

РЕГУЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ВИПАРНИКА ЕТИЛБЕНЗОЛУ У ВИРОБНИЦТВІ СТИРОЛУ

Обґрунтовано вибір і наведено структуру багатоконтурної системи регулювання параметрів випарника етилбензолу на основі його аналізу як технологічного об'єкта керування й розгляду передатних функцій за каналами керування і за перехресними каналами впливу. Система є придатною для використання в автоматизованій системі керування технологічними процесами виробництва стиролу.

Ключові слова: виробництво стиролу, випарник етилбензолу, система керування, АСКТП.

© Козаневич З. Я., Олійник С. В., 2016.

Постановка проблеми. Початковим технологічним процесом у виробництві стиролу є випаровування етилбензолу [1]. Цей процес визначає продуктивність усього виробництва. Випарник етилбензолу призначений для постачання в контактний апарат потрібної кількості пари етилбензолу заданого тиску. Регулювання параметрів випарника впливає на роботу всього технологічного процесу та є визначальним під час автоматизації виробництва в цілому.

Загальною науковою проблемою є обґрунтування синтезу багатоконтурних систем керування для конкретних процесів, невирішеною частиною наукової проблеми є відсутність системи керування випарником етилбензолу у виробництві стиролу.

Метою статті є розроблення основних принципів регулювання параметрів випарника етилбензолу, що працює в складі автоматизованої системи керування технологічними процесами виробництва стиролу.

Виклад основного матеріалу. Основними вихідними параметрами випарника є витрата пари етилбензолу; тиск пари; рівень рідини в апараті. За сталого тиску пари в випарнику, сталого тиску в контактному апараті, лінійній характеристиці регульовального клапана на лінії пари витрата пари етилбензолу визначатиметься відносним відкриттям цього клапана m , що відповідатиме завданню з витрати $F_{ев}$.

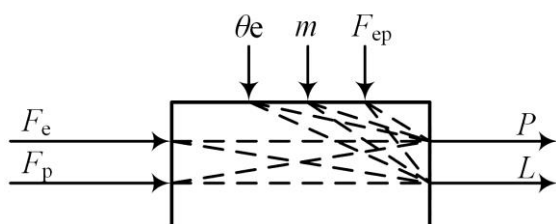


Рис. 1 – Спрощена структурно-параметрична схема випарника

Ступінь відкриття клапана буде збуренням для регулювання тиску пари етилбензолу P і рівня рідини в апараті L (рис. 1). Якщо допустити, що регенований етилбензол має бути використаним насамперед (як рециркуляційний потік у виробництві), то його витрата $F_{ев}$ теж буде збуренням у роботі випарника, впливаючи на рівень рідини в апараті L . Керівні впливи в регулюванні P і L – відповідно витрати пари F_p й свіжого етилбензолу F_e . Температура свіжого етилбензолу θ_e теж впливатиме на пароутворення, оскільки рідкий етилбензол спочатку нагрівають до температури кипіння

$\theta_{евр}$.

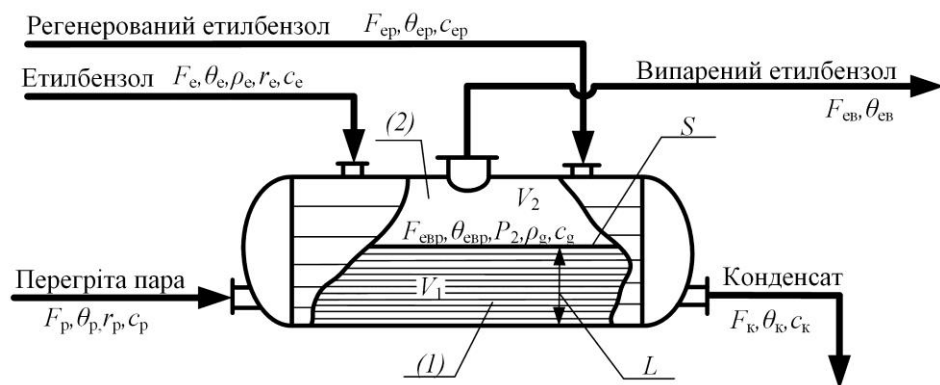
Динаміку параметрів випарника визначатимуть акумулюючі ємкості рідини етилбензолу у випарнику й пари етилбензолу над поверхнею рідини. Для кожної з них за розрахунковою схемою (рис. 2) складено рівняння матеріального й теплового балансів за таких припущень: обидві акумулюючі ємкості є об'єктами із зосередженими параметрами; питомі теплоємності для етилбензолу усіх видів за температури кипіння є рівними; температури свіжого й регенованого етилбензолу на вході є рівними; існують лінійні залежності між температурою кипіння етилбензолу й тиском, між питомою теплотою пароутворення етилбензолу й температурою, між густиною пари етилбензолу й тиском.

Математичний опис. Матеріальний баланс пари етилбензолу $F_{евр} - F_{ев} = d(V_2\gamma)/dt$, де $d(V_2\gamma)/dt$ – зміна кількості акумульованого етилбензолу в паровій фазі протягом часу dt . Матеріальний баланс рідкого етилбензолу $F_e + F_{евр} - F_{ев} = S dL/dt$, де $S dL/dt$ – зміна кількості акумульованого рідкого етилбензолу протягом dt .

Тепловий баланс рідкого етилбензолу:

$$F_e c_e \theta_e + F_{евр} c_e \theta_e - F_e c_e (\theta_{евр} - \theta_e) - F_{евр} c_e (\theta_{евр} - \theta_e) + F_p r_p - F_{евр} r_{ев} = V_1 \rho_1 c_e d\theta_{евр} / dt,$$

де $V_1 \rho_1 c_e d\theta_{евр} / dt$ – зміна кількості акумульованої теплоти.



F – витрата; θ – температура; c – питома масова теплосмність; ρ_e, ρ_g – густини етилбензолу та його пари; r_e, r_p – теплоти пароутворення етилбензолу й перегрітої пари; P_2 – тиск в газовій фазі; V_1, V_2 – об'єм рідкої й парової фази; S – площа поверхні поділу рідкої й парової фази; L – висота рідини; індекси стосуються: v, ep, evr, ev – свіжого, регенованого, випаровуваного й випареного етилбензолу; p, k – перегрітої пари й конденсату

Рис. 2 – Розрахункова схема випарника

Після лінеаризації одержимо:

$$-\Delta F_{евр} - A_M \Delta m - A_p \Delta P = V_2 a \, d\Delta P/dt, \text{ де } A_M = \xi(P - P_0)^{0.5}, A_p = \xi m(P - P_0)^{-0.5}, \text{ або}$$

$$T \, d\Delta P/dt + \Delta P(t) = K_{F_p} \Delta F_{евр}(t) - K_{M_p} \Delta m(t), \text{ де } T = V_2 a / A_p; K_{F_p} = 1 / A_p; K_{M_p} = A_M / A_p;$$

$$-\Delta F_e(t) + \Delta F_{ep}(t) - \Delta F_{евр}(t) = S \, d\Delta L/dt;$$

$$-T_0 \, d\Delta\theta_{евр}/dt + \Delta\theta_{евр}(t) + K_{F_{евр}\theta} \Delta F_{евр}(t) = -K_{F_e\theta} \Delta F_e(t) - K_{F_{ep}\theta} \Delta F_{ep}(t) + K_{\theta_e} \Delta\theta_e(t) + K_{F_p\theta} \Delta F_p(t), \text{ де}$$

$$T_0 = \frac{V_1 \rho_e c_e}{c_e (F_e + F_{ep}) + b_1 F_{евр}}; K_{F_e\theta} = K_{F_{ep}\theta} = \frac{c_e (2\theta_e + \theta_{евр})}{c_e (F_e + F_{ep}) + b_1 F_{евр}}; K_{\theta_e} = \frac{2c_e (F_e + F_{ep})}{c_e (F_e + F_{ep}) + b_1 F_{евр}}; K_{F_{евр}\theta} = \frac{b_0 + b_1 \theta_{евр}}{c_e (F_e + F_{ep}) + b_1 F_{евр}}.$$

Перетворюємо за Лапласом змінну часу $t \rightarrow p$ за нульових початкових умов:

$$\Delta F_e(t) \rightarrow F_e(p); \Delta F_{ep}(t) \rightarrow F_{ep}(p); \Delta F_{евр}(t) \rightarrow F_{евр}(p); \Delta F_p(t) \rightarrow F_p(p); \Delta F_{ев}(t) \rightarrow F_{ев}(p),$$

$$d\Delta L/dt \rightarrow pL(p); d\Delta P/dt \rightarrow pP(p); d\Delta\theta_{евр}/dt \rightarrow p\theta_{евр}(p).$$

З урахуванням, що $\Delta\theta_{евр} = c\Delta P(t)$, тобто $\theta_{евр}(p) = cP(p)$

$$(Tp + 1)P(p) - K_{F_p} F_{евр}(p) = -K_{M_p} m(p); F_{евр}(p) + SpL(p) = F_e(p) + F_{ep}(p);$$

$$(T_0 p + 1)cP(p) + K_{F_{евр}\theta} F_{евр}(p) = K_{F_e\theta} F_e(p) + K_{F_{ep}\theta} F_{ep}(p) + K_{\theta_e} \theta_e(p) + K_{F_p\theta} F_p(p).$$

Розв'язуємо ці рівняння відносно вихідних параметрів $P(p)$ і $L(p)$ методом Крамера:

$$\Delta = \begin{vmatrix} (T_0 p + 1)c & K_{F_{евр}\theta} & 0 \\ 0 & 1 & Sp \\ Tp + 1 & -K_{F_p} & 0 \end{vmatrix} = (T_0 p + 1)cK_{F_p} Sp + K_{F_{евр}\theta} (Tp + 1)Sp = Sp(a_1 p + a_0)$$

де $a_1 = T_0 K_{F_p} c + T K_{F_{евр}\theta}$, $a_0 = cK_{F_p} + K_{F_{евр}\theta}$, а вплив керівних дій $F_e(p)$ і $F_p(p)$ та збурень $F_{евр}(p)$, $\theta_e(p)$ і m :

$$F_e(p) \rightarrow [K_{F_e\theta} \ 1 \ 0]^T; F_{ep}(p) \rightarrow [K_{F_{ep}\theta} \ 1 \ 0]^T; \theta_e(p) \rightarrow [K_{\theta_e} \ 0 \ 0]^T; F_p(p) \rightarrow [K_{F_p\theta} \ 0 \ 0]^T; m(p) \rightarrow [0 \ 0 \ -K_{M_p}]^T,$$

звідки передатні функції:

$$-W_{F_e L}(p) = \frac{b_{1F_e L} p + b_{0F_e L}}{Sp(a_1 p + a_0)}, \text{ де } b_{1F_e L} = T_0 K_{F_p} c + T(K_{F_{евр}\theta} - K_{F_e\theta}), b_{0F_e L} = cK_{F_p} + K_{F_{евр}\theta} - K_{F_e\theta};$$

$$-W_{F_p P}(p) = \frac{b_{F_p P}}{S(a_1 p + a_0)}, \text{ де } b_{F_p P} = K_{F_p\theta} K_{F_p} S.$$

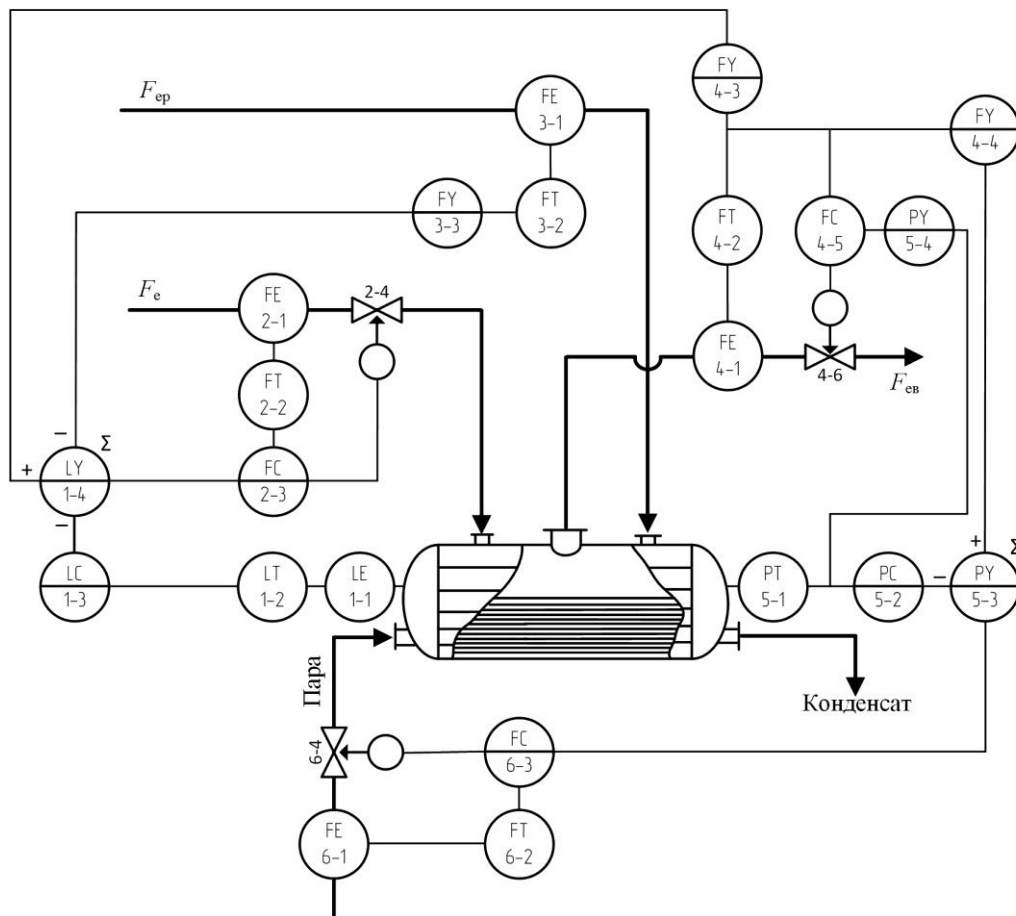
Маємо справу з ТОК з внутрішніми перехресними зв'язками, коли керівний вплив системи регулювання L діятиме як збурення для системи керування P і навпаки. Збуренням для регулювання рівня L є витрата пари F_p , що використовується для регулювання тиску P (вплив регулятора тиску на регулятор рівня). Передатна

$$\text{функція за каналом } F_p \rightarrow L: W_{F_p L}(p) = -\frac{K_{F_p\theta} (Tp + 1)}{Sp(a_1 p + a_0)}.$$

Збуренням для регулювання тиску P є витрата F_e , як керівна дія регулятора рівня (вплив регулятора рівня на регулятор тиску). Передатна функція за цим каналом $F_e \rightarrow P$ $W_{F_e P}(p) = -\frac{K_{F_e \theta} K_{FP}}{a_1 p + a_0}$.

Щоб виключити вплив внутрішніх перехресних каналів на якість перехідних процесів, введено додаткові динамічні зв'язки через відповідні динамічні компенсатори. Передатні функції кожного компенсатора при подачі сигналу з нього на вхід об'єкта визначають як співвідношення передатних функцій за каналах збурення й керування [3].

Система регулювання параметрів випарника. Система регулювання рівня є каскадною. Її внутрішній контур складається з вимірювача витрати етилбензолу 2-1, нормувального перетворювача 2-2, регулятора 2-3 й виконавчого механізму 2-4. Зовнішній контур є комбінованою системою регулювання, що містить вимірювач рівня 1-1, нормувальний перетворювач 1-2, регулятор 1-3 і суматор 1-4, що формує завдання внутрішньому регулятору 2-3. На вхід суматора для компенсації збурень надходять сигнали витратоміра випареного етилбензолу 4-1 через перетворювач 4-2 і динамічний компенсатор 4-3, а також витратоміра регенованого етилбензолу 3-1 через перетворювач 3-2 і компенсатор 3-3.



FC – регулятори витрати етилбензолу та його пари; PC, LC – регулятори тиску й рівня; FY – динамічні компенсатори; FT, LT, PT – нормувальні перетворювачі

Рис. 3 – Схема регулювання параметрів випарника

Для регулювання тиску теж використано каскадну систему. Внутрішній контур регулювання витрати грійної пари складається з вимірювача витрати 6-1, нормувального пристрою 6-2, регулятора 6-3 і виконавчого механізму 6-4. Зовнішній контур складається з нормувального перетворювача тиску 5-1, регулятора 5-2 і суматора 5-3, що формує завдання регулятору грійної пари 6-3. На вхід суматора надходить, окрім сигналу регулятора 5-2, сигнал від збурення за витратою випареного етилбензолу від вимірювача 4-1 через перетворювач 4-2 і компенсатор 4-4.

У разі регулювання параметрів випарника за допомогою АСКТП чи комп'ютерно-інтегрованої системи функції регуляторів витрат FC , тиску PC і рівня LC , а також динамічних компенсаторів FY та індикаторів основних параметрів реалізують програмно й технічно як функції керівного обчислювального комплексу.

Висновки. Наведені принципи синтезу багатоконтурних систем регулювання параметрів випарника етилбензолу забезпечують їхнє автономне регулювання та компенсацію основних збурень у системі. У подальшому варто звернути увагу на технічну реалізацію конкретних динамічних компенсаторів як блоків програмного забезпечення та прив'язки їх до операційної системи реального часу АСКТП виробництва стиролу.

Список використаної літератури

1. Технология основного органического синтеза / под ред. Н. И. Урывалова. – М. : Химия, 1968. – 846 с.
2. *Олійник С. В.* Математична модель випарника етилбензолу у виробництві стиролу / С. В. Олійник, З. Я. Козаневич // Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології : тези доп. Восьмої наук.-практ. конф. студентів; Київ, 3-4 груд. 2014 р. – К. : НТУУ «КПІ», 2014. – С/ 15-16.
3. Автоматическое управление в химической промышленности / под ред. Е. Г. Дудникова. – М. : Химия, 1987. – 368 с.
4. *Олійник С. В.* Комбінована система регулювання випарника етилбензолу у виробництві стиролу / С. В. Олійник, З. Я. Козаневич // Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології : матеріали II Міжнар. наук.-практ. конф. молодих учених, аспірантів і студентів (АКІТ-2015) ; Київ, 15-16 квіт. 2015 р. – К. : НТУУ «КПІ», 2015. – С. 12-13.

Надійшла до редакції 22.11.2015