

ВИБІР КОНФІГУРАЦІЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ З ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНОЮ СТРУКТУРОЮ ДЛЯ БІНАРНОЇ РЕКТИФІКАЦІЙНОЇ КОЛОНИ

Овчар Н.Ю., магістрант, nilaovchar122@gmail.com;

Стопакевич А.О., к. т. н., доцент, stopakevich@gmail.com

*Державний університет інтелектуальних технологій і зв'язку,
м. Одеса, Україна*

Ректифікаційні колони (РК) – це типові об'єкти керування для багатьох галузей промисловості: хімічної, нафто- і газопереробної, харчової, атомної та ін. Наведемо основні особливості РК як об'єкта керування: багатовимірність, наявність значних перехресних впливів в каналах керування, тривалість перехідних процесів, наявність нелінійної поведінки, особливо при виході за межі технологічного регламенту [1].

Технологічно РК можуть бути розділені на бінарні та колони з трьома чи більше продуктами. При чому продуктові потоки окремої РК можуть містити як порівняно чисті компоненти, так і суміші. Це залежить від особливостей технологічного процесу.

Системи автоматичного керування (САК) РК за характером обраних технологічних змінних для керування та її мети розділяються на системи підтримання енергетичного балансу, системи підтримання матеріального балансу, можливі й комплексні варіанти.

В літературі описано багато структур САК РК з різними типами регуляторів та законами керування. Їх аналіз не є метою доповіді, тому зазначимо лише що САК децентралізованої структури з використанням регуляторів ПІД-типу для РК, які застосовуються в промисловості, як і для багатьох інших об'єктів, є самим розповсюдженим варіантом [1].

САК децентралізованої структури мають декілька переваг. По-перше, вони просто реалізуються за допомогою типових засобів автоматизації. По-друге, настройка кожного окремого регулятора може бути проведена не тільки теоретично, а й підібрана емпірично за зрозумілими правилами, за результатами спостереження за реальною поведінкою ОК з підключеним регулятором. По-третє, оскільки регулятори реалізуються автономно, то САК може продовжувати частково функціонувати при відмові одного регулятора чи, наприклад, при ремонті обладнання, яке з ним пов'язане. По-четверте, при застосуванні САК децентралізованої структури значно простіше проводити ручне управління оператором чи інженером, який може вимикати деякі регулятори та задавати керуючий вплив вручну.

Таким чином, слід зазначити, що поки рівень автоматизації на складних виробництвах не доросте до можливості повністю відмовитись від оператора та постійного інженерного обслуговування, САК децентралізованої структури будуть самим розповсюдженим варіантом.

Розглянемо задачу вибору конфігурації для РК, яка розділяє суміш ізопропанол-вода. Ця РК описується МПФ (час в секундах):

$$P(s) = \begin{bmatrix} P_{11}(s) & P_{12}(s) \\ P_{21}(s) & P_{22}(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{3.74}{(1803 \cdot s + 1) \cdot (78 \cdot s + 1)} & \frac{-3.45 \cdot e^{-53.3 \cdot s}}{(2698 \cdot s + 1) \cdot (72 \cdot s + 1)} \\ \frac{5.21 \cdot e^{-43 \cdot s}}{(2864 \cdot s + 1)} & \frac{-2.36}{(1275 \cdot s + 1) \cdot (525 \cdot s + 1)} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Керуючими впливам є потужність ребойлера u_1 (номінал 4100 Вт) і витрата флегми u_2 (номінал 65 г/хв). Керованими змінними є температура зверху y_1 (номінал 59.7 °C) і температура знизу y_2 (номінал 78.2 °C).

Ця колона є бінарною РК, яка передбачає застосування САК енергетичного балансу. Прямий показник – концентрація має бути підтриманий за непрямым (температура), що дещо підвищує вимоги до якості керування, оскільки кореляція між цими параметрами є певною тільки в околиці робочого режиму.

Сформулюємо задачу синтезу САК децентралізованої структури з регуляторами ПІД-типу. САК має задовольняти наступним вимогам: стійкість та запас стійкості, задовільна якість перехідних процесів, можливість вимикати регулятори, можливість зменшувати коефіцієнт передачі кожного регулятора якщо його поведінка на реальному ОК є агресивною (тобто занадто швидко процеси при зavelикому керуючому впливі).

Для ОК (1) можливі дві конфігурації САК: 1) u_1 - y_1 , u_2 - y_2 2) u_2 - y_1 , u_1 - y_2 .

Досягнення чи недосагнення всіх сформульованих задач синтезу залежать від обраної конфігурації. Хоча в цьому випадку можливо просто емпірично промодельовати САК з двома конфігураціями, більш переконливим буде теоретичне обґрунтування вибору конфігурації. При чому цей вибір не має залежати від налаштувань чи типу регулятора, інакше задача дуже ускладнюється.

Серед методів вибору конфігурації для розв'язку цієї задачі є доцільним обрати лише такі, які використовують модель статички ОК. Низка таких методів є розрахунково простою, а статика багатьох технологічних ОК як правила більш досліджена, ніж динаміка [2].

Математична модель статички ОК (1) має вигляд:

$$P_0 = \begin{bmatrix} 3.74 & -3.45 \\ 5.21 & -2.36 \end{bmatrix}$$

Матриця RGA розраховується за формулою:

$$RGA(P_0) = P_0 \otimes P_0^{-T} = \begin{bmatrix} 3.74 & -3.45 \\ 5.21 & -2.36 \end{bmatrix} \otimes \begin{bmatrix} 3.74 & -3.45 \\ 5.21 & -2.36 \end{bmatrix}^{-T} = \begin{bmatrix} -0.9648 & 1.9648 \\ 1.9648 & -0.9648 \end{bmatrix}$$

Одним з правил для інтерпретації результатів матриці RGA є те, що діагональ з негативними значеннями брати заборонено, оскільки система буде нестійкою. Таким чином, залишається тільки побічна конфігурація (№2, u_2 - y_1 , u_1 - y_2).

Побудуємо матрицю RIA, яка отримується шляхом ділення одиниці на кожний елемент матриці RGA з відніманням від результату одиниці.

$$RIA(P_0) = \begin{pmatrix} -2.0364 & -0.4911 \\ -0.4911 & -2.0364 \end{pmatrix}$$

Одним з правил для інтерпретації результатів матриці RGA є те, що діагональ з значеннями за модулем більше одиниці брати не рекомендовано, оскільки перехресний вплив в даному випадку є домінуючим. Результат аналізу змістовно такий же.

Інтегрованість (тобто стійкість системи до відключення одного з регуляторів і зниження їх коефіцієнтів передачі в сторону зменшення) для ОК 2x2 можливо перевірити за допомогою індексу Нідерлінського.

$$P_1 = \text{diag}(P_0); \quad P_2 = \text{diag}_2(P_0),$$

$$NI_1 = \det(P_0)/\det(P_1) = -1.0364; \quad NI_2 = \det(P_0)/\det(P_2) = 0.5089$$

$$P_0 = \begin{bmatrix} 3.74 & -3.45 \\ 5.21 & -2.36 \end{bmatrix}, P_1 = \begin{bmatrix} 3.74 & 0 \\ 0 & -2.36 \end{bmatrix}, P_2 = \begin{bmatrix} 0 & -3.45 \\ 5.21 & 0 \end{bmatrix}$$

Негативне значення індексу означає, що така конфігурація є нестійкою, позитивне – що є властивість інтегрованості. Отже, бачимо, що результат змістовно сходиться з RGA з точки зору стійкості. Крім того, конфігурація №2 відповідає вимозі інтегрованості.

Таким чином, бачимо, що конфігурація №2 відповідає всім поставленим вимогам до децентралізованої САК. Математичне моделювання САК обох конфігурацій з обраними настройками ПІД-регуляторів[3] підтверджує отримані результати.

Література

1. Skogestad S. The Dos and Don'ts of Distillation Column Control / S. Skogestad // Chemical Engineering Research and Design. — 2007. — V. 85. — No 1. — P. 13—23.
2. Arranz M. C. A. On guided and automatic control configuration selection / C. Arranz M., W. Birk, A. Kadhim // 22nd IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA). — 2017. — P.1-6.
3. Стопакевич Ан. А. Проектирование робастных регуляторов объектами с большим запаздыванием / Ан. А. Стопакевич, Ал. А. Стопакевич // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2016. — Т.1. — № 79. — С. 48–56.

Анотація

В доповіді розглянута задача автоматичного керування бінарною ректифікаційною колоною. В якості структури системи автоматичного керування розглянута децентралізована структура, яка складається з автономних регуляторів ПІД-типу. З застосуванням

математичної моделі ректифікаційної колони проведений вибір конфігурації системи керування. Для вибору конфігурації використовувались методи RGA, RIA та індекс Нідерлінського. Математичне моделювання перехідних процесів в системі керування показує, що застосування зазначених методів вибору конфігурації в розглянутому випадку, дозволяє отримати структуру децентралізованої системи автоматичного керування, яка має властивість стійкості та інтегрованості.

Ключові слова: ректифікація, система керування, конфігурація, стійкість, інтегрованість.

Аннотация

В докладе рассмотрена задача автоматического управления бинарной ректификационной колонной. В качестве структуры системы автоматического управления рассмотрена децентрализованная структура, которая состоит из автономных регуляторов ПИД-типа. С использованием математической модели ректификационной колонны проведен выбор конфигурации системы управления. Для выбора конфигурации использовались методы RGA, RIA и индекс Нидерлинского. Математическое моделирование переходных процессов в системе управления показывает, что использование указанных методов выбора конфигурации в рассмотренном случае позволяет получить структуру децентрализованной системы автоматического управления, которая обладает свойствами устойчивости и интегрированности.

Ключевые слова: ректификация, система управления, конфигурация, устойчивость, интегрированность.

Abstract

In the report the problem of automatic control of binary distillation column is considered. As structure of automatic control system the decentralized structure, which consists of autonomous regulators of PID type is considered. Using a mathematical model of the distillation column, the choice of configuration of the control system was carried out. RGA, RIA and Niederlinski index methods were used to select the configuration. Mathematical modeling of transients in the control system shows that using of the mentioned methods of a configuration choice in the considered case allows to receive the structure of the decentralized automatic control system which has properties of stability and integrity.

Keywords: distillation, control system, configuration, stability, integrity.