого нормального шуму із стандартним відхиленням, рівним $10\text{ }^\circ\text{C}$ САР повністю справляється із задачею стеження та стабілізації.

Перелік посилань:

1. Производственная инструкция аппаратчика производства серной кислоты Авдеевского коксохимического завода. Авдеевка 2013. – 57с.
2. XVI Международная молодежная научная конференция «Севергеоэкотех-2014»: материалы конференции (26–28 марта 2014 г.): в 5 ч.; ч. 1. –Ухта: УГТУ, 2013.
3. В. Денисенко ПИД регуляторы: вопросы реализации (часть вторая): <http://www.cta.ru>
4. Кузьменко Н.В. Автоматизация технологических процессов и производств: Учеб. Пособие – Ангарск 2005, АГТА. – 78с.
5. Клиначёв Н. В. Теория систем автоматического регулирования и управления: Учебно-методический комплекс. - Offline версия 3.6. - Челябинск, 2005. - 652 файла, ил. http://model.exponenta.ru/tau_lec.
6. Сучасна теорія управління динамічних систем: навч. посіб. /Рафіков Г.Ш., Жукова Н.В., Чернишев М.М., Федюк Р.В., Червинський В.В. – Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2012. – 300 с. Гриф МОНмолодьспорту України № 1/11-4117 від 27.03.12 р.