

## ЦИФРОВОЕ РОБАСТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДИСКРЕТНО – КONTИНУАЛЬНЫМ ОБЪЕКТОМ

**Введение.** Вероятность попаданий при стрельбе с ходу из танковой пушки без стабилизатора не превышает 0,07. Применение систем наведения и стабилизации танкового вооружения позволяет повысить вероятность поражения цели при стрельбе с ходу в 7 – 10 раз, поэтому проблема повышения точности стабилизаторов танкового вооружения являются актуальными.

**Анализ последних достижений и публикаций.** В работах профессора Е.Е. Александра [1] рассмотрены вопросы параметрического синтеза систем стабилизации танкового вооружения с учетом упругости ствола при непрерывном и дискретном управлении. Однако в этих системах используется классическая структура регуляторов с жесткими обратными связями по сигналам с гироскопических датчиков углов и угловых скоростей пушки в канале вертикального наведения и башни в канале горизонтального наведения, что ограничивает возможности получения высокой точности работы системы.

**Цель работы.** Целью данной работы является повышение точности работы системы стабилизации танкового вооружения за счет применения робастного регулятора. Задачей статьи является синтез и исследование динамических характеристик робастной системы стабилизации танкового вооружения с учетом упругости ствола.

**Изложение материала исследования.** Рассмотрим математическую модель объекта управления системы стабилизации танкового вооружения, следуя работе [1]. Помимо вращения относительно оси цапф оно совершает упругие колебания. Обозначим через  $\gamma(t)$  угол поворота жесткого тела в инерциальной системе координат,  $y(x,t)$  - отклонение точек стержня от недеформированного состояния. Управление осуществляется с помощью стабилизирующего момента  $M_{c0}(t)$ , приложенного к основному жесткому телу. Возмущающий момент  $M_{в0}(t)$  действует относительно оси поворота жесткого модуля, а по длине упругого элемента действует распределенная сила  $F_0(x,t)$ .

Синтезу систем стабилизации танкового вооружения посвящено большое количество работ [1], в которых также рассмотрены вопросы идентификации внешних возмущающих воздействий, вызванных случайными изменениями профиля дороги и колебаниями корпуса поддрессоренной части танка. В частности, в канале вертикального наведения на танковую пушку действуют два вида внешних возмущений: – продольно – угловые перемещения корпуса танка, обусловленные рельефом местности и продольно – угловые колебания поддрессоренной части танка относительно неподдрессоренной. Эти возмущения через трение в осях цапф вызывают возмущающие моменты, действующие на орудие.

Исполнительный орган вертикального наведения представляет собой последовательно соединенные беспоршневой электрогидравлический усилитель и исполнительный гидроцилиндр. Уравнение динамики исполнительного органа запишем в следующем виде:

$$T_y^2 \ddot{M}_{c0}(t) + 2\xi_y T_y \dot{M}_{c0}(t) + M_{c0}(t) = K_y u(t),$$

где  $T_y$ ,  $\xi_y$ ,  $K_y$  - соответственно постоянная времени, коэффициент демпфирования и коэффициент усиления электрогидравлического исполнительного механизма в канале вертикального наведения.

Для построения астатического робастного регулятора [2] введем интегратор с переменной состояния  $Z(t)$ , на вход которого подадим разность между заданным значением угла направления на цель  $\varphi_3(t)$  и фактическим значением угла направления орудия  $\varphi(t)$ , так что уравнение состояния интегратора примет следующий вид:

$$\dot{z}(t) = \varphi_3(t) - \varphi(t).$$

Рассмотрим задачу робастной оптимизации системы стабилизации танкового вооружения в канале вертикального наведения. Введем следующие компоненты вектора состояния: угол  $\phi(t)$  отклонения между осью канала ствола и направлением на цель и его производную  $\dot{\phi}(t)$ , значение функции  $T_0(t)$  в представлении функции  $y(x,t)$ , характеризующей отклонение точек оси канала ствола от его недеформируемого состояния, а также производную этой функции  $\dot{T}_0(t)$ , момент стабилизации  $M_{c0}(t)$  орудия с помощью исполнительного гидроцилиндра и его производную  $\dot{M}_{c0}(t)$ , момент возмущения  $M_{в0}(t)$ , обусловленный угловой скоростью перемещения корпуса танка в вертикальной плоскости, и его производную  $\dot{M}_{в0}(t)$ , силу возмущения  $f_0(t)$ , связанную с ускорением корпуса танка относительно его вертикальной оси, и ее производную  $\dot{f}_0(t)$ , а также переменную

состояния интегратора  $z(t)$  для реализации астатического регулятора. При этом вектор состояния примет следующий вид:

$$\bar{X}(t) = \left\{ \begin{array}{l} \phi(t), \dot{\phi}(t), T_0(t), \dot{T}_0(t), M_{co}(t), \dot{M}_{co}(t), \\ M_{bo}(t), \dot{M}_{bo}(t), f_0(t), \dot{f}_0(t), z(t) \end{array} \right\}.$$

**Метод решения.** Построим робастный астатический регулятор для этого объекта управления. Представим эту систему дифференциальных уравнений в стандартной форме, принятой в теории  $H^\infty$  [2].

В вектор контролируемых параметров  $\bar{z}(t)$  включим угол  $\phi(t)$  и скорость изменения угла  $\dot{\phi}(t)$  отклонения направления оси ствола от направления на цель, отклонение  $T_0(t)$  и скорость отклонения  $\dot{T}_0(t)$  оси ствола от недеформируемого состояния, выходное напряжение интегратора  $z(t)$  и управляющее напряжение  $u(t)$  электрогидравлического усилителя.

В вектор измеряемых переменных включим выходные напряжения гироскопических датчиков угла  $\phi(t)$  и угловой скорости  $\dot{\phi}(t)$ , а также выходное напряжение интегратора измеренная с помехами  $f_i(t)$  так, что

$$\phi_u = \phi + f_\phi, \quad \dot{\phi}_u = \dot{\phi} + \dot{f}_\phi, \quad z_u = z + f_z.$$

В вектор внешних возмущений  $\bar{w}(t)$  включим заданное значение углового положения цели  $\phi_3$ , входной сигнал  $v_x$  формирующего фильтра продольно – угловых перемещений корпуса танка, вызванных рельефом местности, а также продольно – угловых колебаний подрессоренной части танка относительно неподдресоренной, входной сигнал  $v_f$  формирующего фильтра ускорения корпуса танка относительно его вертикальной оси, приложенного к распределенным массам ствола и вызывающего упругие колебания, помехи  $f_\phi$ ,  $\dot{f}_\phi$  измерения углов  $\phi_u$  угловых скоростей  $\dot{\phi}$  отклонения направления ствола от направления на цель, а также помехи измерения  $f_z$  выходного напряжения интегратора  $z$ .

**Результаты моделирования.** В качестве примера на рис. 1 показан переходный процесс угла  $\phi(t)$  отклонения между осью канала ствола и направлением на цель при отработке системой заданного рассогласования  $\Delta\phi = 0,1$  между направлением орудия и направлением на цель.

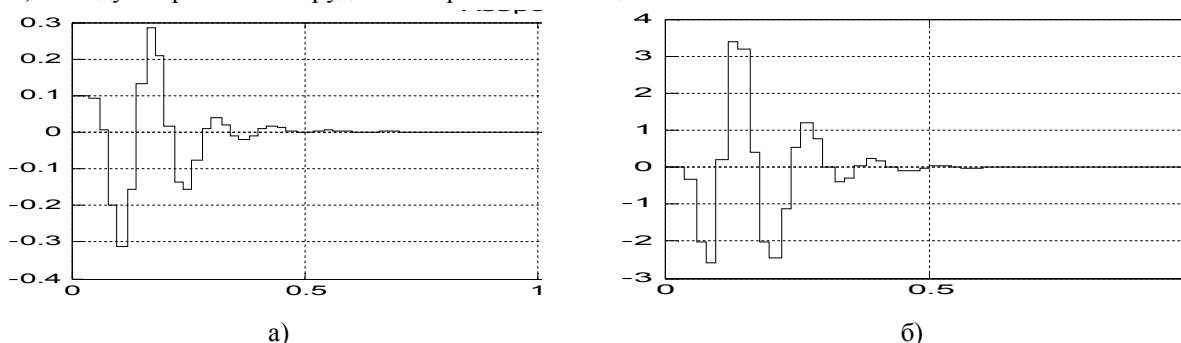


Рис. 1 Переходный процесс угла отклонения а) и его скорости б) при отработке цифровой робастной системой рассогласования  $\Delta\phi = 0,1$

**Выводы.** Таким образом, с помощью робастных регуляторов удалось получить приемлемые показатели качества для стабилизатора танкового вооружения как дискретно-континуального объекта управления с учетом упругих колебаний ствола орудия.

#### Литература

1. Александров Е.Е., Богаенко И.Н., Кузнецов Б.И. Параметрический синтез систем стабилизации танкового вооружения. – К.: Техніка, 1997. – 112 с.
2. Никитина Т.Б. Синтез приближенно – оптимальных нелинейных систем цифрового управления технологическими процессами с аналитическими нелинейностями. //Автоматизация виробничих процесів. Київ. – 2003. - №2(17). – С.62

**Kuznetsov B.I., Nikitina T.B., Kuznetsova L.G.,  
Kolomiets V.V., Vasilets T.E., Varfolomeev A.A.,  
Kobilyanskij B.B.**

## **DIGITAL ROBUST CONTROL FOR DISCRETE – CONTINUAL PLANT**

The method of digital robust control synthesis by the tank gun control system with elastic elements is developed. The example of dynamic characteristics for such system is given.