

Александрова Т.Е., Лазаренко А.А.

**ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ИНВАРИАНТНОГО СТАБИЛИЗАТОРА ТАНКОВОЙ ПУШКИ**

**Постановка задачи.** В работе [1] описано устройство и принцип работы инвариантного стабилизатора танковой пушки, отличающегося от серийного стабилизатора тем, что в его состав введены датчики давления рабочей жидкости в полостях исполнительного гидроцилиндра, а электронный блок стабилизатора формирует стабилизирующий сигнал в виде:

$$U(t) = k_{\varphi}\varphi(t) + k_{\dot{\varphi}}k_c \frac{d\varphi(t)}{dt} + k_p [p_1(t) - p_2(t)], \tag{1}$$

где  $\varphi(t)$  – угловое рассогласование оси канала ствола танковой пушки относительно направления на цель, измеряемое с помощью гироскопического датчика угла;  $\frac{d\varphi(t)}{dt}$  – угловая скорость поворота танковой пушки относительно оси цапф, измеряемая с помощью гироскопического датчика угловой скорости;  $p_1(t), p_2(t)$  – значения давления рабочей жидкости соответственно в верхней и нижней полостях исполнительного гидроцилиндра, измеряемые введенными датчиками давления рабочей жидкости,  $k_{\varphi}, k_{\dot{\varphi}}, k_p, k_c$  – коэффициенты усиления стабилизатора.

Задача параметрического синтеза инвариантного стабилизатора состоит в отыскании численного значения параметра стабилизатора  $k_p$ , такого, чтобы запас устойчивости и быстродействие, доставляемые замкнутой системе стабилизации стабилизатором (1), достигали максимального значения.

**Основная часть.** Математическая модель возмущенного движения танковой пушки как стабилизируемого объекта приведена в работе [2] и имеет следующий вид:

$$I_n \frac{d^2\varphi(t)}{dt^2} = -k_m \Delta p(t);$$

$$T_{k1}^2 \frac{d^2\Delta p(t)}{dt^2} + T_{k2} \frac{d\Delta p(t)}{dt} + \Delta p(t) = \frac{k_e k_y k_d}{c} U(t), \tag{2}$$

где  $\Delta p = p_1(t) - p_2(t)$  – разность давления рабочей жидкости полостях исполнительного гидроцилиндра;  $I_n$  – момент инерции танковой пушки относительно оси цапф;  $T_{k1}, T_{k2}$  – постоянные времени якоря электромагнита управления гидросистемой;  $c$  – коэффициент жесткости фиксирующей пружины, удерживающий якорь электромагнита в нейтральном положении;  $k_m, k_e, k_y, k_d$  – коэффициенты пропорциональности.

Подставляя в правую часть второго уравнения (2) соотношение (1), получаем математическую модель замкнутой системы стабилизации танковой пушки.

Пусть численные значения параметров системы стабилизации составляют:  $I_n = 736.9 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2$ ,  $T_{k1} = 10^{-2} \text{ с}$ ;  $T_{k2} = 0,5 \cdot 10^{-2} \text{ с}$ ;  $c = 100 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ;  $k_c = 0.2 \text{ с}^2$ ;  $k_m = 0.6 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{Па}^{-1}$ ;  $k_d = 1,228 \cdot 10^7 \text{ Па}$ ;  $k_e = 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{А}^{-1}$ ;  $k_y = 10^{-2} \text{ Ом}$ ;  $k_{\varphi} = 42.9 \text{ В}$ ;  $k_{\dot{\varphi}} = 11.42 \text{ В} \cdot \text{с}^{-1}$ .

Положим в (1)  $k_p = 0$  и получим решение системы дифференциальных уравнений (1), (2) при начальных условиях  $\varphi(0) = 0.5$ ;  $\dot{\varphi}(0) = 0$ ;  $\Delta p(0) = 0$ ;  $\dot{\Delta p}(0) = 0$ . Процессы в замкнутой системе приведены на рисунке 1 на интервале времени  $(0 \div 5) \text{ с}$ .

Будем изменять величину коэффициента усиления  $k_p$  в окрестности её нулевого значения. На рисунках 2, 3 и 4 приведены процессы в замкнутой системе при  $k_p = -1 \cdot 10^{-6} \text{ В} \cdot \text{Па}^{-1}$ ,  $k_p = -2 \cdot 10^{-6} \text{ В} \cdot \text{Па}^{-1}$ ,  $k_p = -5 \cdot 10^{-6} \text{ В} \cdot \text{Па}^{-1}$  соответственно. Сравнение этих процессов позволяет сделать следующие выводы.

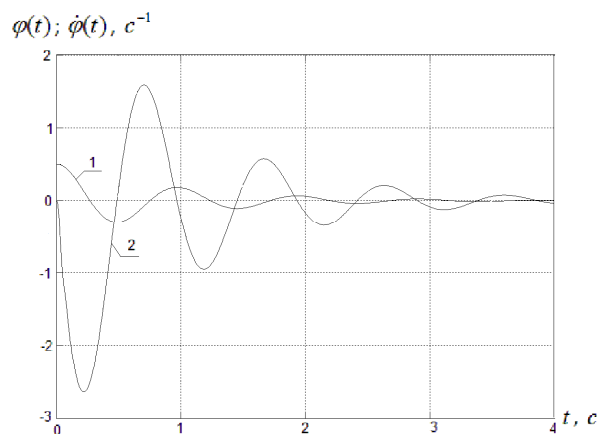


Рисунок 1 – Процессы в штатной замкнутой системе стабилизации: 1 –  $\varphi(t)$ ; 2 –  $\dot{\varphi}(t)$

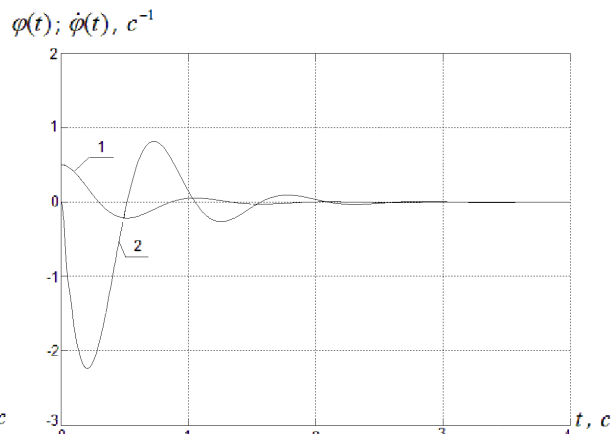


Рисунок 2 – Процессы в инвариантной системе стабилизации при  $k_p = -1 \cdot 10^{-6} \text{ В} \cdot \text{Па}^{-1}$ :

1 –  $\varphi(t)$ ; 2 –  $\dot{\varphi}(t)$

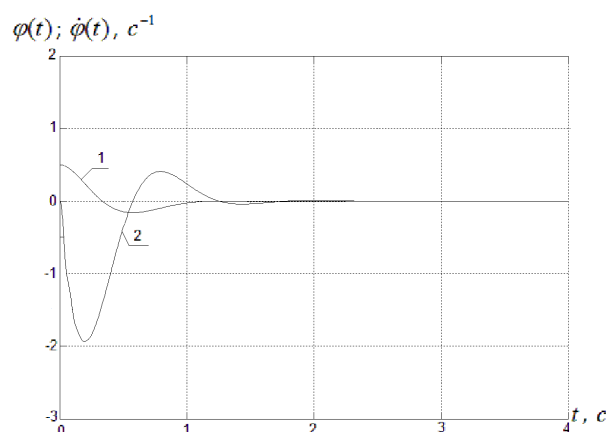


Рисунок 3 – Процессы в инвариантной системе стабилизации при  $k_p = -2 \cdot 10^{-6} \text{ В} \cdot \text{Па}^{-1}$ :

1 –  $\varphi(t)$ ; 2 –  $\dot{\varphi}(t)$

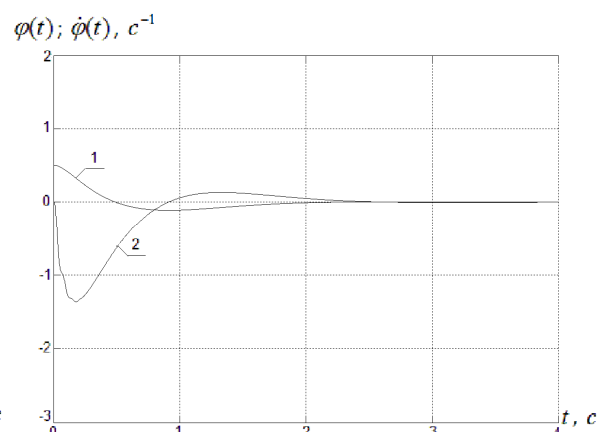


Рисунок 4 – Процессы в инвариантной системе стабилизации при  $k_p = -5 \cdot 10^{-6} \text{ В} \cdot \text{Па}^{-1}$ :

1 –  $\varphi(t)$ ; 2 –  $\dot{\varphi}(t)$

Будем изменять величину коэффициента усиления  $k_p$  в окрестности её нулевого значения. На рисунках 2, 3 и 4 приведены процессы в замкнутой системе при  $k_p = -1 \cdot 10^{-6} \text{ В} \cdot \text{Па}^{-1}$ ,  $k_p = -2 \cdot 10^{-6} \text{ В} \cdot \text{Па}^{-1}$ ,  $k_p = -5 \cdot 10^{-6} \text{ В} \cdot \text{Па}^{-1}$  соответственно. Сравнение этих процессов позволяет сделать следующие выводы.

Выводы:

1. Введение в закон управления (1) составляющей, пропорциональной разности давлений рабочей жидкости в полостях гидроцилиндра приводит к повышению качества процессов стабилизации, а именно, к повышению запаса устойчивости быстрдействию системы стабилизации.

2. Увеличение коэффициента усиления  $k_p$  до величины  $k_p = -2 \cdot 10^{-6} \text{ В} \cdot \text{Па}^{-1}$  позволяет уменьшить величину перерегулирования по углу от 0,3 рад штатном стабилизаторе до 0,15 рад при инвариантном стабилизаторе и по угловой скорости от 2,7 рад·с<sup>-1</sup> до 1,9 рад·с<sup>-1</sup> соответственно.

3. Время переходного процесса для штатного стабилизатора составляет 4 с, а для инвариантного стабилизатора при  $k_p = -2 \cdot 10^{-6} \text{ В} \cdot \text{Па}^{-1}$  составляет 1,5 с, что свидетельствует о повышении быстродействия в 2,5 раза.

4. Дальнейшее возрастание коэффициента  $k_p$  от  $-2 \cdot 10^{-6} \text{ В} \cdot \text{Па}^{-1}$  приводит к незначительному повышению запаса устойчивости системы стабилизации при существенном ухудшении быстродействия; так, при  $k_p = -5 \cdot 10^{-6} \text{ В} \cdot \text{Па}^{-1}$  перерегулирование по углу составляет 0,12 рад, по угловой скорости  $1,4 \text{ рад} \cdot \text{с}^{-1}$ , но время затухания переходных процессов возрастает до 2,5 с.

### Литература

1. Александрова Т.Е., Александрова И.Е., Лазаренко А.А. Инвариантный стабилизатор танковой пушки// Интегровані технології та енергозбереження. – 2012. – №2. – С. 18–20.
2. Александров Е.Е., Александрова И.Е., Костяник И.В. Выбор коэффициентов усиления электронного блока танковой системы наведения и стабилизации// Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – 2006. – Вип. 2(8). С. 55–57.

### Bibliography (transliterated)

1. Aleksandrova T.E., Aleksandrova I.E., Lazarenko A.A. Invariantnyj stabilizator tankovoj pushki Integrovani tehnologii ta energozberezhennja. – 2012. – #2. – p. 18–20.
2. Aleksandrov E.E., Aleksandrova I.E., Kostjanik I.V. Vybora koeficientov usilenija jelektronnogo bloka tankovoj sistemy navedenija i stabilizacii Zbirnik naukovih prac' Harkivs'kogo universitetu Povitranjih Sil. – 2006. – Vip. 2(8). p. 55–57.

УДК 519.81: 681.51

Александрова Т.Є., Лазаренко А.О.

### ПАРАМЕТРИЧНИЙ СИНТЕЗ ІНВАРІАНТНОГО СТАБІЛІЗАТОРА ТАНКОВОЇ ГАРМАТИ

Розглянута задача вибору значення коефіцієнту підсилення по тиску інваріантного стабілізатора танкової гармати, який забезпечує підвищення запасу стійкості і швидкої дії замкненої системи стабілізації.

Alexandrova T., Lazarenko A.

### PARAMETRIC SYNTHESIS INVARIANT STABILIZER TANK GUN

The problem is selected the gain on the pressure invariant stabilizer tank gun, which provides increased stability margin and rapid stabilization of the closed-loop system.