

УДК 681.513

С.І. Осадчий, доц., канд. техн. наук, О.К. Дідик, доц., канд. техн. наук,  
М.С. Мірошніченко, асист.

*Кіровоградський національний технічний університет*

## Адаптація комбінованої системи стабілізації потоку хлібної маси до зміни середньої урожайності

В статті розглянутий розрахунок структури та параметрів оптимального комбінованого регулятора для системи стабілізації потоку хлібної маси при різних значеннях середньої урожайності. Проведений аналіз залежності параметрів регулятора від середньої урожайності та встановлена необхідність адаптації системи стабілізації до значення середньої урожайності.

**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 виникає проблема залежності параметрів збурень, що діють в системі та параметрів об'єкта стабілізації від середньої урожайності поля. Оскільки середня урожайність змінюється від поля до поля в досить широких межах, тому необхідно дослідити вплив даного параметру на якість стабілізації потоку хлібної маси, визначитись з необхідністю та представити шлях адаптації системи до середньої урожайності.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз літературних джерел [1-3] показав, що середня урожайність поля має суттєвий вплив на продуктивність роботи зернозбирального комбайну та на проблеми пов'язані із стабілізацією потоку хлібної маси на вході молотарки. Особливі проблеми виникають при низькій урожайності, коли комбайну для підтримання заданої продуктивності необхідно рухатись на максимальних швидкостях. 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.** Встановити необхідність адаптації комбінованої системи стабілізації потоку хлібної маси на вході молотарки зернозбирального комбайну до значення середньої урожайності поля та встановити залежність параметрів оптимального регулятора від середньої урожайності.

**Основні матеріали досліджень.** Для вирішення задачі проектування та забезпечення зменшення залежності якості стабілізації потоку хлібної маси від середньої урожайності поля необхідно розрахувати значення параметрів передаточних функцій каналів регулятора  $W_1$  та  $W_2$  для множини значень середньої урожайності. 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  $W$ :

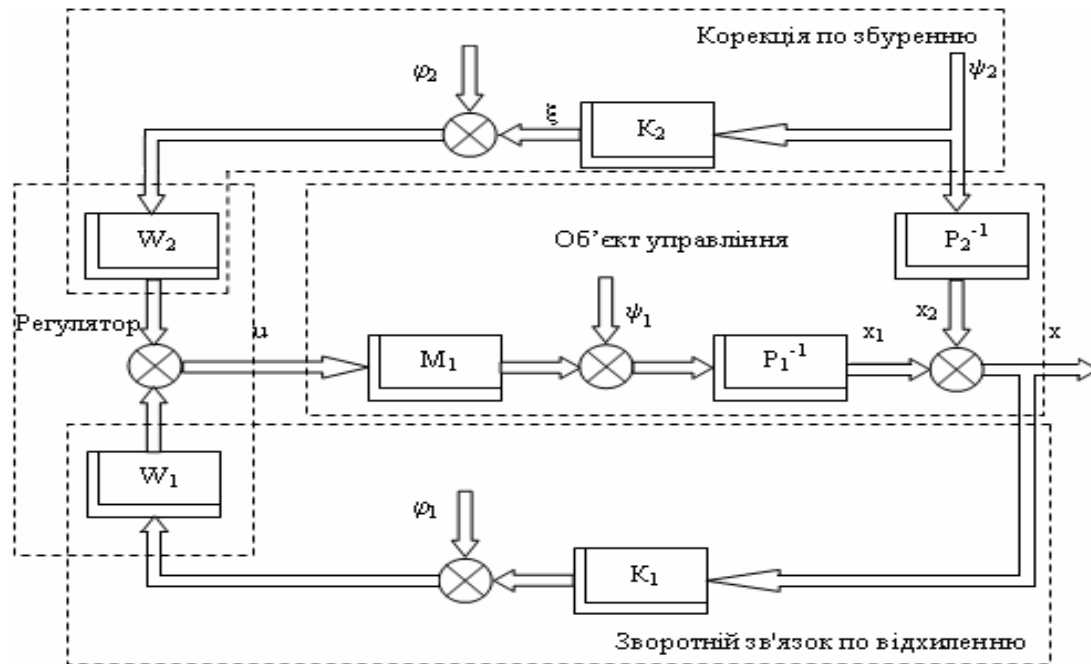


Рисунок 1 - Структурна схема системи стабілізації потоку хлібної маси зі зворотнім зв'язком по відхиленню та корекцією по збуренню

$$P_0 = \begin{bmatrix} (s+1.2)(s+0.206) & -(s+1.2)(s+0.206) \\ 0 & 0.11Y_0 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

$$M_0 = \begin{bmatrix} 411.3Y_0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

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

$$S'_{\psi_0\psi_0} = \frac{\sigma_0^2}{\pi} \begin{bmatrix} \frac{-2.66 \cdot 10^4 Y_0^2 s^2}{-16.67^2 Y_0^2 s^2 + 1} & 0 \\ 0 & \frac{2.85 Y_0}{-2.057 \cdot 10^3 Y_0^2 s^2 + 1} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

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

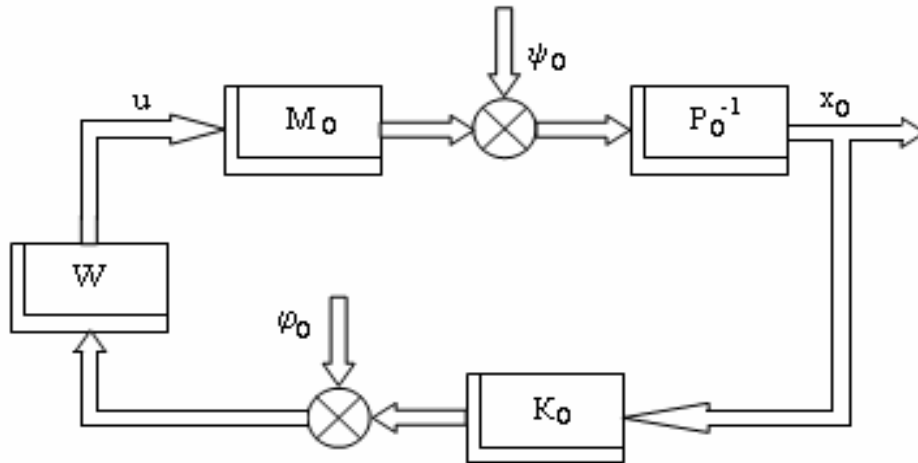


Рисунок 2 - Структурна схема еквівалентної системи стабілізації

Розрахунок виконувався на основі методу синтезу оптимальної багатовимірної системи стабілізації руху об'єкта [5]. Синтез оптимальної комбінованої системи для значення урожайності  $Y_0 = 35$  ц/га був представлений в [4]. В результаті була одержана матриця передаточних функцій комбінованого регулятора наступного вигляду

$$W = \left[ \begin{array}{cc} -K_1(s + \omega_4)(s + \omega_5)(s + \omega_6) & -K_2(s + \omega_6)(s^2 - 2\zeta_7\omega_7s + \omega_7^2) \\ \frac{(s + \omega_1)(s + \omega_2)(s^2 + 2\zeta_3\omega_3s + \omega_3^2)}{(s + \omega_1)(s + \omega_2)(s^2 + 2\zeta_3\omega_3s + \omega_3^2)} & \frac{(s + \omega_1)(s + \omega_2)(s^2 + 2\zeta_3\omega_3s + \omega_3^2)}{(s + \omega_1)(s + \omega_2)(s^2 + 2\zeta_3\omega_3s + \omega_3^2)} \end{array} \right]. \quad (6)$$

Застосування аналогічного підходу до відповідних моделей динаміки узагальненого об'єкта керування та зовнішніх впливів на нього для інших значень урожайності, дозволило визначити множину передаточних функцій двоканальних регуляторів, які забезпечують стійкість замкненої системи та доставляють мінімум критерію якості

$$e = \frac{1}{j} \int_{-j\infty}^{j\infty} \text{tr}(S'_{x_0x_0} R + S'_{uu} C) ds, \quad (7)$$

де  $j$  – комплексна одиниця;

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

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

$R$  – 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  $m \times m$ ;

$s = j\omega$  – комплексний аргумент.

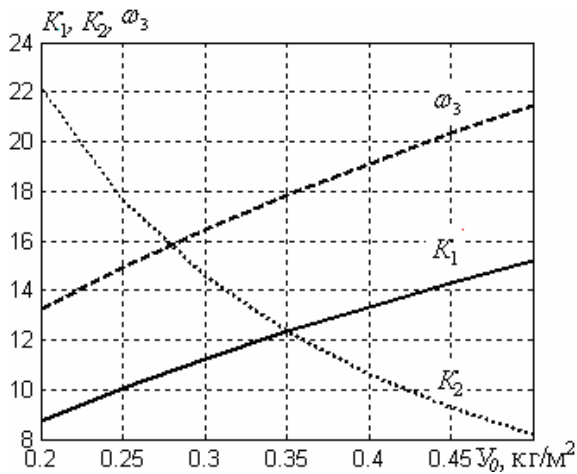
Розгляд отриманих таким чином передаточних функцій доводить, що зміна середньої урожайності  $Y_0$  не впливає на структуру регулятора, а змінює лише частину його параметрів. У таблиці 1 наведені значення змінних параметрів регулятора, а на рис. 3 – рис. 5 номограми їх зміни. Деякі параметри практично не змінюються і приймають наступні значення

$$\omega_2 = 0.4108; \quad \zeta_3 = 0.71; \quad \omega_5 = 3.912; \quad \omega_6 = 0.2063; \quad \omega_7 = 0.9965. \quad (8)$$

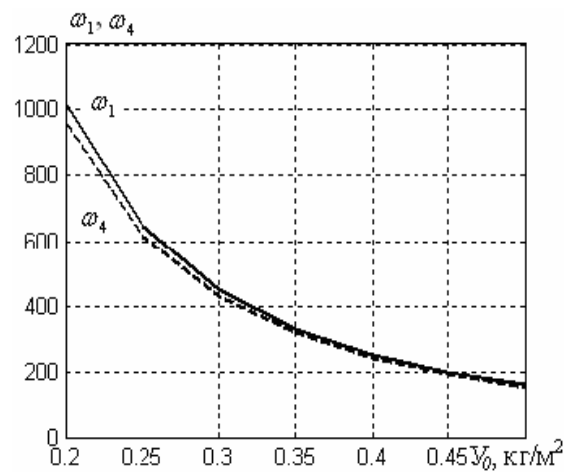
Апроксимація зазначених номограм на класі поліноміальних функцій від середньої урожайності (табл. 2) здійснена за допомогою пакету Curve Fitting Toolbox в середовищі Matlab дозволила визначити закони зміни параметрів оптимального регулятора для збереження високої якості стабілізації потоку хлібної маси.

Таблиця 1 - Залежність параметрів комбінованого регулятора від середньої урожайності

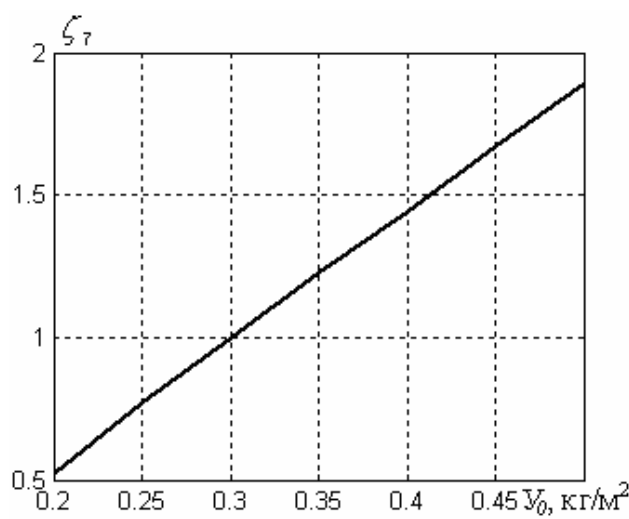
$Y_0, \text{кг/м}^2$	$K_1, \text{с/кг}$	$K_2, \text{м}^2/\text{кг}$	$\omega_1, \text{с}^{-1}$	$\omega_3, \text{с}^{-1}$	$\omega_4, \text{с}^{-1}$	$\zeta_7$
0,2	8,72	22,15	1015	13,24	957,9	0,522
0,25	10,03	17,62	650	14,92	618	0,77
0,3	11,22	14,56	451,4	16,43	431,7	1,001
0,35	12,32	12,33	331,7	17,82	318,6	1,224
0,4	13,35	10,63	254	19,12	244,8	1,445
0,45	14,31	9,28	200,8	20,34	194	1,668
0,5	15,22	8,17	162,7	21,49	157,6	1,894



Рисуюнок 3 - Номограма зміни  $K_1, K_2, \omega_3$



Рисуюнок 4 - Номограма зміни  $\omega_1, \omega_4$



Рисуюнок 5 - Номограма зміни  $\zeta_7$

Таблиця 2 - Закони зміни параметрів оптимального регулятора від середньої урожайності  $Y_0$  та середньоквадратичне відхилення похибки апроксимації

Параметр	Аналітичний вираз	Середньоквадратичне відхилення похибки апроксимації
$K_1$	$K_1(Y_0) = 20Y_0^3 - 36.67Y_0^2 + 39.53Y_0 + 2.122$	0.0038
$K_2$	$K_2(Y_0) = -380Y_0^3 + 526.2Y_0^2 - 266.7Y_0 + 57.45$	0.0016
$\omega_1$	$\omega_1(Y_0) = 1.65 \cdot 10^5 Y_0^4 - 2.77 \cdot 10^5 Y_0^3 + 1.77 \cdot 10^5 Y_0^2 - 5.23 \cdot 10^4 Y_0 + 6345$	0.44
$\omega_3$	$\omega_3(Y_0) = 31.11Y_0^3 - 53.05Y_0^2 + 52.5Y_0 + 4.617$	0.0039
$\omega_4$	$\omega_4(Y_0) = 1.48 \cdot 10^5 Y_0^4 - 2.49 \cdot 10^5 Y_0^3 + 1.6 \cdot 10^5 Y_0^2 - 4.77 \cdot 10^4 Y_0 + 5840$	0.68
$\zeta_7$	$\zeta_7(Y_0) = 4.54Y_0 - 0.37$	0.0094

Використання даних законів зміни параметрів оптимального регулятора від середньої урожайності дасть можливість перебудувувати систему стабілізації під умови кожного поля, врожайність на якому знаходиться у діапазоні 0.2-0.5 кг/м<sup>2</sup>.

Дослідження якісних показників функціонування системи стабілізації при зміні середньої урожайності показало, що вони дещо змінюються, але не суттєво (табл. 3).

Таблиця 3 - Показники якості роботи системи стабілізації при зміні середньої урожайності

$Y_0$ , кг/м <sup>2</sup>	$e_u$ , рад <sup>2</sup>	$e_x$ , (кг/с) <sup>2</sup>	J
0,2	0,000556	0,0017	0,0023
0,25	0,000363	0,0012	0,0015
0,3	0,000275	0,0009	0,0012
0,35	0,000232	0,00077	0,001
0,4	0,000208	0,00071	0,00091
0,45	0,000197	0,00067	0,00087
0,5	0,000193	0,00066	0,00085

**Висновок.** Як видно з табл. 3 найгірша якість роботи системи стабілізації виникає при найменшому значенні середньої урожайності  $Y_0 = 0.2$  кг/м<sup>2</sup>. В таких умовах середньоквадратичне відхилення вихідного потоку хлібної маси становить  $\sigma_Q = 0,0412$  кг/с, а середньоквадратичне відхилення кута нахилу шайби блоку циліндрів гідронасосу  $\sigma_\gamma = 0,0236$  рад = 1,35°. Це пояснюється розширенням ефективної ширини спектру збурень при зменшенні середньої урожайності поля. Аналіз якості роботи системи стабілізації з регулятором розрахованим для урожайності  $Y_0 = 0.35$  кг/м<sup>2</sup> при параметрах об'єкту та збурень для інших значень урожайності показав, що якість на порядок погіршується. Це доводить необхідність адаптації системи до середнього значення урожайності кожного поля.

### 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.Мірошниченко // Сб. наук. праць «Вестник национального технического университета «ХПИ»» Тематич. випуск «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.

*С. Осадчий, А. Дідик, М. Мирошніченко*

**Адаптация комбинированной системы стабилизации потока хлебной массы к изменению средней урожайности**

В статье рассмотренный расчет структуры и параметров оптимального комбинированного регулятора для системы стабилизации потока хлебной массы при разных значениях средней урожайности. Проведенный анализ зависимости параметров регулятора от средней урожайности и установленная необходимость адаптации системы стабилизации к значению средней урожайности.

*S. Osadchiy, O. Didyk, M. Miroshnichenko*

**Adaptation of the combined stabilizing system of panary mass stream to the change of the middle productivity**

In the article the considered calculation of structure and parameters of the optimal combined regulator for the stabilizing system of panary mass stream at the different values of the middle productivity. Conducted analysis of dependence of regulator parameters from the middle productivity and set necessity of adaptation of the stabilizing system to the value of the middle productivity.

Одержано 18.09.12

**УДК 681.542.35**

**А.М. Мацуй, канд. техн. наук, В.О. Кондратець, проф., канд. техн. наук, О.М. Сербул, доц., канд. техн. наук**

*Кіровоградський національний технічний університет*

## **Обґрунтування довжини гнучких пневматичних трубок при вимірюванні параметрів хвильового процесу завиткового живильника**

Стаття присвячена системі, що складається з камери тиску вторинного перетворювача, ввідної трубки та манометричного датчика тиску з пневматичною трубкою. Розглянуто конструктивні елементи завиткового живильника у горизонтальній і вертикальній площинах і на цій підставі вибрано місце установки датчиків тиску пульпи. Виходячи з конструктивних особливостей завиткового живильника і вимірювальних засобів, обґрунтовано довжину пневматичних трубок, яка повинна складати 3,0 м.  
**завитковий живильник, хвильовий процес, вимірювання параметрів, довжина пневматичних трубок, перетворювачі тиску**

Нині для забезпечення металургійної промисловості сировиною в Україні збагачують як руди, що добуваються відкритим способом, так і частину руд, яку добувають підземним способом. При збагаченні найбільш енерговитратним процесом є подрібнення руди. Серед інших в Україні розповсюдження отримали цикли подрібнення руди з переробкою пісків двоспирального класифікатора у кульових млинах. Оскільки такі кульові млини несуть основне технологічне навантаження,

© А.М. Мацуй, В.О. Кондратець, О.М. Сербул, 2012