

КОВАЛЮК Д. О., к.т.н., доц.; КАБАНОВА А. Е., магістрант
 Національний технічний університет України
 «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

МОДЕЛЮВАННЯ АБСОРБЦІ ЗА УМОВ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

Проаналізовано технологічний процес одержання окису етилену. Отримано математичну модель абсорбера, що враховує технічні засоби системи керування. Показано необхідність враховувати зміну параметрів об'єкту в процесі його експлуатації. Виконано моделювання абсорбера за різних значень площі поверхні масообміну. Наведена програмна реалізація та результати моделювання системи керування в пакеті Matlab.

Ключові слова: абсорбер, моделювання, невизначеність, система керування.

© Ковалюк Д. О., Кабанова А. Е., 2017.

Вступ. Процес одержання окису етилену прямим окисленням етилену є досить важливим і поширеним в сучасній промисловості. Його провадять у два ступені. Спочатку суміш етилену і повітря нагнітається в контактний реактор першого ступеня. З продуктів реакції, що охолоджуються у холодильнику, окис етилену добувають водою в абсорбері 1-го ступеня, де утворюється 50 % водний розчин окису етилену, а частину газів, що не прореагували, повертають у контактний реактор. Решта газу відправляють у контактний реактор другого ступеня. З контактних газів 2-го ступеня окислення окис етилену добувається у абсорбері другого ступеня, де утворюється 70 % водний розчин окису етилену. З абсорберів водний розчин через теплообмінник направляють у відпарну колону. Парогазова суміш з цієї колони надходить через дефлегматор в ректифікаційну колону. Остаточна очистка окису етилену від вуглекислого газу провадиться у роздільній колоні. Одержуваний цим методом продукт являє собою 95% окис етилену. Проаналізувавши основні стадії виробництва, можна зробити висновок про актуальність розробки системи керування процесом абсорбції.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. Для розробки якісної системи керування абсорбером необхідна математична модель об'єкту, яка б в повній мірі описувала його роботу. Як відомо [1, 2] така модель повинна враховувати компоненти системи керування, оскільки їх характеристики можуть суттєво впливати на динаміку об'єкту. В той же час необхідно також враховувати умови функціонування технологічних об'єктів та зміну їх конструктивних параметрів, що зумовлено строком експлуатації [3]. Метою статті – є підвищення точності моделювання абсорбера в процесі отримання етилену зарахунок врахування зміни його параметрів та технічних засобів. Для об'єктів, характеристики яких змінюються, сьогодні найбільш поширеним є застосування адаптивних або робастних систем [4, 5]. В рамках цього підходу передбачається створення моделей з «плаваючими» параметрами, що і пропонується в роботі.

Отримання математичної моделі абсорбера. Як було показано вище, одним з основних апаратів при одержанні окису етилену прямим окисленням етилену є абсорбер, схема якого зображена на рис. 1.

Враховуючи матеріальні баланси апарату, запишемо рівняння динаміки для водного розчину у наступному вигляді:

$$L(X_{\text{поч}} - X_{\text{кін}}) - K_p M_p F \frac{[X_{\text{кін}} - X_p(Y_{\text{поч}})] + [X_{\text{поч}} - X_p(Y_{\text{кін}})]}{2} = V_p \rho_p \frac{d}{dt} \left(\frac{X_{\text{поч}} + X_{\text{кін}}}{2} \right) \quad (1)$$

де L – витрата води; $X_{\text{поч}}$, $X_{\text{кін}}$ – початкова та кінцева масові концентрації окису етилену у воді; K_p – коефіцієнт масообміну; M_p – молярна маса води; $X_{\text{рез}}(Y_{\text{поч}}) = mY_{\text{поч}}$, $X_{\text{рез}}(Y_{\text{кін}}) = mY_{\text{кін}}$ – рівноважні концентрації окису етилену ($m=1,4$ – коефіцієнт розподілу), $Y_{\text{поч}}$, $Y_{\text{кін}}$ – початкова та кінцева об'ємні концентрації у газі, V_p – кількість рідини, ρ_p – густина рідини, F – поверхня масообміну в абсорбері.

Зміна кінцевої масової концентрації окису етилену досягається за рахунок зміни витрати води на вході в абсорбер, отже, каналом керування є $L - X_{\text{кін}}$.

Після лінеаризації, введення заміни і перетворення Лапласа, отримаємо рівняння наступного вигляду:

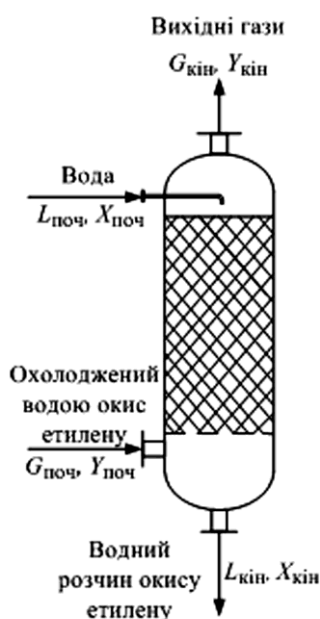
$$(T_{x1}p + 1)X_{\text{кін}}(p) = -k_{y0}Y_{\text{поч}}(p) - k_L L(p) \quad (2)$$

Із рівняння (2) отримаємо передатні функції по керуванню та збуренню:

$$W_{L \rightarrow X_{\text{кін}}}(p) = -k_L e^{-p\tau} / (T_{x1}p + 1) \quad (3)$$

$$W_{Y_{\text{поч}} \rightarrow X_{\text{кін}}}(p) = -k_{y0} / (T_{x1}p + 1) \quad (4)$$

Транспортне запізнення виникає в результаті того, що керуючий пристрій і регулюючий орган знаходяться не на самому об'єкті, а на деякій відстані від нього, тому при керуванні воно подіє не одразу, а з деякою затримкою.



$L_{поч}$, $L_{кін}$ – початкова та кінцева кількість води; $G_{поч}$, $G_{кін}$ – початкова та кінцева кількість окису етилену; $X_{поч}$, $X_{кін}$ – початкова та кінцева масові концентрації окису етилену у воді; $Y_{поч}$, $Y_{кін}$ – початкова та кінцева об'ємні концентрації окису етилену у газовій фазі.

Рис. 1 – Структурно-параметрична схема абсорбера

підставивши значення усіх коефіцієнтів, математична модель абсорбера набуде вигляду:

$$W_{кер}(p) = W_{вм}(p) \cdot W_{L \rightarrow X_{кін}}(p) = -k_{кер} e^{-p\tau} / (T_{кер1} p^2 + T_{кер2} p + 1) = -1,972 e^{-p\tau} / (0,315 p^2 + 15,021 p + 1) \quad (7)$$

Врахування невизначеності параметрів. В результаті довготривалої експлуатації абсорбера, у внутрішній його частині з'являється наліт, корозія, осідають домішки газу, що призводить до зміни поверхні масообміну F . З цього можна зробити висновок про те, що модель апарату включає у себе невизначеність, яка представлена поверхнею масообміну F . Існують такі основні типи невизначеності: параметрична невизначеність, динамічна невизначеність, нелінійна невизначеність. Для нашого випадку присутня параметрична невизначеність.

Даний параметр входить до коефіцієнтів передатних функцій по керуванню і збуренню, він буде варіюватись у діапазоні $[15,196; 20,196] m^2$, відповідно до цього коефіцієнти передачі і сталі часу будуть також лежати у певних діапазонах.

За допомогою Simulink продемонструємо перехідні характеристики передатних функцій, що належать множині «плаваючих» параметрів об'єкту. За допомогою команди *ureal*, що використовується для представлення дійсного числа, значення якого є невизначеним, задамо невизначені параметри моделі з номінальними значеннями.

Для керування:

```
>>k_кер=ureal('k_кер',2,25,'range',[-2,618; 1,972])
>>T_кер1=ureal('T_кер1',0,36,'range',[0,315; 0,42])
>>T_кер2=ureal('T_кер2',15,024,'range',[15,021; 15,028])
>>Z_кер=tf(-k_кер,[T_кер1 T_кер2 1])
```

Значення коефіцієнта передачі об'єкта керування з номінальним значенням 2,25 та діапазоном $[-2,618; 1,972]$. Значення сталої часу $T_{кер1}$ об'єкта керування з номінальним значенням 0,36 та діапазоном $[0,315; 0,42]$. Значення сталої часу $T_{кер2}$ об'єкта керування з номінальним значенням 15,024 та діапазоном $[15,021; 15,028]$.

Для збурення:

```
>>k_0=ureal('k_0',0,07753,'range',[0,07756; 0,07749])
```

Врахування технічних засобів. Для підвищення точності моделі необхідно врахувати не лише об'єкт, а й технічні засоби, які знаходяться між ним та регулятором. У нашому випадку проміжними пристроями у контурі керування є аналізатор рідини кондуктометричний, який виступає у ролі датчика, та виконавчий механізм.

Передатна функція датчика виглядає наступним чином:

$$W_{дат} = k_{дат} \quad (5)$$

де $k_{дат}$ – коефіцієнт передачі. Через відсутність інерційності (час вимірювання становить менше секунди) прийемо $k_{дат} = 1$, тому при подальших розрахунках не будемо його враховувати.

В контурі керування абсорбером використовується запірно-регулюючий клапан із електричним виконавчим механізмом. Електродвигун, який знаходиться у виконавчому механізмі, є електродвигуном постійного струму і характеризується високим ККД, надійністю роботи, великим діапазоном регулювання швидкості обертання.

Передатна функція електродвигуна постійного струму має вигляд:

$$W_{вм}(p) = W_{вих} / U_{вх} = k_{вм} / (T_{вм} p + 1) \quad (6)$$

де $k_{вм}$ – коефіцієнт передачі виконавчого механізму, $T_{вм}$ – стала часу.

Так як абсорбер та виконавчий механізм з'єднані між собою послідовно, необхідно перемножити їх передатні функції. Виконавши необхідні перетворення та

підставивши значення усіх коефіцієнтів, математична модель абсорбера набуде вигляду:

```
>>T_x1=ureal(' T_x1',0,024,'range',[0,021; 0,028])
```

```
>>Z_s6=tf(k_y0,[T_x1 1])
```

Значення коефіцієнта передачі k_{y0} каналу збурення з номінальним значенням 0,07753 та діапазоном [0,07756; 0,07749]. Плаваюче значення сталої часу T_{x1} об'єкта керування з номінальним значенням 0,024 та діапазоном [0,021; 0,028].

Підставивши числові значення плаваючих параметрів у передатну функцію по каналу керування, отримаємо передатні функції з різних значень параметрів $k_{кер}$, $T_{кер1}$ та $T_{кер2}$.

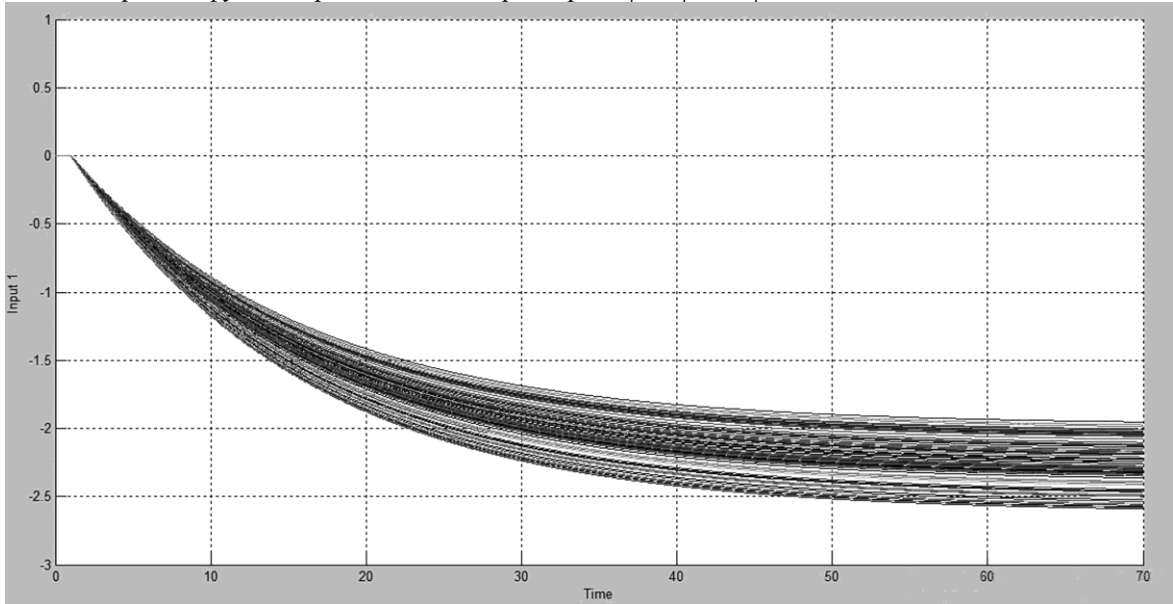


Рис. 2 – Перехідні характеристики передатних функцій, що належать множині «збурених» об'єктів

Для порівняння у Simulink було складено дві системи автоматичного керування на основі ПІД-регулятора, 1 – без урахування зміни параметрів, 2 – з урахуванням «плаваючих» параметрів, що наведені на рис. 3. Результати їх роботи зображені на рис. 4.

Висновки. Розроблено математичну модель абсорберу, яка враховує невизначеність його параметрів. Це дозволяє точніше описати об'єкт керування, а також використати модель для синтезу системи керування на основі робастних регуляторів. Аналізуючи отримані графіки перехідних процесів, можна зробити висновок, що ПІД-регулятор (синтезований для номінальних значень об'єкту) показує задовільні результати у випадку невизначеності. Проте необхідно гарантувати адекватну роботу при інших варіантах невизначеності. Тому доцільно розглянути створення системи керування на основі робастних регуляторів, що забезпечують стійкість та якість замкнутої системи для широкого діапазону невизначеностей.

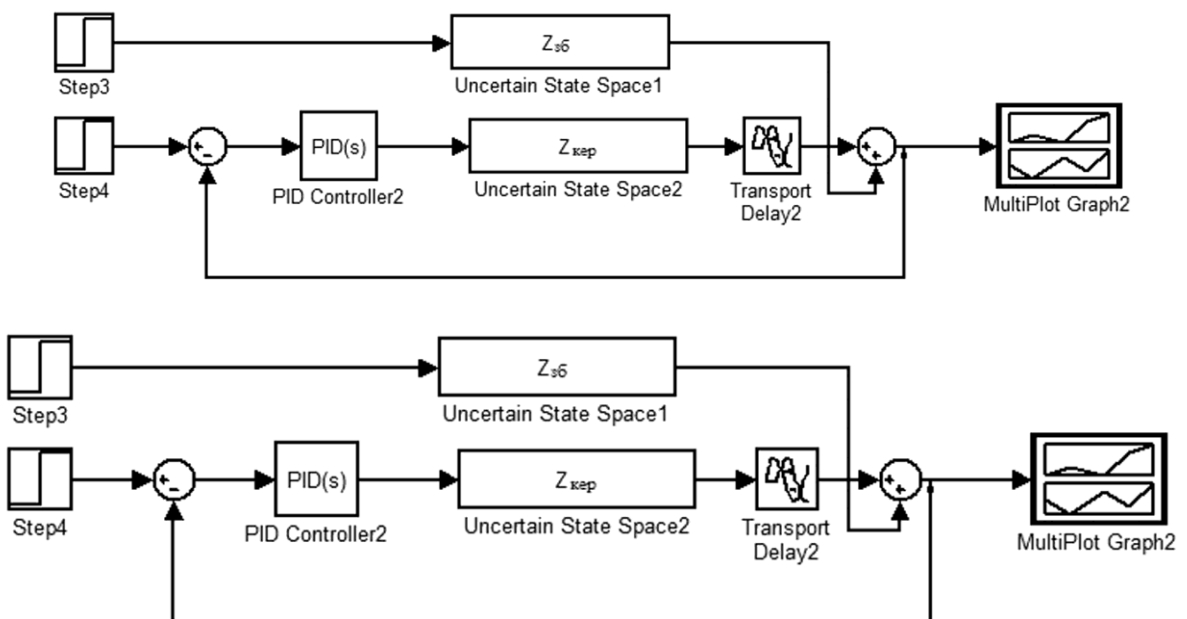


Рис. 3 – Системи автоматичного керування на основі ПД-регулятора без урахування та з урахуванням плаваючих параметрів

Список використаної літератури

1. *Дорф Р.* Современные системы управления / пер. с англ. Б. И. Копылова. – М. : Лаборатория Базовых знаний, 2002. – 832 с.
2. *Бабіченко А. К.* Регулювальні і виконавчі пристрої: навч. посібник. / За заг. ред. А. К. Бабіченка – Харків: НТУ «ХПІ». – 2003. – 658 с.
3. *Дытнерский И. Ю.* Основные процессы и аппараты химической технологии [Текст]: Пособие по проектированию / Г. С. Борисов, В. П. Брыков, И. Ю. Дытнерский и др. Под ред. И. Ю. Дытнерского, 2-е изд., перераб. и дополн. – М. : Химия 1991. 496 с. – Библиогр.: с. 166-180. – ISBN 5-7245-0133-3.
4. *Ковалюк Д. О.* Порівняння систем керування з різними типами регуляторів [Електронний ресурс] : Д. О. Ковалюк, О. О. Ковалюк // Наукові праці Вінницького національного технічного університету – 2015. – № 1.
5. *RobustControlToolboxUser'sGuide.*

Надійшла до редакції 14.12.2016