

ПУПЕНА О.М., канд. техн. наук, ЕЛЬПЕРІН І.В., канд. техн. наук, професор,

ЛУЦЬКА Н.М. канд. техн. наук,

Національний університет харчових технологій, м. Київ

ВИЗНАЧЕННЯ СПОСТЕРЕЖНОСТІ ТА КЕРОВАНОСТІ ЕПЮРАЦІЙНОЇ КОЛОНИ З ВИКОРИСТАННЯМ СТРУКТУРНОГО ПІДХОДУ

В статті розглядається індивідуальний підхід визначення спостережності та керованості епюраційної колони як об'єкта автоматизації. Класичні підходи не дають змогу дослідити даний об'єкт, тому в роботі використаний структурний підхід. Дослідження показали, що епюраційна колона є частково спостережною та керованою, тому вказані підходи для усунення даного недоліку, зокрема введення додаткових вимірюваних змінних та управлінь.

Ключові слова: спостережність, керованість, епюраційна колона, брагоректифікаційна установка, домішки.

In the article the definition of individual approach and handling sposterezhnosti epyuratsiynoyi as columns of automation. Classical approaches do not allow you to explore this subject, so used in the structural approach. Studies have shown that epyuratsiyna column is

partially controlled supervisory and so are approaches to address this defect, in particular the introduction of additional measurable variables and controls.

Key words: sposterezhnist', dirigibility, epyuratsiyna column, bragorektifikaciyna setting, do-mishki.

Формування проблеми та цілей.

Від роботи епюраційної колони (ЕК) в складі брагоректифікаційної установки (БРУ) значною мірою залежить чистота етилового спирту, оскільки її задачею є вилучення всіх домішок головної фракції та верхніх проміжних домішок, супутніх етиловому

спирту. Недостатня ступінь очистки в ній приводить до необхідності використання додаткових колон, працюючих в режимі епюрації, що приводить до додаткових витрат енергоресурсів. Таким чином цільовою функцією управління колоною повинна бути така нерівність:

$$x_{EПj} \leq x_{EПj}^{здн}, \forall j \in M_D \quad 1$$

де: $x_{EПj}$ - концентрація j -ї домішки в епораті,
 $x_{EПj}^{здн}$ - задана допустима концентрація j -ї домішки в епораті, M_D - множина ключових (найважливіших) домішок.

Значною мірою оптимальний режим роботи брагоректифікаційної установки залежить від автоматизованих систем управління. З точки зору управління – епюраційна колона є одним із найбільш складних об'єктів, оскільки кількість регульованих величин (концентрація етанолу та домішок в епораті, втрата етанолу з головною фракцією) є набагато більше кількості управляючих дій (витрата пари, витрата охолоджувальної води, витрата води на гідроселекцію). Крім того, більшість з наведених величин практично не вимірюються в реальних системах, по причині надмірної вартості необхідного обладнання, а замість них вимірюються непрямі показники процесу (температура, тиск). Таким чином виникає ряд питань, які потребують дослідження:

1. Чи достатньо вимірювальних величин в існуючих класичних системах управління для визначення параметрів стану об'єкту (ступінь спостережності);
2. Чи достатньо управляючих дій для переведення системи в необхідну точку в області параметрів встану (ступінь керуваності);
3. Які можливі способи розширення області спостережності та керуваності.

Задача даної статті дати оцінку спостережності та керуваності сучасних автоматизованих комплексів управління БРУ, в складі яких є епюраційна колона, та можливі механізми усунення недоліків в їх роботі.

Математична модель об'єкта в складі системи.

В теорії управління керувана система називається спостережною, або достатньо спостережною, якщо по даним вектору вимірювання та управління на кінцевому інтервалі часу можна визначити вектор стану. Керуваність системи визначається наявністю такого кінцевого сигналу управління, який переводить систему з довільного стану в задану точку за кінцевий час [1-4]. Поряд з цими визначеннями, деякі автори [1] вводять також поняття підпростору спостережності та керуваності, як деяка множина станів, в якій система повністю спостережна, або відповідно керувана.

Механізми визначення спостережності та керуваності добре описані для лінійних об'єктів, або нелінійних, які можливо лінеаризувати. Однак добре формалізовані методи Калмана не підходять до тих нелінійних об'єктів, математичну модель якого неможливо звести до класичної матричної форми. В цьому випадку можна зробити спробу ви-

користати структурний аналіз об'єкту, і опираючись на самі поняття спостережності та керуваності дати їх оцінку для реальної системи. Для цього необхідно скласти модель об'єкту управління в області параметрів стану.

Опис моделі епюраційної колони у вигляді тарілок та взаємозв'язку між ними дозволяє представити об'єкт, як об'єднання окремих підсистем (тарілок), що дозволяє проводити його структурний аналіз. Епюраційна колона є складним нелінійним багатомірним об'єктом, що обумовлено великою кількістю підсистем, які пов'язані між собою двосторонніми зв'язками, та кількістю вхідних та вихідних змінних. Оцінка загальних показників об'єкта управління (епюраційної колони) для моделі з 5-ти тарілками та двома вводами рідкого живлення справедлива і для колони з іншою кількістю тарілок у зв'язку з їх однаковою структурою. Таким чином, дослідивши цю модель на спостережність і керуваність, можна визначити загальні проблеми, притаманні процесу управління ЕК та визначити можливі шляхи їх вирішення. Математична модель епюраційної колони для 5-ти тарілок представлена у вигляді параметричної схеми (рис.1) та у вигляді системи рівнянь (1) - (5) без розкриття функцій та вектор-функцій.

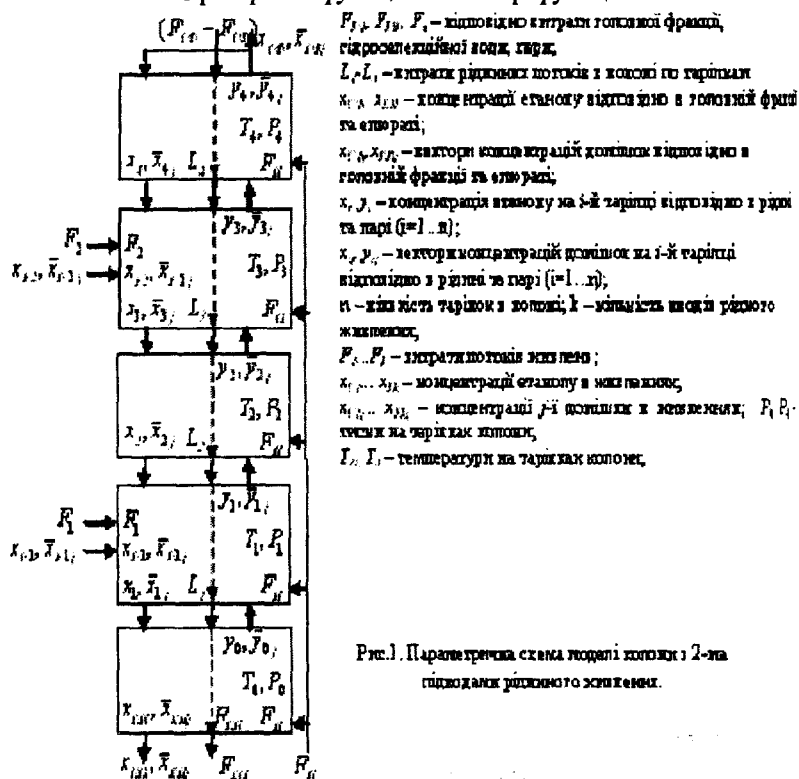


Рис.1. Параметрична схема моделі колони з 2-ма підводами рідкого етанолу.

$$\begin{cases} \dot{x}_4 = f_4^x(x_4, y_3, y_4, L_4, F_{ГФ}, F_{П}, t); \\ \dot{\bar{x}}_{4j} = f_4^{xj}(\bar{x}_{4j}, \bar{y}_{3j}, \bar{y}_{4j}, L_4, F_{ГФ}, F_{П}, t); \\ \dot{y}_4 = f_4^y(x_4, y_3, P_4, t); \\ \dot{\bar{y}}_{4j} = f_4^{yj}(x_4, \bar{x}_{4j}, \bar{y}_{3j}, P_4, t); \\ \dot{L}_4 = f_4^L(L_4, F_{ГФ}); \\ \dot{P}_4 = f_4^P(P_4, P_3, F_{ОВ}, t); \\ \dot{T}_4 = f_4^T(x_4, \bar{x}_{4j}, y_4, \bar{y}_{4j}, t); \end{cases} \quad 2$$

$$M_{СП} = \{x_{ЕП} x_1 \dots x_4 y_0 \dots y_4 P_0 \dots P_4\} \quad 12$$

Очевидно, що для збільшення підпростору спостережності необхідно до вектору спостережень включити витрати всіх вхідних рідинних потоків, витрату головної фракції або епорату, що дозволить відтворити всі потоки флегми між тарілками колони, тобто:

$$Y = (P_0 \dots P_4 T_0 \dots T_4 F_1 F_2 F_{ГФ})^T \Rightarrow$$

$$M_{СП} = \{x_{ЕП} x_1 \dots x_4 y_0 \dots y_4 L_1 \dots L_4 F_{ЕП} P_0 \dots P_4\} \quad 13$$

Для відтворення значення концентрацій на всіх тарілках до вектору спостережень необхідно включити концентрації компонентів всіх вхідних рідинних потоків в колону. При цьому можна виключити значення температур із залежності (9), оскільки концентрація етанолу теж відтворюється:

$$Y = (P_0 \dots P_4 F_1 F_2 F_{ГФ} x_{F1} x_{F2} x_{F11} \dots x_{F1l} x_{F21} \dots x_{F2j})^T \Rightarrow$$

$$M_{СП} = \{X\} \quad 14$$

Таким чином, умова повної спостережності об'єкту є формування вектору спостереження Y відповідно до (14).

Керованість об'єкта управління.

Для визначення області керованості об'єкта необхідно проаналізувати його структуру, яка описана системами (2)-(6) та (7)-(11). Слід зазначити, що вектор управління (10) складений з урахуванням незалежності витрат охолоджувальної води $F_{ОВ}$ та головної фракції $F_{ГФ}$ (безпосереднє управління витратою головної фракції). На виробництві, зрошення колони флегмою може управлятися витратою охолоджувальної води на дефлегматор, що в даному випадку не є принциповим.

Виходячи з технологічних особливостей об'єкта управління, зміна витрати $F_{ГФ}$ мало впливає на рідинні потоки в колоні $L_1 \dots L_4, F_{ЕП}$. Тому при векторі управління (10), ці координати повністю залежать від збурень $F_1 F_2$ і є некерованими.

Розподіл тисків по висоті колони розглянутий при дослідженні спостережності об'єкту. Витрата пари та охолоджувальної води безпосередньо впливають на тиск відповідно в кубі колони (на 0-й тарілці) і верхній (4-й) тарілці та опосередковано на інших тарілках. При умові повністю керованих перших розглянутих координат, інші є некерованими.

Концентрація компонентів у парі та рідині на кожній тарілці залежить як від рідинних та парових потоків, так і від концентрацій компонентів на суміжних тарілках та живленнях колони. Це значить, що ці координати керовані в певній множині значень. Зміна витрати пари одночасно впливає на всі підсистеми рис.1, змінюючи паровий потік в колоні. Крім того одночасно змінюється концентрація компонентів на 0-й тарілці, що приводить до опосередкованої її зміни на 1-й і т.д. З іншого боку, при зміні концентрації

компоненту на 4-й тарілці змінюється концентрація у головній фракції, що приводить до зміни складу флегми, що йде на зрошення. Таким чином витрата пари має потрійний ефект впливу на розглянуті координати стану, що ускладнює процес керування.

Для компенсації розглянутого зворотного ефекту витрати пари, можна використати витрату головної фракції, яка мало впливає на рідинні потоки, але, як показують статичні характеристики, має відчутний вплив на концентрацію компонентів на верхніх тарілках колони.

Витрата охолоджувальної води опосередковано, через тиски, впливає на концентрацію компонентів у паровій фазі а через них і в рідкій фазі. Однак, в межах можливої зміни тиску, такий вплив практично не відчутний, оскільки умови рівноваги практично не змінюються.

Таким чином, враховуючи вимоги до керованості, об'єкт, описаний (2)-(11) частково керований на множині значень координат стану $M_{КЕР}$:

$$M_{КЕР} \subset \{x_{ЕП} x_1 \dots x_4 x_{ЕП} x_{11} \dots x_{ЕП} x_{1l} \dots x_4 y_0 \dots y_4 y_{01} \dots y_{4l} \dots y_4 P_0 \dots P_4\} \quad 15$$

Для розширення множини $M_{КЕР}$, необхідно у вектор управління ввести додаткові управляючі координати. Для розглянутого об'єкту, це може бути витрата одного з рідинних живлень (наприклад, витрата води на гідроселекцію). Тоді вектори (10)-(11) приймуть вигляд:

$$u = (F_{П} F_{ОВ} F_{ГФ} F_2)^T \quad 16$$

$$w = (F_1 x_{F1} x_{F2} x_{F11} \dots x_{F1l} x_{F21} \dots x_{F2j})^T \quad 17$$

Додатковий контур управління витратою з одного боку дозволить управляти рідинним потоком в колоні $L_1 \dots L_4, F_{ЕП}$, а з іншого - додатково корегувати концентрацію компонентів на тарілках колони.

Оскільки система управління повинна забезпечити перехід об'єкта в підмножину значень координат станів, відповідно до (1), необхідно, щоб забезпечувалось виконання умови:

$$\{x_{ЕП}^{зн} \forall j \in M_D\} \subset M_{КЕР} \quad 18$$

Висновки.

За проведеним аналізом спостережності та керованості об'єкту, описаного системами (2)-(6), (7)-(11) можна зробити наступні висновки.

1. Практично неможливо забезпечити виконання умови управління ЕК (1) без відтворення об'єкту на основі вектору спостережень (14), оскільки до області спостережності вектору (9) не входять необхідні координати стану (концентрації домішок). Тобто для формування (14) необхідні дані про покомпонентний склад живлень колони та всіх вхідних витрат, вимірювання яких не проводиться в існуючих системах управління.

2. Структурний аналіз показує, що використання витрат живлень колони в якості управляючих, значно підвищує керованість об'єкту. Це доводить необхідність реалізації контуру управління витратою води на гідроселекцію на різні тарілки концентраційної час-

ТИНИ КОЛОНИ.

3. Необхідною складовою системи управління повинна бути математична модель, яка може відтво-

рити стан системи за вхідним та вихідним векторами.

Поступила 09.2010

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ким Д.П. Теория автоматического управления. Т.2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы: Учеб пособие. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004 – 464 с.
2. Мирошник И.В. Теория автоматического управления. Нелинейные и оптимальные системы. – СПб.: Питер, 2006. -272 с.
3. Попов Е.П. Теория нелинейных систем автоматического регулирования и управления: Учеб. пособие – 2-е изд., стер. – М.: Наука Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988.-256 с.
4. Чураков Е.П. Оптимальные и адаптивные системы: Учеб. пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 256 с.

УДК [640.41 + 640.43]: 66.012.3