

*О.К. ДДИК*, к.т.н., доц. каф. АВП КНТУ, м. Кіровоград,  
*М.С. МИРОШНИЧЕНКО*, асистент кафедри АВП КНТУ,  
м. Кіровоград

## **СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОЇ СИСТЕМИ СТАБІЛІЗАЦІЇ ПОТОКУ ХЛІБНОЇ МАСИ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНУ**

В статті приведена процедура синтезу оптимальної системи стабілізації потоку хлібної маси на прикладі зернозбирального комбайну КЗС-9-1 "Славутич". Визначені структура та параметри оптимального багатомірного регулятора, застосування якого дало б змогу підвищити продуктивність зернозбирального комбайну, якість зібраного урожаю та зменшити втрати зерна. Лл.: 1. Бібліогр.: 10 назв.

**Ключові слова:** оптимальна система стабілізації, потік хлібної маси, зернозбиральний комбайн, багатомірний регулятор.

**Постановка проблеми.** На сьогоднішній день одним з напрямків розвитку зернозбиральної техніки є підвищення продуктивності. Можливим шляхом вирішення даного питання, що не потребує внесення суттєвих змін в конструкцію комбайну є застосування оптимальної системи стабілізації потоку хлібної маси у молотарці зернозбирального комбайну. Дана система крім підвищення продуктивності комбайну дасть змогу покращити якість зібраного урожаю та зменшити втрати зерна. Тому розробка даної системи є актуальною на сьогоднішній день, оскільки вітчизняна зернозбиральна техніка не обладнана такого роду системами.

**Аналіз літератури.** Про необхідність стабілізації потоку хлібної маси для підвищення продуктивності зернозбирального комбайну, зменшення втрат та покращення якості зерна говорять багато вчених [1 – 4]. На сьогоднішній день існує багато розробок систем стабілізації потоку хлібної маси [1, 3, 4]. Але на комбайнах, що випускаються в країнах СНД впровадження даних розробок гальмується недостатньою їх якістю. Основним недоліком даних систем є те, що вони не враховують динамічних властивостей об'єкту стабілізації та зовнішніх збурень, які суттєво впливають на точність стабілізації. Застосування алгоритмів сучасної теорії управління [5 – 8] та врахування динамічних властивостей елементів системи та зовнішніх збурень [9, 10] дають можливість підвищити точність стабілізації потоку хлібної маси, а разом з тим продуктивність та якість збору зернових культур.

**Мета статті.** Визначити структуру та параметри оптимального багатовимірного регулятора системи стабілізації потоку хлібної маси, застосування якого дало б змогу підвищити продуктивність зернозбирального комбайну, якість зібраного урожаю та зменшити втрати зерна.

**Основні матеріали досліджень.** Синтез оптимальної системи стабілізації потоку хлібної маси зернозбирального комбайну виконувався відповідно до алгоритму наведеного в [8]. Для цього система була приведена до вигляду зображеного на рис., де  $M_0$  та  $P_0$  – поліноміальні матриці, що описують рух об'єкту стабілізації,  $K_0$  – матриця передаточних функцій вимірювачів потоку хлібної маси та урожайності,  $W$  – матриця передаточних функцій регулятора,  $x_0$ ,  $u$  – вихідний та вхідний сигнали об'єкту стабілізації,  $\psi_0$  – вектор збурень, що діють в системі,  $\varphi_0$  – вектор шумів вимірювачів.

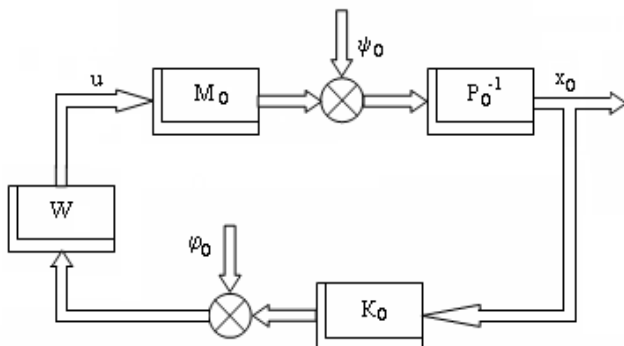


Рис. Структурна схема еквівалентної системи стабілізації

Виходом об'єкту стабілізації є потік хлібної маси, а управляючим сигналом – положення ручки управління швидкістю комбайну. Збуреннями в даній системі є зміна урожайності по ходу руху комбайну, нерівності поля та власні шуми гідротрансмісії й інших елементів комбайну. В результаті виконання ідентифікації [9, 10] та структурних перетворень були одержані наступні вихідні дані для розрахунку оптимального регулятора  $W$ :

– об'єкт описується поліноміальними матрицями

$$M_0 = \begin{bmatrix} 10 \\ 0 \end{bmatrix}; \quad P_0 = \begin{bmatrix} 0,099 \cdot s \cdot (s+3) & -0,099 \cdot s \cdot (s+3) \\ 0 & 0,389 \end{bmatrix}; \quad (1)$$

– вимірювачі описуються матрицею

$$K_0 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 2,57 \end{bmatrix}; \quad (2)$$

– матриця спектральних щільностей збурень

$$S_{\psi_0\psi_0} = \begin{bmatrix} \frac{-1,624 \cdot 10^{-5} \cdot (s+1,5) \cdot (s-1,5)}{s^2 \cdot (s+0,04) \cdot (s-0,04)} & 0 \\ 0 & \frac{-3,9 \cdot 10^{-6}}{(s+0,01) \cdot (s-0,01)} \end{bmatrix}; \quad (3)$$

– матриця спектральних щільностей шумів вимірювачів

$$S_{\phi_0\phi_0} = \begin{bmatrix} 2,58 \cdot 10^{-3} & 0 \\ 0 & 3,9 \cdot 10^{-6} \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Для розрахунку був взятий наступний функціонал якості [8]

$$J = \langle x_0 R x_0' \rangle + \langle u C u' \rangle, \quad (5)$$

де  $R, C$  – невід’ємно визначені поліноміальні вагові матриці; " ' " – знак транспонування;  $\langle \rangle$  – знак математичного очікування.

Для розрахунків вагові коефіцієнти функціоналу якості приймаємо  $R = 1, C = 1$ . Далі виконуємо розрахунки відповідно до алгоритму.

Знаходимо вираз  $G_* G$  та виконуємо факторизацію праворуч

$$G_* G = 0,0098 \cdot (s^2 + 14,5 \cdot s + 100) \cdot (s^2 - 14,5 \cdot s + 100); \quad (6)$$

$$G = 0,099 \cdot (s^2 + 14,5 \cdot s + 100). \quad (7)$$

Знаходимо дробово-раціональний вираз  $\Gamma$

$$\Gamma = \frac{(s^2 + 14,5 \cdot s + 100)}{s \cdot (s + 3)}. \quad (8)$$

Далі відповідно до алгоритму [8] визначимо дробово-раціональну матрицю  $DD_*$  та виконаємо факторизацію ліворуч даної матриці. Оскільки в подальших розрахунках необхідна обернена матриця  $D^{-1}$ , тому виконаємо одразу й обернення результату факторизації

$$DD_* = \begin{bmatrix} DD_{11} & DD_{21} \\ DD_{12} & DD_{22} \end{bmatrix}, \quad (9)$$

де

$$DD_{11} = \frac{2,595 \cdot 10^{-5} |(s+3)(s+0,71)(s^2+0,78 \cdot s+0,56)|^2}{s^2 \cdot (s+0,04) \cdot (s-0,04)};$$

$$DD_{12} = -2,275 \cdot 10^{-6} \cdot s \cdot (s-3);$$

$$DD_{21} = -2,275 \cdot 10^{-6} \cdot s \cdot (s+3);$$

$$DD_{22} = \frac{8,918 \cdot 10^{-6} (s+0,66)(s-0,66)}{(s+0,01) \cdot (s-0,01)}.$$

$$D^{-1} = \begin{bmatrix} D_{11} & D_{21} \\ D_{12} & D_{22} \end{bmatrix}, \quad (10)$$

де

$$D_{11} = \frac{196s(s+0,04)}{(s+3)(s+0,73)(s^2+0,78s+0,56)};$$

$$D_{12} = \frac{29,7s(s+0,57)(s+0,04)}{(s+3)(s+0,73)(s+0,65)(s^2+0,78s+0,56)};$$

$$D_{21} = \frac{-45(s+0,01)(s^2+0,96s+0,38)}{(s+0,73)(s+0,65)(s^2+0,78s+0,56)};$$

$$D_{22} = \frac{338(s+0,01)(s+0,7)}{(s+0,73)(s+0,65)}.$$

Знаходимо матрицю  $N$  та виконуємо її сепарацію згідно алгоритму [8]. В результаті одержуємо

$$N_0 + N_+ = \begin{bmatrix} \frac{0,08(s^2+0,73s+0,25)}{s^2(s+0,04)} & \frac{0,013(s^2+0,56s+0,2)}{s^2(s+0,04)} \end{bmatrix}. \quad (11)$$

Далі знаходимо матриці  $F_u^\Psi$  та  $F_x^\Psi$

$$F_u^\Psi = [F_1 \quad F_2], \quad (12)$$

де

$$F_1 = \frac{-16(s+0,66)(s^2+0,73s+0,25)}{(s+0,73)(s+0,65)(s^2+0,78s+0,56)(s^2+14,5s+100)};$$

$$F_2 = \frac{-4,3s(s+0,47)(s+3)(s^2+0,68s+0,33)}{(s+0,73)(s+0,65)(s^2+0,78s+0,56)(s^2+14,5s+100)}.$$

$$F_x^\Psi = \begin{bmatrix} F_{11} & F_{21} \\ F_{12} & F_{22} \end{bmatrix}, \quad (13)$$

де

$$F_{11} = \frac{10s(s+0,66)(s+0,04)(s^2+16s+123)}{(s+3)(s+0,73)(s+0,65)(s^2+0,78s+0,56)(s^2+14,5s+100)};$$

$$F_{12} = 0;$$

$$F_{21} = \frac{2,57(s+0,36)(s+0,034)(s+0,027)(s^2+0,24s+0,17)(s^2+16s+124)}{(s+0,73)(s+0,65)(s+0,04)(s^2+0,78s+0,56)(s^2+14,5s+100)};$$

$$F_{22} = 6,61.$$

З одержаних результатів (12), (13) згідно алгоритму [8] знаходимо матрицю оптимального регулятора  $W$

$$W = [W_1 \quad W_2], \quad (14)$$

де

$$W_1 = \frac{-1,6(s+0,66)(s+3)(s^2+0,73s+0,25)}{s(s+0,661)(s+0,04)(s^2+16s+123)};$$

$$W_2 = \frac{-0,024(s-5,49)(s+3)(s+0,23)(s+0,028)}{s(s+0,661)(s+0,04)(s^2+16s+123)}.$$

**Висновок.** Таким чином одержана структура та параметри матриці передаточних функцій оптимального регулятора системи стабілізації потоку хлібної маси зернозбирального комбайну. Моделювання роботи даної системи показало, що застосування даного регулятора дає можливість на порядок зменшити середньоквадратичне відхилення коливань потоку відносно пропускної здатності молотарки, що дасть змогу підвищити продуктивність комбайну, якість зібраного урожаю та зменшити втрати зерна. В подальшому необхідно провести дослідження якості роботи даної системи при варіюванні параметрів об'єкту стабілізації та спектральних щільностей збурень, що діють на систему стабілізації потоку хлібної маси.

**Список літератури:** 1. *Войтюк Д.Г.* Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: Підручник / *Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін.* – К.: Вища освіта, 2005. – 464 с. 2. *Долгов И.А.* Уборочные сельскохозяйственные машины. (Конструкция, теория, расчет): Учебник. / *И.А. Долгов* – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2003. – 707 с. 3. *Гельфенбейн С.П.* Электроника и автоматика в мобильных сельхозмашинах / *С.П. Гельфенбейн, В.Л. Волчанов.* – М.: Агропромиздат, 1986. – 264 с. 4. *Карпенко А.Н.* Сельскохозяйственные машины [Учебники и учеб. пособия для высш. с.-х. учеб. заведений] / *А.Н. Карпенко, В.М. Халанский.* – М.: Колос, 1983. – 495 с. 5. *Азарсков В.Н.* Методология конструирования систем стохастической стабилизации: Монография / *В.Н. Азарсков, Л.Н. Блохин, Л.С. Житецкий.* – К.: НАУ, 2006. – 440 с.

6. *Алиев Ф.А.* Оптимизация линейных инвариантных во времени систем управления / *Ф.А. Алиев, В.Б. Ларин, В.Ц. Сунцев.* – К.: Наук. думка, 1978. – 327 с. 7. *Блохин Л.М.* Статистична динаміка систем управління: Підручник / *Л.М. Блохин, М.Ю. Буриченко.* – К.: НАУ, 2003. – 208 с. 8. *Осадчий С.І.* Синтез оптимальної багатовимірної системи стабілізації руху об'єкта зі зворотнім зв'язком по відхиленню та корекцією по збуренню / *С.І. Осадчий, О.К. Дідик, М.С. Віхрова* // Вісник Харківського національного технічного університету сільськогосподарства імені Петра Василенка. Вип. 102 "Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України". – Харків: ХНТУСГ, 2010. – С. 71 – 73. 9. *Каліч В.М.* Вплив конструктивних особливостей гідротрансмісії на її динамічні характеристики / *В.М. Каліч, С.І. Осадчий, М.С. Віхрова, С.М. Касімов* // Зб. наук. праць КНТУ / Техніка в с/г виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Вип. 18. – Кіровоград: КНТУ, 2007. – С. 242 – 244. 10. *Дідик О.К.* Ідентифікація параметрів динаміки руху зернозбирального комбайну за даними експерименту / *О.К. Дідик, М.С. Віхрова* // Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Вип. 40. – Ч. I. – Кіровоград: КНТУ, 2010. – С. 99 – 103.

*Стаття представлена д.ф.-м.н. проф. КНТУ Гамалієм В.Ф.*

УДК 62.505:681.513

**Синтез оптимальной системы стабилизации потока хлебной массы зерноуборочного комбайна / Дидык А.К., Мирошниченко М.С.** // Вестник НТУ "ХПИ". Тематический выпуск: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2011. – № 36. – С. 46 – 51.

В статье приведена процедура синтеза оптимальной системы стабилизации потока хлебной массы на примере зерноуборочного комбайна КЗС-9-1 "Славутич". Определены структура и параметры оптимального многомерного регулятора, применение которого позволило бы повысить производительность зерноуборочного комбайна, качество собранного урожая и уменьшить потери зерна. Ил.: 1. Библиогр.: 10 назв.

**Ключевые слова:** оптимальная система стабилизации, поток хлебной массы, зерноуборочный комбайн, многомерный регулятор.

UDC 62.505:681.513

**Synthesis of the optimal stabilization of grain mass flow combine harvester / Didyk A.K., Miroshnichenko M.S.** // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2011. – № 36. – P. 46 – 51.

The article describes the procedure of synthesis of optimal system stabilization of grain mass flow on the example of combine harvester KZS-9-1 "Slavutich". Determined the optimal structure and parameters of the multidimensional control, the use of which would improve the performance of the combine harvester, the quality of the crop and reduce grain losses. Figs.: 1. Refs.: 10 titles.

**Keywords:** optimal system stabilization, grain mass flow, combine harvester, multidimensional control

*Надійшла до редакції 30.06.2011*