

- Dwight H. B. Tablytsy yntehralov y druhye matematycheskye formuly [Tables of Integrals and Other Mathematical Formulas]. – Moscow : Nauka Publ., 1977. – 368 p.
- Kubrak A. I. Peredatni funktsii ta chastotni kharakterystyky tsylindrychnoi teploakumuliuuchoi stinky [Transfer Functions and Frequency Responses of Cylindrical Heat Storage Wall] / A. I. Kubrak, A. I. Zhuchenko // Visnyk natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Ukrainy «Kyivskiy politekhnichnyi instytut»: seriya «khimichna inzheneriia, ekolohiia ta resursozberezhennia». – 2013. – # 1(11). – P. 81–88.
- Zhuchenko A. I., Kvasko M. Z., Kubrak N. A. Identyfikatsiia dynamichnykh kharakterystyk. Kompiuterni metody [Identification of Dynamic Responses. Computer Methods]. – Kyiv : KLTkM Publ., 2000. – 182 p.

УДК 66.974.434

ЛАДІЄВА Л. Р., к.т.н., доц.; ШИРМА А. В., магістрант
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

ОПТИМАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ РЕЖИМОМ ПУСКУ АВТОКЛАВА У ВИРОБНИЦТВІ АЗОТНОЇ КИСЛОТИ

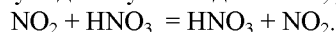
Запропоновано алгоритм оптимального керування режимом пуску автоклаву з використанням нелінійної математичної моделі, методу штрафів і градієнтної процедури.

Ключові слова: виробництво азотної кислоти, автоклав, оптимальне керування.

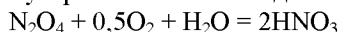
© Ладієва Л. Р., Ширма А. В., 2014.

Постановка проблеми. У виробництві концентрованої азотної кислоти з оксидів азоту вирізняють три стадії. Спочатку нітрозні гази проходять перший етап окиснення та відбілювання. Отриману слабо концентровану кислоту спрямовують у змішувач. На цьому етапі максимальна концентрація HNO_3 становить 40...55 %. На другому етапі азотну кислоту спрямовують в автоклав для досягнення концентрації 98...99 %. Заключний, третій етап – очищення кислоти від розчинених в ній оксидів азоту.

На другому етапі концентрування відбувається двостадійна реакція. На першій стадії оксид азоту NO_2 і кислота HNO_3 , які надходять в автоклав у заданому співвідношенні, утворюють нітролеум:



На другій стадії крізь нітролеум під тиском пропускають чистий кисень. Нітролеум реагує з киснем, утворюючи концентровану азотну кислоту з розчиненими оксидами азоту:



Мета статті – розробити оптимальну систему керування режимом пуску автоклава.

Математична модель. Швидкості описаних стадій [1]: $dc_1/dc = -k_1(T)c_1^2$ і $dc_2/dt = k_1(T)c_1^2 - k_2(T)c_2$, в яких константи k_1 і k_2 залежать від температури T за рівнянням Арреніуса: $k_1(T) = A_1 \exp(-E_1/R_1T)$, $k_2(T) = A_2 \exp(-E_2/R_2T)$; R_1, R_2 – газові сталі; E_1, E_2 – енергії активації.

Цільова функція поставленої задачі $I = 1/2 t_f^2 \rightarrow \min$ за обмежень $c_2(t_f) = c_2^{\text{зн}}(t_f)$ і $T_1 \leq T \leq T_2$, де t_f – кінцевий момент часу; T_1, T_2 – мінімальне й максимальне значення температури, за якої відбувається реакція.

Задача має сенс, якщо енергія активації реакції утворення нітролеуму є меншою, ніж енергія активації реакції утворення концентрованої азотної кислоти.

Застосовано метод функції штрафів за градієнтного способу пошуку екстремуму в функціональному просторі для обчислення керування й траєкторії для переведення нелінійної системи зі стану $c_1(0) = c_{10}$, $c_2(0) = c_{20}$ у стан $c_2(t_f) = c_2^{\text{зн}}(t_f)$ протягом мінімального часу. Цю задачу вирішують як задачу мінімальної функції вартості

$$I = 1/2 S_{22}[c_2(t_f) - c_2^{\text{зн}}(t_f)]^2 + 1/2 t_f^2 \rightarrow \min.$$

Можна врахувати обмеження на дію керування, ввівши функцію штрафу

$$I = 1/2 S_{22}[c_2(t_f) - c_2^{\text{зн}}(t_f)]^2 + 1/2 t_f^2 + 1/2 \int_0^{t_f} (T_2 - T)^2 H(q_1) + (T - T_1)^2 H(q_2) dt,$$

де H – функція Хевісайда, $q_1 = T_2 - T \geq 0$, $q_2 = T - T_1 \geq 0$.

Тоді $H = 1/2(T_2 - T)^2 H(q_1) + 1/2(T - T_1)^2 H(q_2) + \lambda_1[-k_1(T)c_1^2] + \lambda_2[k_1(T)c_1^2 + k_2(T)c_2]$, де $\lambda_1(t), \lambda_2(t)$ – множники Лагранжа.

Спряжена система має вигляд $\lambda'_1 = 2k_1(T)c_1(\lambda_1 - \lambda_2)$, $\lambda'_2 = k_1(T)\lambda_2$. Умови трансверсальності – $\lambda_1(t_f) = 0$, $\lambda_2(t_f) = S_{22}[c_2(t_f) - c_2^{зд}(t_f)]$.

З огляду на це, $\partial H/\partial T = -(T_2 - T)^2 H(q_1) + (T - T_1) H(q_2) - (\lambda_1 - \lambda_2)(A_1 E_1/R_1) e^{-E_1/(R_1 T^2)} - \lambda_2 (A_1 E_1/R_1) e^{-E_2/(R_2 T^2)}$.

Для визначення кінцевого моменту часу використано умову $dl/dt_f = 0$ як критерій зупинки процесу:

$$dl/dt_f = t_f + S_{22}[c_2(t_f) - c_2^{зд}(t_f)] + \lambda_2(t_f) + 1/2(T_2 - T)^2 H(q_1) + 1/2(T - T_1)^2 H(q_2) + \lambda_1[-k_1(T)c_1^2] + \lambda_2[k_1(T)c_1^2 + k_2(T)c_2].$$

Тоді процедуру оптимального керування можна описати так.

Вибираємо початкове керування $T(t)$, обчислюємо траєкторію вектора стану системи і похідну dl/dt_f . З умови $dl/dt_f = 0$ визначаємо момент закінчення першої ітерації. Із цим кінцевим моментом часу розв'язуємо спряжені рівняння у зворотному часі $\Delta T^N(t) = -k \partial H/\partial T^N$ і $T^{N+1}(t) = T^N(t) + \Delta T^N(t)$ для наступної ітерації. Обчислення продовжують, поки приріст ΔT^N керування від ітерації до ітерації не стане малим.

Припустимо, що як початкове вибрано керування $T^0 = T_1$. Розв'язуємо у прямому часі математичну модель, поки $dl/dt_f = 0$. Потім керування змінюється, приймаючи значення $T = T_2$. Знову розв'язуємо математичну модель до виконання умови $dl/dt_f = 0$. Якщо початкове керування не співпадає з оптимальним, і система не виходить на бажаний режим, тоді розв'язують спряжену систему у зворотному часі від t_f до 0. Тоді наступне значення керування $T^1(t) = T^0(t) + \Delta T(t) = T^0(t) - k \partial H/\partial T^0$. Обчислення продовжують, поки не буде забезпечено малий приріст керування.

Для розв'язуваної задачі $T_1 = 323$ К, $T_2 = 363$ К. З огляду на це, спочатку за температури T_1 розрахували траєкторію переходу концентрації азотної кислоти (рис. 1, 2).

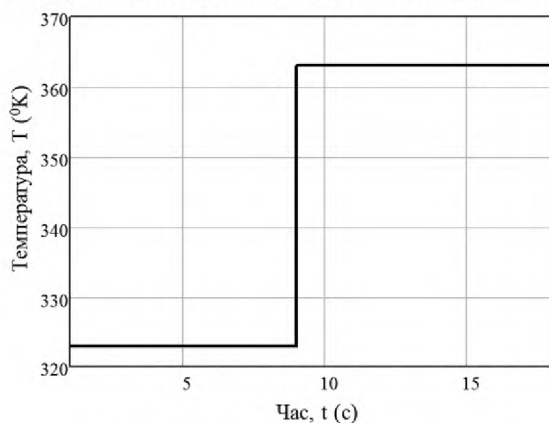


Рис. 1 – Графік зміни температури

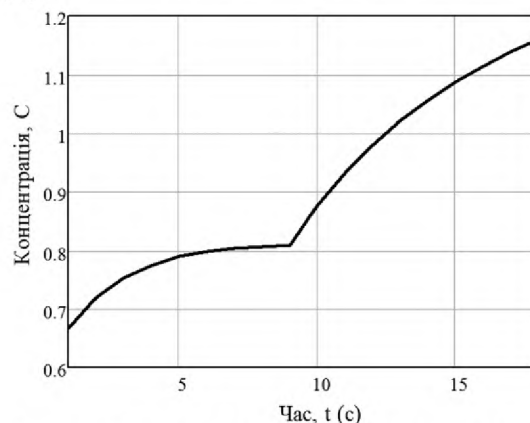
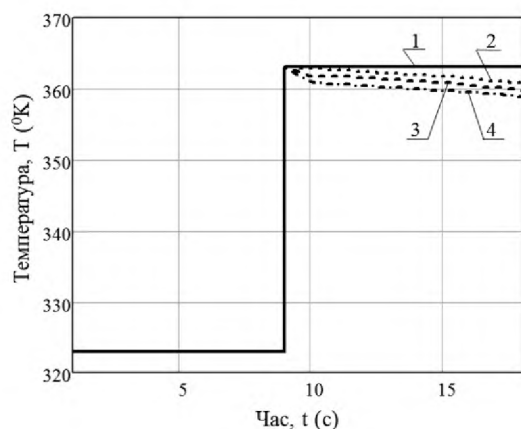
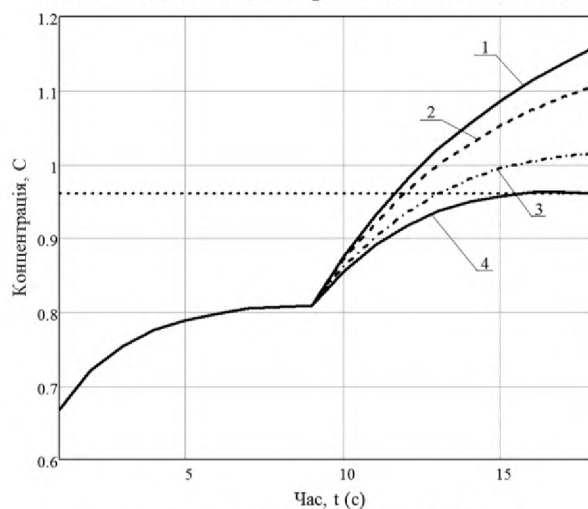


Рис. 2 – Зміна концентрації азотної кислоти



1 – початкове; 2 – на першій ітерації;
3 – на другій ітерації; 4 – на третій ітерації

Рис. 3 – Керування температурою



1 – задана; 2 – за початкового керування;
3, 4, 5 – на першому, другому і третьому етапі

Рис. 4 – Зміна концентрації на етапах керування

Концентрація азотної кислоти виходить на рівень $c_2 = 0,8$. Потім змінюємо температуру на T_2 . Значення концентрації виходить за межі допустимої $c_2 = 1$. Оскільки в методі штрафів застосовано метод зовнішньої точки, це допускається.

Для другого етапу керування розрахували спряжену систему з наведеними вище умовами трансверсальності. Знайшли приріст керування і для нової ітерації – зміну температури в часі. Ітераційний процес пошуку оптимального керування продовжували, поки концентрація азотної кислоти не стала заданою (рис. 3 і 4).

Висновки. Запропоновано алгоритм оптимального керування режимом пуску автоклава у виробництві азотної кислоти. За критерій оптимальності вибрано мінімальний час виходу автоклава на заданий режим з обмеженням на концентрацію азотної кислоти. Кінцевий час режиму пуску введено у термінальну складову функції вартості. Для вирішення задачі використано метод штрафів і градієнтну процедуру. Застосований алгоритм дозволив вивести автоклав на заданий технологічний режим.

Список використаної літератури

1. Бояринов А. И. Методы оптимизации в химической технологии / А. И. Бояринов, В. В. Кафаров. – М. : Химия, 1969. – 563 с.
2. Ладієва Л. Р. Оптимальне керування системами / Л. Р. Ладієва. – К. : НМЦВО, 2000. – 187 с.

Надійшла до редакції 19.03.2014.

Ladieva L. R., Schirma A. V.

OPTIMAL CONTROL OF AUTOCLAVE START MODE IN THE PRODUCTION OF NITRIC ACID

The algorithm of optimal control of autoclave start mode in the production of nitric acid is proposed. By optimality criterion is selected minimum time-autoclave at preset mode with the restriction on the concentration of nitric acid. End time start mode is entered on the terminal part of the cost function. The method of penalties and a gradient procedure is used to solve the problem. The applied algorithm is allowed to bring an autoclave at a given technological regime.

Keywords: production of nitric acid, autoclave, optimal control.

References

1. Bojarinow A. I. Metody optimizacii w chimitscheskoj technologii [Methods for optimization of Chemical Technology] / A. I. Bojarinow, W. W. Kafarow. – М. : Chimija, 1969. – 563 p.
2. Ladieva L. R. Optimalne keruwannia systemami [Automated control systems] / L. R. Ladieva. – К. : NMCWO, 2000. – 187 p.

УДК 66

МИЛЕНЬКИЙ В. В., МИРОНЕНКО Ю. М.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

ДИСКРЕТИЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ У ЧАСІ ПІД ЧАС СТАТИСТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Розглянуті алгоритми, що дозволяють визначити оптимальний відносно вибраного критерію час дискретизації опитування технологічних параметрів, що забезпечує достатню точність визначення цього параметра, попри дискретність звертання до вимірювальних пристроїв.

Ключові слова: статистичні дослідження, дискретизація, оптимізація.

© Миленький В. В., Мироненко Ю. М., 2014.

Постановка проблеми. Для побудови систем автоматизації, що відповідають сучасним вимогам, потрібні математичні описи об'єктів. Для відносно простих об'єктів, фізична сутність яких відома, можлива побудова аналітичної моделі, для складніших – перевагу надають експериментальним методам, серед яких особливе місце займають статистичні, що використовують дані пасивного збирання інформації. Їхнє застосування дозволяє скласти уяву про хід процесів, не заважаючи експлуатації установок чи системи.