

УДК 541.515

Лорія М. Г.

ЗНАХОДЖЕННЯ ШЛЯХІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МАКСИМАЛЬНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ КОЛОНИ СИНТЕЗУ МЕТАНОЛУ

Безперервні великотоннажні виробництва, такі, наприклад, як виробництво метанолу, характеризується більшою кількістю апаратів, споживаної енергії й сировинних ресурсів [1]. Проведення технологічного аудиту показало, що колона синтезу метанолу є апаратом, який містить основний виробничий резерв для збільшення продуктивності агрегату синтезу метанолу. Оптимальна для даного апаратурного оформлення система керування з моделлю колоною синтезу метанолу дозволить вести виробничий процес синтезу метанолу в оптимальних умовах, тим самим задіявши промисловий резерв.

Колона синтезу у виробництві метанолу працює в такий спосіб. Синтез-Газ із температурою порядку $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ подається в цикл синтезу. На вході колони синтезу 1 газ розділяється на чотири потоки: основний хід (ОХ) і холодні байпаси (ХБ). Синтез-Газ, який подається в колону по ОХ проходить через рекуперативний теплообмінник 2, де нагрівається до температури порядку $230\text{ }^{\circ}\text{C}$ газом, що відходять із колони [2].

Нагрітий до температури $230\text{ }^{\circ}\text{C}$ газ подається на першу полицю колони синтезу 1. Для підтримки робочої температури на полках реактора, яка становить близько $280\text{ }^{\circ}\text{C}$, використовують ХБ 1-4.

Колона синтезу являє собою складний об'єкт керування, що характеризується більшою кількістю внутрішніх зв'язків. На типовому виробництві аміаку [2] температури на полках колони синтезу виставляються оператором-технологом вручну. Такий підхід не може забезпечити оптимальну роботу колони синтезу при змінах навантаження на апарат, состава синтез-газу, властивостей каталізатора.

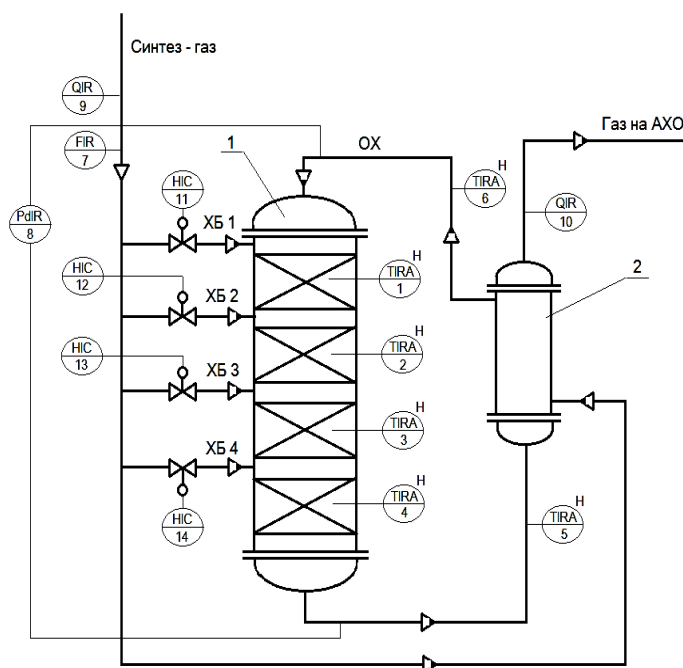


Рис. 1. Схема багатополочного газового реактора виробництва метанолу:
1 – колона синтезу; 2 – рекуперативний теплообмінник

З погляду керування, даний реактор є складним об'єктом, які характеризуються більшою кількістю параметрів, що обурюють, і множинними внутрішніми зв'язками. Реактор працює в такий спосіб. Циркуляційний газ на вході колони розділяється на два потоки (дільник Д 1): основний хід, який через вбудований теплообмінник ТЕ, де він нагрівається теплом газів, що відходять, до температури порядку 230 °С, подається на першу полицю реактора П 1; і холодний байпас, який, у свою чергу, ділиться на три потоки (дільник Д 2) і призначений для підтримки температури на полках реактора П 1 – П 3 діапазоні 225–280 °С. На полках реактора протікає екзотермічна реакція синтезу метанолу. З виходу третьої полиці газ подається у вбудований теплообмінник ТЕ, де віддає своє тепло газу, що надходить у колону [1].

Інформаційно-логічна схема триполочного газового реактора наведена на мал. 2.

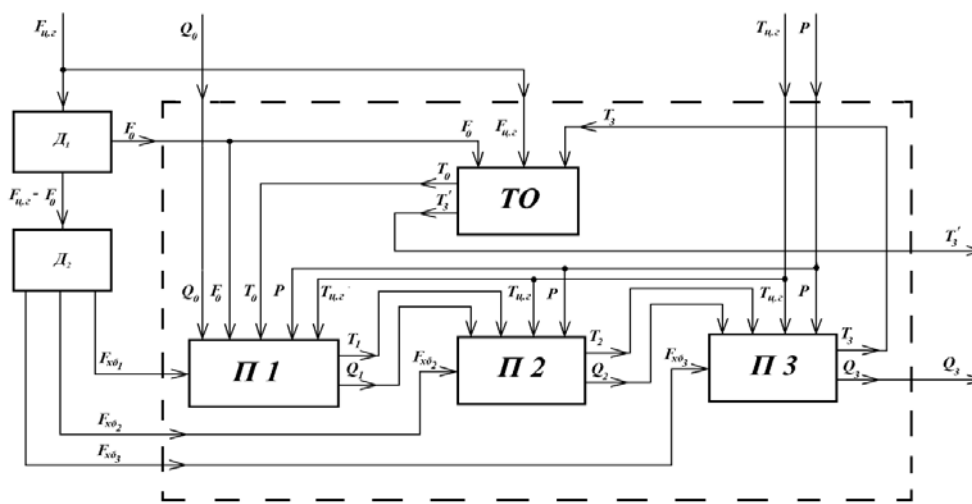


Рис. 2. Інформаційно-логічна схема трехполочного газового реактора із вбудованим теплообмінником:

$Д 1$, $Д 2$ – математичні оператори розподілу потоку, $П 1$, $П 2$, $П 3$ – полки реактора, $ТЕ$ – теплообмінник

Умовимося називати вихідними параметрами параметри системи, які характеризують її стан і підтримка значень яких є метою системи регулювання. Регулюючі параметри – параметри, за допомогою яких ведеться регулювання (витрати матеріальних і енергетичних потоків). параметри, що обурюють, – параметри, які впливають на вихідні параметри, але не можуть бути регулюючими [2].

Аналіз технологічного процесу, що відбувається в трехполочном газівому реакторі, як об'єкта керування показує, що технологічний об'єкт має дві вихідні координати: концентрацію цільового продукту Q_3 на виході з реактора й температуру T_3' газу на виході реактора після теплообмінника ТЕ [3–5]. Для даного об'єкта температурний режим по висоті газового реактора однозначно визначає концентрацію цільового компонента на його виході, а, отже, і температуру T_3 , яка визначає температури T_0 і T_3' . Виходячи з того, що з достатнім ступенем точності об'єкт можна розглядати як замкнену термодинамічну систему, величина концентрації Q_3 однозначно визначає температури T_3 , і, відповідно, T_0 і T_3' . Тому регулювання або стабілізація температури T_3' не має в цьому випадку особливого змісту. Особливістю даного об'єкта є те, що для регулювання одного параметра – концентрації цільового компонента Q_3 використовуються три регулюючі параметри – подачі холодних байпасів циркуляційного газу на полки з каталізатором. До параметрів, що обурюють, ставляться витрата циркуляційного газу $F_{u,c}$, його температура $T_{u,c}$ і концентрація цільового компонента на вході реактора Q_0 . Тиск циркуляційного газу P можна віднести до координат, що обурюють, тому що, по-перше, цей параметр стабілізується компресором синтез-газу, по-друге, при ступені

конверсії синтез-газу в готовий продукт порядку 10 % зменшення тиску за рахунок реакції становить приблизно 5 %. Отже, при зміні ступеня конверсії в межах 8...12 % тиск зміниться в межах 4...6 %, що укладається в погрішність вимірювального каналу тиску.

Мета і завдання дослідження – знаходження шляхів забезпечення максимальної ефективності роботи колони синтезу метанолу в умовах варіації навантаження й збурювання шляхом розробки алгоритму пошуку оптимальних витрат синтез – газу по фізичних каналах колони синтезу метанолу.

Завдання запропонованої системи керування полягає в корегуванні коефіцієнтів моделі, розв'язку оптимізаційної задачі й стабілізації витрат холодних байпасов на розрахованих значеннях. Розв'язком оптимізаційної задачі є знаходження значень витрат холодних байпасів, при яких у даних умовах ступінь конверсії синтез-газу в цільовий продукт буде максимальною.

Ціль оптимального керування газовим триполочним реактором полягає в тому, щоб перерозподілити циркуляційний синтез-газ для досягнення максимального ступеня конверсії, і, відповідно, максимальної концентрації цільового компонента [6].

Для розв'язку поставленого завдання в даній роботі пропонується розробити математичну модель і розв'язати оптимізаційну задачу. На першому етапі розробляється детермінована модель. Незважаючи на її невисоку точність, вона дає можливість оцінити вид критеріальної функції в широкому діапазоні зміни аргументів з обліком її багато екстремальності, і виділити область глобального екстремуму. На другому етапі виконується адаптація моделі на основі експериментальних даних, одержуваних з об'єкта керування, на основі імовірнісних методів. Це дозволяє забезпечити точність моделюємих параметрів за рахунок природнього обліку всіх впливів, що обурюють, [7, 8].

Створення адекватної моделі має на увазі облік нелінійності залежностей вихідних параметрів процесу від вхідних. Це неминуче приводить до збільшення ступеня рівнянь, якими описується об'єкт керування. Використання рівнянь високих порядків суттєво ускладнює процес оптимізації – пошук оптимальних значень параметрів технологічного процесу. У більшості випадків доводиться прибігати до наближених розв'язків, що знижує точність розроблювальної моделі.

У роботах [2, 6–8] описана запропонована система керування й отримані статичні й динамічні моделі колони. Для реалізації запропонованої системи необхідно розробити й реалізувати алгоритм пошуку оптимальних витрат синтез-газу по основному відходу й «холодним» байпасам колони синтезу метанолу.

У роботі [4] показано, що концентрація метанолу на виході колони синтезу метанолу є функцією від витрат синтез-газу по фізичних каналах колони синтезу ($F_{x61} - F_{x63}$ і F_0 – витрати синтез-газу по «холодним» байпасам і основному ходу), витрати циркуляційного газу $F_{ц.г.}$ (навантаження на колону), його температури $T_{ц.г.}$, температури синтез-газу, який подається по каналу основного ходу на вході колони T_0 , тиску в колоні й концентрації метанолу в газі на вході колони:

$$Q_3 = f(F_{x61}, F_{x62}, F_{x63}, F_0, F_{ц.г.}, T_{ц.г.}, T_0, Q_0, P). \quad (1)$$

Через складність і громіздкості даного рівняння обмежимося в статті його загальним видом. Для того щоб знайти максимум концентрації метанолу на виході реактора, для фіксованого значення навантаження $F_{ц.г.}$, доцільно застосувати багатопараметричну оптимізацію [9]. Сучасні засоби обчислювальної техніки, використовувані для керування виробництвом, дозволяють у прийнятний час одержати розв'язок [10–16]. Проте, одержати бажаний розв'язок завдання в даній постановці чи навряд можливо. Головним чином це пов'язане з наявністю сильних неконтрольованих збурювань на об'єкті. До них ставляться зміна активності каталізатора, гідродинамічних режимів у колоні й ін. Тому розв'язок багатопараметричної

оптимізаційної задачі моделі можна розглядати не більш як швидкий крок у близьку околицю точки екстремуму. Для цього необхідно побудувати зрізи функції (1) для фіксованих значень витрат F_{x63} з певним кроком. Графічний розв'язок даного рівняння для довільно обраного зрізу наведено на рис. 3.

Результатом розв'язку оптимізаційної задачі в алгоритмі роботи системи керування з моделлю колоною синтезу метанолу у виробництві метанолу для заданого навантаження на агрегат ($F_{ц.г.} = const$) є оптимальні значення витрат синтезу газу по фізичних каналах «холодних» байпасов. Отримані значення витрат реалізуються через роботу виконавчих механізмів і регулювальних клапанів, установлених у лініях подачі «холодних» байпасів.

Таким чином, для фіксованих значень витрати F_{x63} з певним кроком одержуємо значення максимумів функції концентрації. Графічно ця функція буде мати вигляд (рис. 3).

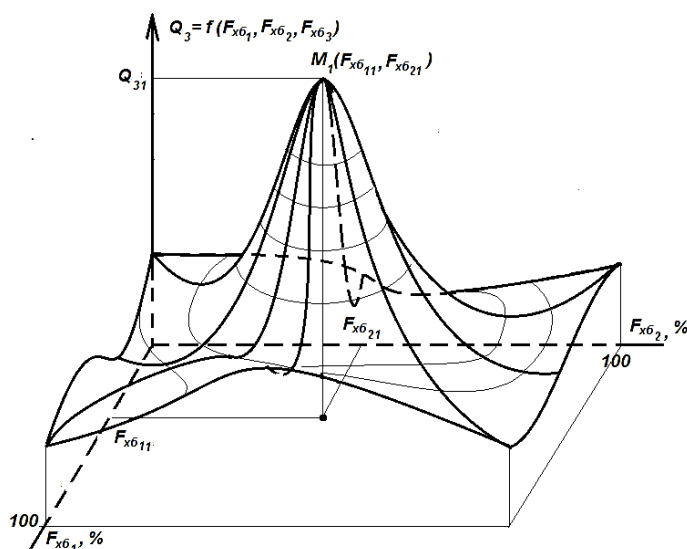


Рис. 3. Графічний розв'язок рівняння (1)

Таким чином, у роботі системи керування реалізується швидкий вихід об'єкта керування на режим близький до оптимального (рис. 4).

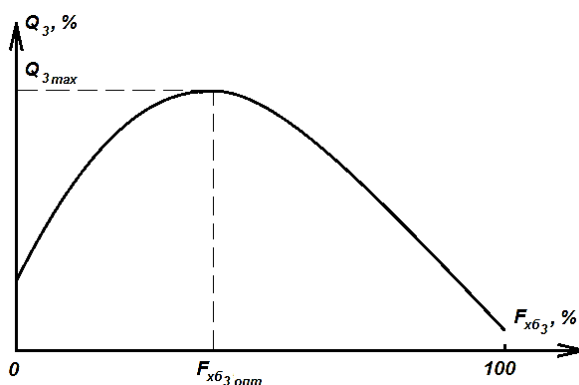


Рис. 4. Розв'язок оптимізаційної задачі

Через те що точність моделі не однакова у всіх крапках процесу, координати реального екстремуму концентрації (експериментальне значення) можуть відрізнитися від розрахованого по моделі теоретичного значення. Для більш точного переходу об'єкта в оптимальний режим на наступному етапі роботи системи пропонується використовувати пошуковий алгоритм Хука-Дживса [9].

Інформація, отримана при переході об'єкта керування в область близьку до оптимальної, використовується в якості базисної крапки пошукового алгоритму. Крім того, дані, отримані по детермінованій моделі, використовуються при визначенні напрямку пошуку за зразком і величини кроку. Це дозволяє суттєво скоротити число пробних кроків при реалізації алгоритму, час пошуку й підвищити ймовірність знаходження найближчої околиці дійсного оптимуму.

Практична реалізація досить складних алгоритмів стала можливою завдяки широкому застосуванню засобів обчислювальної техніки, що володіють високою обчислювальною потужністю. Завдяки тому, що швидкість і обсяг обчислювальних процедур перестає бути критичним обмеженням роботи системи, з'являється можливість оптимізувати структуру системи, підвищити дружність інтерфейсу, а також якість і надійність системи в цілому [10–16].

На відміну від способу керування колоною синтезу метанолу на реальному виробництві, де керування проводиться вручну з використанням рекомендацій технологічного регламенту, запропонована система керування з моделлю й алгоритм її функціонування дозволять вести технологічний процес синтезу метанолу в умовах, близьких до оптимальних. Враховуючи крупнотонажність і безперервність виробництва метанолу (річний обсяг виробництва метанолу на ЧАО «Севєродонецьком об'єднанні «Азот»» 100 тис. тонн) економічна доцільність запропонованої системи не викликає сумнівів.

ВИСНОВКИ

Запропоновано підхід до забезпечення стабільної ефективності роботи агрегату й алгоритм його реалізації. Алгоритм складається із двох частин: перша – пошук наближеного розв'язку й переклад об'єкта керування в область близьку до оптимальної; друга – тонке підстроювання оптимальних значень із використанням пошукового алгоритму.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Система екстремального керування многополочным реактором з моделлю / Абдалхамід Д., Лорія М. Г., Целищев А. Б., Єлісєєв П. І. // Вісник СХУ. – 2012. – № 15(186). – Ч. 2. – С. 152–156.
2. Розробка комбінованої моделі для завдань оптимізації / Д. Абдалхамід, М. Г. Лорія, П. І. Єлісєєв, О. Б. Целищев // Наука і техніка : міжнар. наук.-техн. журнал. – Мінськ : БНТУ, 2014. – № 3. – С. 209–213.
3. Математичне моделювання технологічних об'єктів / Целищев А. Б., Єлісєєв П. І., Лорія М. Г., Захаров І. І. – Луганськ : Изд-У ВНУ, 2011. – 421 с.
4. Адаптація математичної моделі реактора синтезу метанолу / Д. Абдалхамід, М. Г. Лорія, О. Б. Целищев, П. І. Єлісєєв, І. І. Захаров // Східноєвропейський журнал передових технологій. – 2013. – № 6/3(66). – С. 4–6.
5. Ананьєв М. В. Ідентифікація параметрів моделі з використанням точок глобальних екстремумів динамічних характеристик / М. В. Ананьєв, О. Б. Целищев, М. Г. Лорія // Вопросы химии и химической технологии. – Днепропетровск, 2012. – № 5. – С. 188–191.
6. Ананьєв М. В. Оптимальне настроювання регулятора за квадратичною оптимізаційною функцією / М. В. Ананьєв, О. Б. Целищев, М. Г. Лорія // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2010. – № 6(148), Ч. 2. – С. 134–141.
7. Построение системы управления процесса окислительного пиролиза на основе кусочно-линейной модели / Санаева Г. Н., Пророков А. Е., Кириллов И. Е., Богатиков В. Н. // Успехи в химии и химической технологии. – 2018. – Т. 32. – № 11 (207). – С. 50–52.
8. Нгулу-А-Ндзели, Шахов В. Г. Диагностирование технических систем: сопоставительные алгоритмы // Телекоммуникации и транспорт. – 2018 – Т. 12 – № 9 – С. 69–73.
9. Петров И. С. Модель фильтрующей способности алгоритма управления / И. С. Петров, В. Г. Терехов // Телекоммуникации и транспорт. – 2018. – Т. 12. – № 5. – С. 22–27.
10. Киселев Д. В., Семенов С. С., Педан А. В. Постановка задачи на моделирование процесса эксплуатации программно-аппаратных комплексов связи // Телекоммуникации и транспорт. – 2018. – Т. 12. – № 3. – С. 46–52. – DOI 10.24411/2072-8735-2018-10051.