

УДК 66.041

ЖУЧЕНКО А. І., д.т.н., проф., ПІРГАЧ М. С., к.т.н., с.н.с., доц., ЖУРАКОВСЬКИЙ Я. Ю., стар. викл. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

НАПІРНИЙ ЯЩИК З ПОВІТРЯНОЮ ПОДУШКОЮ ЯК ОБ'ЄКТ КЕРУВАННЯ НАПОРОМ МАСИ

Розроблено математичну модель напірного ящика із повітряною подушкою як об'єкта керування напором маси, яку пропонується використати для аналітичного конструювання мікропроцесорного регулятора напору маси.

Ключові слова: папероробна машина, напірний ящик з повітряною подушкою, істина і апроксимована перехідні функції каналу керування напором маси.

DOI: 10.20535/2306-1626.1.2018.143402

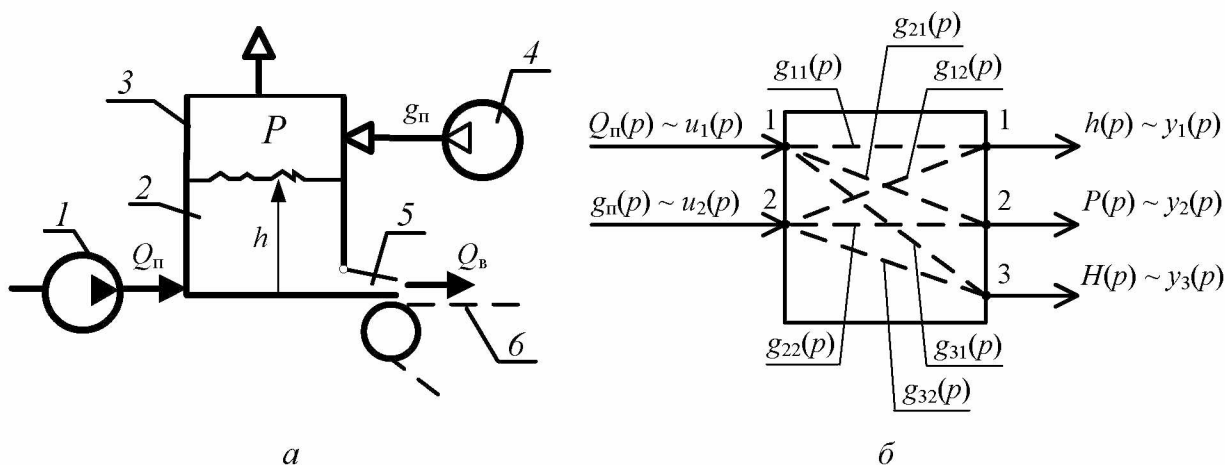
© Жученко А. І., Піргач М. С., Жураковський Я. Ю., 2018

Постановка задачі. Відома [1] математична модель напірного ящика із повітряною подушкою (НЯ з ПП) як об'єкта керування (ОК) рівнем маси у напускній камері й тиском повітря у ПП. Однак на підставі цієї моделі неможливо аналітичним шляхом сконструювати регулятор напору маси, призначений для стабілізації швидкості струменя маси, яка проходить крізь випускальну щілину. Коефіцієнт відношення швидкості струменя маси до швидкості сітки папероробної машини (ПРМ) характеризує якість продукції, що виробляється на ПРМ. В наш час швидкість сітки машини регулюється дуже точно за допомогою тиристорного електроприводу, тоді як швидкість струменя маси не регулюється або регулюється за допомогою аналогових засобів автоматизації, які мають низьку точність. З метою підвищення якості стабілізації вказаного коефіцієнта, потрібно регулювати швидкість витікання маси крізь випускальну щілину напірного ящика з точністю не нижчою, ніж точність регулювання швидкості сітки машини.

Метою статті є розроблення передавальної функції НЯ за каналом «витрата маси, що подається у НЯ – напір маси у випускальній щілині».

1. Структура передавальних функцій напірного ящика з повітряною подушкою.

Принципову схему НЯ із ПП показано на рис. 1, а.



1 – змішувальний насос; 2 – напускна камера; 3 – повітряна подушка; 4 – компресор; 5 – випускальна щілина; 6 – сітка

Рис. 1 – Напірний ящик з повітряною подушкою: а – принципова схема; б – структурна схема

Волокниста суспензія (далі – маса) змішувальним насосом 1 подається до напускної камери 2 звідки крізь випускальну щілину 5 вона витікає на сітку 6, на якій формується паперове полотно. Повітря компресором 4 подається у повітряну подушку (ПП) 3, звідки воно витікає у навколишнє середовище. Відомо [2], що цей ОК відноситься до так званих багатовимірних об'єктів керування. В даному випадку він має два входи: витрата маси $Q_n \sim u_1$, що подається до напускної камери і витрата повітря $g_n \sim u_2$, що

подається до ПП, та три виходи: рівень маси $y_1 \sim h$ у напускній камері, тиск повітря $y_2 \sim P$ у ПП і напір маси $y_3 \sim H$ у випускальній щілині.

Таким чином, маємо шість взаємопов'язаних каналів: «витрата маси $Q_{пн}$, що подається до напускної камери – рівень маси h у напускній камері» (канал 11); «витрата маси $Q_{пн}$, що подається до напускної камери – тиск повітря P у ПП» (канал 12); «витрата маси $Q_{пн}$, що подається до напускної камери – напір маси H у випускальній щілині» (канал 13); «витрата повітря $g_{пн}$, що подається до ПП – тиск повітря P у ПП» (канал 22); «витрата повітря $g_{пн}$, що подається до ПП – рівень маси h у напускній камері» (канал 21); «витрата повітря $g_{пн}$, що подається до ПП – напір маси H у випускальній щілині» (канал 13). Структуру моделей каналів 11, 12, 21 і 22 наведено в [1]. На підставі цих моделей потрібно визначити математичні моделі каналів 13 і 23.

2. Розробка математичної моделі напірного ящика із повітряною подушкою як об'єкта керування напором маси

Відомо [2], що напір маси у випускальній щілині НЯ з ПП складається із рівня маси $y_1(t)$ у напускній камері й тиску повітря $y_2(t)$ у ПП. В зображеннях за Лапласом напір маси

$$y_3(p) = y_1(p) + y_2(p). \quad (1)$$

Існує два способи керування напором маси.

Спосіб 1. Напором маси керують шляхом зміни витрати маси, що подається у напускну камеру (рис. 1, б). У цьому випадку

$$y_1(p) = g_{11}(p) u_1(p); \quad (2)$$

$$y_2(p) = g_{21}(p) u_1(p); \quad (3)$$

Спосіб 2. Напором маси керують шляхом зміни витрати повітря, що подається у ПП (рис. 1, б). У цьому випадку

$$y_1(p) = g_{12}(p) u_2(p); \quad (4)$$

$$y_2(p) = g_{22}(p) u_2(p); \quad (5)$$

де $u_1(p)$ і $u_2(p)$ – зображення за Лапласом витрати маси, що подається до напускної камери і витрати повітря, що подається до ПП.

Передавальна функція каналу 11

$$g_{11}(p) = \frac{y_1(p)}{u_1(p)} = \frac{k_{11}(1+T_{22}p)}{(1+T_{11}p)(1+T_{22}p)+k_{12}k_{21}p}. \quad (6)$$

Передавальна функція каналу 12

$$g_{21}(p) = \frac{y_2(p)}{u_1(p)} = \frac{k_{11}k_{21}p}{(1+T_{11}p)(1+T_{22}p)+k_{12}k_{21}p}. \quad (7)$$

Передавальна функція каналу 21

$$g_{12}(p) = \frac{y_1(p)}{u_2(p)} = -\frac{k_{12}k_{22}}{(1+T_{11}p)(1+T_{22}p)+k_{12}k_{21}p}. \quad (8)$$

Передавальна функція каналу 22

$$g_{22}(p) = \frac{y_2(p)}{u_2(p)} = \frac{k_{22}(1+T_{11}p)}{(1+T_{11}p)(1+T_{22}p)+k_{12}k_{21}p}. \quad (9)$$

де T_{11} і T_{22} – сталі часу напускної камери і ПП; k_{11} , k_{12} , k_{21} і k_{22} – коефіцієнти підсилення каналів 11, 12, 21 і 22; p – оператор Лапласа.

Отже, у разі керування напором маси згідно з 1-м способом, передавальна функція каналу 13

$$g_{31}(p) = \frac{y_3(p)}{u_1(p)} = \frac{k_{11}(k_{21} + T_{22})p + 1}{(1 + T_{11}p)(1 + T_{22}p) + k_{12}k_{21}p}. \quad (10)$$

Якщо керування напором маси здійснюється згідно з 2-м способом, передавальна функція каналу 23

$$g_{32}(p) = \frac{y_3(p)}{u_2(p)} = -\frac{k_{22}(k_{12} + T_{11}p + 1)}{(1 + T_{11}p)(1 + T_{22}p) + k_{12}k_{21}p}. \quad (11)$$

Використати передавальні функції (10) і (11) для аналітичного конструювання регулятора напору маси згідно з методикою, наведеною у роботі [3] практично неможливо. А тому їх слід спростити, не втрачаючи властивостей каналів керування 13 і 23. Як приклад, розглянемо передавальну функцію (10).

Передавальну функцію (10) можна звести до стандартної форми, подавши її так.

$$g_{31}(p) = \frac{y_3(p)}{u_1(p)} = \frac{k_{11}(1 + T_5p)}{(1 + T_3p)(1 + T_4p)}, \quad (12)$$

$$\text{де } T_3 = \frac{1}{2}(T_1 + \sqrt{T_1^2 - 4T_2^2}); T_4 = \frac{1}{2}(T_1 - \sqrt{T_1^2 - 4T_2^2}); T_1 = T_{11} + T_{22} + k_{12}k_{21}; T_2^2 = T_{11}T_{22}; T_5 = T_{22} + k_{21}.$$

Розв'язок диференціального рівняння, якому відповідає передавальна функція (12) при одиничному стрибкоподібному збурювальному діянні $u_1(t) \equiv 1$ такий:

$$y_3(t) = k_{11} \left[1 - \frac{T_3 - T_5}{T_3 - T_4} e^{-\frac{t}{T_3}} + \frac{T_4 - T_5}{T_3 - T_4} e^{-\frac{t}{T_4}} \right]. \quad (13)$$

Для побудови графіка перехідної функції, яку назвемо істиною перехідною функцією розглянемо напірний ящик, який має такі характеристики: $T_3 = 95,26$ с; $T_4 = 94,13$ с; $T_5 = 93,1$ с; $k_{11} = 4,86$ м/(м³/с). Оскільки $T_3 > T_4 > T_5$, то такий НЯ за каналом керування 13 має слабо виражені диференціюючі властивості. Графік істинної перехідної функції НЯ за каналом керування 13 наведено на рис. 2.

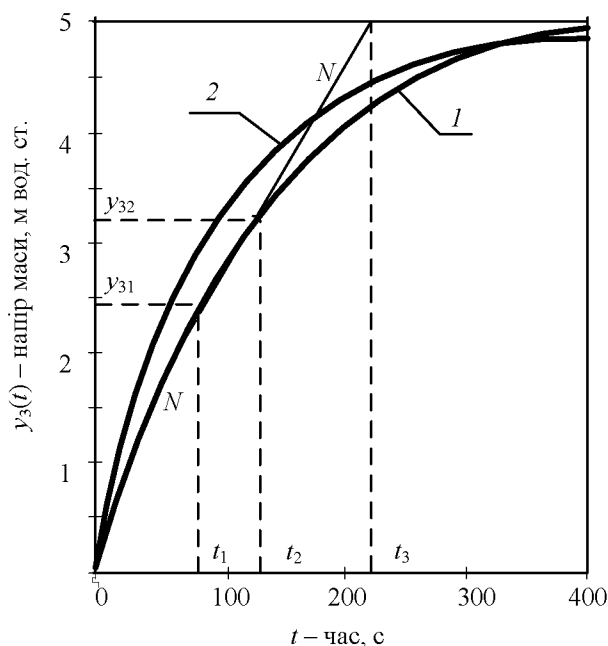


Рис. 2 – Графік істинної (графік 1) і апроксимованої (графік 2) перехідної функції каналу керування 13

Апроксимація істинної перехідної функції розв'язком диференціального рівняння 1-го порядку, дозволяє одержати апроксимовану перехідну функцію каналу керування 13 у вигляді

$$y_3(t) = k_{11} \left[1 - e^{-\frac{t}{T_{13}}} \right], \quad (14)$$

де T_{13} – стала часу НЯ за каналом керування 13.

Сталу часу каналу 13 можна визначити декількома способами [4].

У разі графічного способу оброблення істинного графіка її визначають як довжину відрізка, який відсікає дотична до істинного графіка, або як час, протягом якого цей графік досягає значення $0,63 y_3(\infty)$. Ці способи, однак, не дають достатньої точності й ведуть до появи суб'єктивних похибок.

У разі машинної обробки графіку істинної перехідної функції зручніше використовувати такий спосіб. Відомо, що властивістю експонента є те, що довжина піддотичної у будь-якій точці дорівнює сталій часу (рис. 2).

З рівняння прямої NN визначимо час t_3 :

$$t_3 = \frac{[y_3(\infty) - y_{32}](t_2 - t_1)}{\Delta y_3} + t_2.$$

Звідси випливає,

$$T_{13} = t_3 - \frac{t_1 + t_2}{2} = \Delta t \left(\frac{k_{11} - y_{32}}{\Delta y_3} + 0,5 \right), \quad (15)$$

де $\Delta t = t_2 - t_1$; $\Delta y_3 = y_{32} - y_{31}$.

Вочевидь, що пряма NN , яку проведено через дві точки графіку істинної перехідної функції буде тим ближче до дотичної, чим ближче будуть розташовані ці точки одна до одної. Отже, для підвищення точності апроксимації необхідно брати сусідні точки. Маючи на увазі, що вимірювання на графіку істинної перехідної функції можна виконувати через рівні проміжки часу $\Delta t = t_{in} - t_i$ й обчислюючи сталу часу T_{13} з урахуванням відповідних точок y_{i+1} і y_i , перетворимо формулу (15) так

$$T_{13i} = \Delta t \left(\frac{k_{11} - y_{i+1}}{y_{i+1} - y_i} + 0,5 \right). \quad (16)$$

Як результат такого розрахунку для n пар сусідніх точок одержимо n значень сталої часу T_{13i} , за якими обчислюється її середнє значення:

$$T_{13c} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_{13i}. \quad (17)$$

Якщо згідно з рис. 2

$t_2 = 120$ с, $t_1 = 80$ с, то $\Delta t = 120 - 80 = 40$ с.

$y_{i+1} = y_{32} = 3,4$; $y_i = y_{31} = 2,6$; то $y_{i+1} - y_i = 3,4 - 2,6 = 0,8$.

Отже, стала часу НЯ за каналом 13

$$T_{13i} = \Delta t \left(\frac{k_{11} - y_{i+1}}{y_{i+1} - y_i} + 0,5 \right) = 40 \left(\frac{4,86 - 3,4}{0,8} + 0,5 \right) = 73 \text{ с.}$$

Підставивши у вираз (15) числові дані ($k_{11} = 4,86$ і $T_{13} = 73$ с), одержимо графік апроксимованої перехідної функції каналу керування 13 (рис. 2, графік 2).

Як видно із наведених графіків, вони практично співпадають. Отже, канал керування 13, представлений перехідною функцією (12), може бути представлений передавальною функцією виду:

$$g_{31}(p) = \frac{y_3(p)}{u_1(p)} = \frac{k_{11}}{(1 + T_{13}p)}. \quad (18)$$

Аналогічно спрощується і передавальна функція (11) НЯ за каналом керування 23.

Висновки. НЯ з ПП як ОК напору маси за каналом «витрата маси, що подається у напускну камеру – напір маси у випускальній щілині» (канал 23) можна представити аперіодичною ланкою 1-го порядку, стала часу якої обчислюється за графіком істинної перехідної функції або за графіком експериментальної

перехідної функції «витрата маси чи витрата повітря, що подаються у напірний ящик – напір маси у випускальній щілині».

Перспективи подальших досліджень. Подальші дослідження мають бути скеровані на розробку алгоритму керування напором маси, розробленому на підставі дискретної передавальної функції каналу керування «витрата маси чи витрата повітря, що подаються у напірний ящик – напір маси у випускальній щілині». У якості задавального діяння мікропроцесорному регулятору напору маси має бути швидкість руху сітки папероробної машини.

Список використаної літератури

1. Жученко, А. І. Неперервні форми представлення напірних ящиків з повітряною подушкою [Текст] // А. І. Жученко, М. С. Піргач, Я. Ю. Жураковський. – Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут», Серія «Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження», 2016. № 1 (15), – С. 123 – 127. : іл. – Бібліогр.: С. 126.
2. Жученко, А. І. Автоматичне керування напірними ящиками паперо- і картоноробних машин [Текст]: монографія/ А. І. Жученко, М. С. Піргач, М. З. Кваско. – К.: Бізнес Медіа Консалтинг, 2014. – 232 с. Бібліогр.: С. 215-229. – 200 пр. – ISBN 978-966-2425-34-5
3. Жученко А. І. Аналітичне конструювання дискретних регуляторів [Текст]: монографія/ А. І. Жученко, Л. Р. Ладієва, М. С. Піргач. – К.: Аграр Медіа Груп, 2014. – 268 с. Бібліогр.: С. 262. – 200 пр. – ISBN 978-617-646-275-0
4. Кваско М. З. Математичне моделювання та ідентифікація одно- і багатовимірних систем [Текст]: навч. посіб. / М. З. Кваско, Л. Р. Ладієва, М. С. Піргач. – К.: НТУУ «КПІ», 2006 – 308с. Бібліогр.: С.277 – 278. –200 пр. –ISBN 966-622-211-6.

Надійшла до редакції 21.05.2018

Zhuchenko A. I., Pirhach M. S., Zhurakovskiy Y. Y.

THE AIR-PADDED HEADBOX AS PLANT OF THE MASS HEAD CONTROL

For papermakers the headbox is plant of exceptional importance, because it forms a thin jet of mass, which then enters the paper machine mesh on which it turns into paper. In the past, this process was almost on the brink of craft and art, but contemporary engineers have made a significant contribution to the systematization of the means and methods on which the headboxes operate or are controlled. The task is not only to make the headboxes easier to operate, but also to increase productivity and accuracy with which they can work.

To control the headbox, two input control actions are required (the position of control member for air supply and the position of control member for mass feed). Unfortunately, each of the output variables (mass level, air cushion pressure and mass head) is influenced by all two input actions. For instance, if the position of air supply control members is changed, they will cause a change not only in the air pressure, but also disrupt the mass level and the mass flow in a significant range. Therefore, such an automatic control system calculation and setting can be very tedious. Thus, it is very important to have dynamic characteristics for all control variables, depending on each input action.

The description of some methods that are suitable for solving this problem is the main content of this article.

Keywords: *paper machine, air-padded headbox, control system.*

References

1. Zhuchenko, A. I. Pirhach, M. S. and Zhurakovskiy, Y. Y. (2016). “Continuous forms of mathematical representation of air-padded headbox”, *Khimichna inzheneriia, ekolohiia ta resursozberzhennia*, vol. 15, no 1, pp. 123–127.
2. Zhuchenko, A. I. Pirhach, M. S. and Kvasko, M. Z. (2014). *Avtomatichne keruvannya napirnimi yaschikami papero- i kortonorobnih mashin* [Automatic control of headbox of paper and cardboard machines], *Biznes Media Konsalting*, Kyiv, Ukraine.
3. Zhuchenko, A. I. Pirhach, M. S. and Ladieva, L. R. (2014). *Analitichne konstruyuvannya diskretnih reguliatoriv* [Analytical construction of discrete regulators], *Agrar Media Grup*, Kyiv, Ukraine.
4. Kvasko, M. Z., Ladieva, L. R. and Pirhach, M. S. (2006). *Matematichne modelyuvannya ta identifikatsiya odno- i bagatovimirnih sistem* [Mathematical modeling and identification of one- and multi-dimensional systems], *NTUU «KPI»*, Kyiv, Ukraine.