

М.О. Свірень, проф., д-р техн. наук, О.К. Дідик, доц., канд. техн. наук,  
М.С. Мірошніченко, асист.

*Кіровоградський національний технічний університет*

## Аналіз якості автоматизованої системи стабілізації потоку хлібної маси зернозбирального комбайну

В статті розглянутий аналіз якості автоматизованої системи стабілізації потоку хлібної маси зернозбирального комбайну при різних значеннях вагового коефіцієнту, що входить в критерій якості та встановлена залежність показників якості від вагового коефіцієнту.

**зернозбиральний комбайн, система стабілізації, потік хлібної маси, адаптована система**

**Постановка проблеми.** Для підвищення ефективності збору урожаю та зменшення втрат зерна необхідно управляти швидкістю руху комбайна з метою підтримання на оптимальному рівні продуктивності роботи комбайна. Для вирішення даної задачі запропоновано застосування комбінованого способу управління за відхиленням вихідного параметру – потоку хлібної маси та за збуренням – поточного значення урожайності. При розробці комбінованої системи стабілізації потоку хлібної маси на вході молотарки зернозбирального комбайну розрахунок регулятора виконувався при різних значеннях вагового коефіцієнту, що входить в критерій якості. Тому необхідно визначити якісні показники роботи системи та залежність даних показників від вагового коефіцієнту.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз літературних джерел [1-3] показав необхідність розробки автоматизованої системи стабілізації потоку хлібної маси зернозбирального комбайну, яка дасть можливість підвищити продуктивність роботи комбайну, зменшити втрати зерна при зборі урожаю та покращить якість зібраного зерна. Розроблена комбінована система стабілізації потоку хлібної маси [4] на основі методу синтезу оптимальної багатовимірної системи стабілізації руху об'єкта [5] дозволяє вирішити проблеми підвищення якості збору урожаю.

**Мета статті.** Визначити якісні показники роботи оптимальної комбінованої системи стабілізації потоку хлібної маси зернозбирального комбайну та встановити залежність показників від вагового коефіцієнту, що входить в критерій якості.

**Основні матеріали досліджень.** Розглянемо структурну схему комбінованої системи стабілізації потоку хлібної маси (рис. 1). При приведенні її до схеми еквівалентної системи стабілізації (рис. 2) були виконані структурні перетворення. В результаті одержані наступні вихідні дані для визначення структури і параметрів регулятора  $W$ :

$$P_0 = \begin{bmatrix} (s+1.2)(s+0.206) & -(s+1.2)(s+0.206) \\ 0 & 8.35 \cdot 10^{-2} \end{bmatrix}; \quad (1)$$

$$M_0 = \begin{bmatrix} 144 \\ 0 \end{bmatrix}; \quad (2)$$

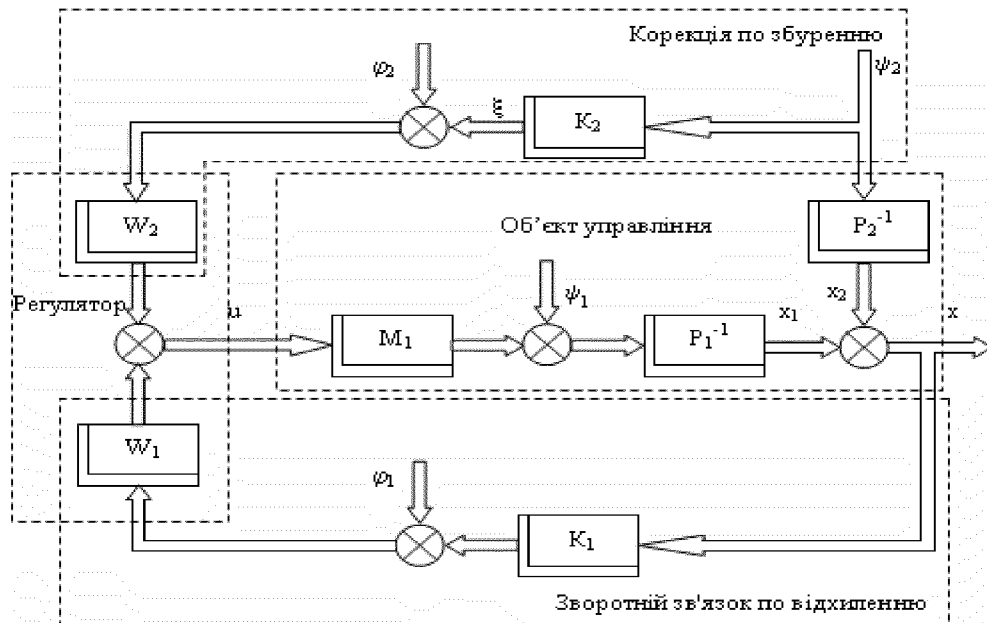


Рисунок 1 - Структурна схема системи стабілізації потоку хлібної маси зі зворотнім зв'язком по відхиленню та корекцією по збуренню

$$K_0 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad (3)$$

$$S'_{\psi_0\psi_0} = \frac{\sigma_0^2}{\pi} \begin{bmatrix} \frac{-3.262 \cdot 10^3 s^2}{-34.04 s^2 + 1} & 0 \\ 0 & \frac{0.9975}{-252 s^2 + 1} \end{bmatrix}; \quad (4)$$

$$S'_{\varphi_0\varphi_0} = \frac{\sigma_0^2}{\pi} \begin{bmatrix} 0.25 & 0 \\ 0 & 0.25 \end{bmatrix}. \quad (5)$$

В результаті синтезу системи стабілізації була визначена матриця передаточних функцій регулятора при значенні вагового коефіцієнта  $C = 1$

$$W = \begin{bmatrix} \frac{12.3(s+319)(s+3.91)(s+0.2063)}{(s+332)(s+0.4108)(s^2+25s+318)} \\ -\frac{12.33(s+0.2063)(s^2-2.44s+0.993)}{(s+332)(s+0.4108)(s^2+25s+318)} \end{bmatrix}. \quad (6)$$

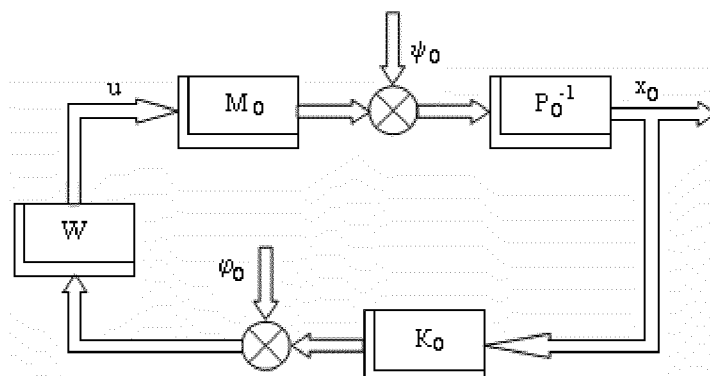


Рисунок 2 - Структурна схема еквівалентної системи стабілізації

Аналогічні розрахунки були проведені для інших значень вагового коефіцієнта в діапазоні  $C = 0,01 \dots 100$ . В результаті структура регулятора залишалася незмінною

$$W = \left[ \frac{-K_1(s + \omega_4)(s + \omega_5)(s + \omega_6)}{(s + \omega_1)(s + \omega_2)(s^2 + 2\zeta_3\omega_3s + \omega_3^2)} \quad \frac{-K_2(s + \omega_6)(s^2 - 2\zeta_7\omega_7s + \omega_7^2)}{(s + \omega_1)(s + \omega_2)(s^2 + 2\zeta_3\omega_3s + \omega_3^2)} \right] \quad (7)$$

Деякі параметри регулятора залишались незмінними при зміні вагового коефіцієнту  $\omega_1 = 331.7; \omega_2 = 0.4108; \zeta_3 = 0.71; \omega_4 = 318.6; \omega_6 = 0.2063$ , а значення змінних параметрів представлені в табл. 1.

Таблиця 1 – Оптимальні значення змінних параметрів двоканального регулятора

C	$K_1, \text{с/кг}$	$K_2, \text{м}^2/\text{кг}$	$\omega_3, \text{с}^{-1}$	$\omega_5, \text{с}^{-1}$	$\omega_7, \text{с}^{-1}$	$\zeta_7$
0.01	99.4	125.9	43.7	4.943	0.7331	0.061
0.03	59.54	71.96	34.64	4.75	0.7753	0.1925
0.1	34.28	39.31	27.15	4.5	0.8335	0.5125
0.3	20.92	22.62	22.03	4.236	0.9012	0.8395
1	12.32	12.332	17.824	3.912	0.9965	1.2238
3	7.68	7.08	14.95	3.593	1.1091	1.582
10	4.62	3.849	12.59	3.233	1.2696	1.952
30	2.92	2.2	10.986	2.909	1.4618	2.236
100	1.769	1.192	9.674	2.573	1.737	2.447

В основі прийняття рішення про вибір базового вагового коефіцієнта  $C_6$  лежить виконання аналізу якості оптимальної системи стабілізації на основі розрахунку показника якості

$$e = \frac{1}{j} \int_{-j\infty}^{j\infty} \text{tr}(S'_{x_0x_0} R + S'_{uu} C) ds, \quad (8)$$

де  $j$  – комплексна одиниця;

$\text{tr}$  – знак операції знаходження сліду матриці;

$S_{x_0x_0}$  – матриця спектральних щільностей зміни вихідних координат системи розмірності  $n \times n$ ;

“/” – знак транспонування матриці;

$R$  – додатно визначена поліноміальна вагова матриця розмірності  $n \times n$ ;

$S_{uu}$  – матриця спектральних щільностей зміни вектору сигналів керування системи розмірності  $m \times m$ ;

$C$  – невід’ємно визначена поліноміальна вагова матриця розмірності  $m \times m$ ;

та дисперсій зміни потоку хлібної маси  $e_x$  і кута нахилу

$$e_x = \left\| S'_{x_0x_0} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \right\|_2^2, \quad e_u = \frac{1}{C} \left\| S'_{uu} \right\|_2^2, \quad (9)$$

де  $\|\cdot\|_2^2$  – квадрат другої норми матриці спектральних щільностей.

Результати аналізу якості зведені в таблицю 2 та представлені на рис. 3.

Таблиця 2 – Показники якості оптимальної комбінованої системи стабілізації

C	$e_u, \text{рад}^2$	$e_x, (\text{кг/с})^2$	$e$
0.01	0,005852	0,00038	0,006232
0.03	0,002648	0,000432	0,00308
0.1	0,001124	0,000516	0,00164
0.3	0,000524	0,000616	0,00114
1	0,000232	0,000772	0,001004
3	0,000112	0,000972	0,001084
10	0,000052	0,001292	0,001348
30	0,0000272	0,001728	0,001756
100	0,0000136	0,002464	0,002476

\*кута нахилу шайби блоку гідроциліндрів насосу  $V_y - e_u$

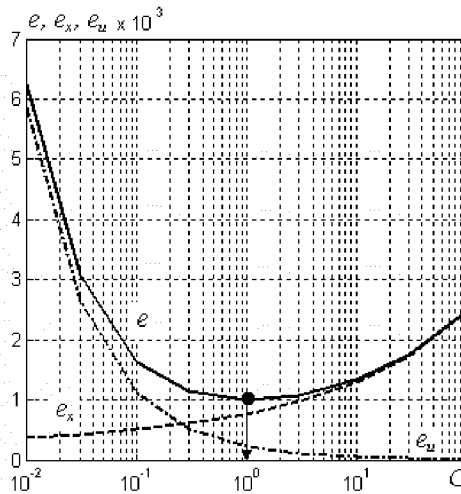


Рисунок 3 – Графіки зміни показників якості роботи оптимальної системи

**Висновок.** Аналіз графіків на рис. 3 показує, що компроміс між точністю стабілізації та витратами керування на її досягнення спостерігається при значенні вагового коефіцієнту близького до одиниці, оскільки саме при такому  $C$  досягається глобальний мінімум критерію  $e$ . При цьому середньоквадратичне відхилення потоку хлібної маси становить  $\sigma_Q = 0,0278$  кг/с, а середньоквадратичне відхилення кута нахилу шайби блоку циліндрів гідронасосу -  $\sigma_\gamma = 0,0152$  рад =  $0,87^\circ$ .

### 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. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2003. – 707 с.
3. Гельфенбейн С.П. Электроника и автоматика в мобильных сельхозмашинах. / Гельфенбейн С.П., Волчанов В.Л. – М.: Агропромиздат, 1986. – 264 с.
4. Дідик О.К. Синтез оптимальної системи стабілізації потоку хлібної маси зернозбирального комбайну / О.К.Дідик, М.С.Мірошніченко // Сб. наук. праць «Вестник национального технического университета «ХПИ»» Тематич. выпуск «Информатика и моделирование». – 2011. - №36. – С.48-51.
5. Осадчий С.І. Синтез оптимальної багатовимірної системи стабілізації руху об'єкта зі зворотнім зв'язком по відхиленню та корекцією по збуренню. / Осадчий С.І., Дідик О.К., Віхрова М.С. // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Випуск 102 „Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України”. – Харків: ХНТУСГ, 2010. – С. 71 – 73.

*Н. Свирень, А. Дидьк, М. Мірошніченко*

### **Анализ качества автоматизированной системы стабилизации потока хлебной массы зерноуборочного комбайна**

В статье рассмотрен анализ качества автоматизированной системы стабилизации потока хлебной массы зерноуборочного комбайна при различных значениях весового коэффициента, входящего в критерий качества и установлена зависимость показателей качества от весового коэффициента.

*M. Sviren, O. Didyk, M. Miroshnichenko*

### **Quality analysis of the automated system of the panary mass stream of the combine harvester**

This article describes the automated analysis of the quality of the stabilization system of grain mass flow combine harvester at different weighting coefficients in the quality system and the dependence of the quality of the weights.

Одержано 18.10.12