

*А. С. МАЗМАНИШВИЛИ*, д-р физ.-мат. наук, проф. СГУ, Сумы;  
*Т. Е. АЛЕКСАНДРОВА*, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПИ»

## ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ СТАБИЛИЗАТОРА ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРЫ

Предлагается решение задачи выбора параметров стабилизатора переменной структуры для танковой пушки, обеспечивающих работу стабилизатора в скользящем режиме, что приводит к повышению точности стабилизации оси канала ствола относительно направления на цель.

**Ключевые слова:** стабилизатор танковой пушки, система с переменной структурой, скользящий режим, аддитивный функционал.

### Введение

Современные стабилизаторы основного вооружения танка реализуют линейный закон стабилизации и представляют собой ПД-регуляторы, использующие информацию об угле рассогласования оси канала ствола танковой пушки относительно направления на цель  $\varphi(t)$  и угловой скорости поворота танковой пушки относительно оси цапф  $\dot{\varphi}(t)$ . Закон стабилизации при этом имеет следующий вид

$$u(t) = k_{\varphi}\varphi(t) + k_c k_{\dot{\varphi}}\dot{\varphi}(t). \quad (1)$$

При движении танка по пересеченной местности его поддрессоренная часть совершает вертикальные, продольно-угловые и поперечно-угловые колебания. Наличие «сухого» и жидкостного трения в оси цапф танковой пушки приводит к тому, что такие колебания вызывают возмущающий момент  $M_{\epsilon}(t)$ , приложенный к пушке и приводящий к уходу оси канала ствола относительно направления на цель. В сложных дорожных условиях этот момент может принимать большие значения, причем линейный стабилизатор (1) не может обеспечить эффективную стабилизацию оси канала ствола относительно заданного направления.

В работе [1] показано, что эффективную стабилизацию оси канала ствола танковой пушки относительно направления на цель в условиях непрерывно действующих случайных внешних возмущений может обеспечить стабилизатор переменной структуры, в котором коэффициенты усиления  $k_{\varphi}$  и  $k_{\dot{\varphi}}$  определяются соотношениями

$$k_{\varphi} = k_{\varphi}^* \text{sign}\{\varphi(t)S(t)\}, \quad (2)$$

$$k_{\dot{\varphi}} = k_{\dot{\varphi}}^* \text{sign}\{\dot{\varphi}(t)S(t)\}, \quad (3)$$

где  $S(t)$  – так называемая поверхность скольжения, описываемая соотношением

$$S(t) = \dot{\varphi}(t) + \lambda\varphi(t). \quad (4)$$

© А.С. Мазманишвили, Т. Е. Александрова, 2013

В этой же работе приведена математическая модель возмущенного движения объекта стабилизации, записываемая в виде

$$\begin{aligned} J_{\dot{\varphi}} \ddot{\varphi}(t) &= -k_{\dot{\varphi}} k_{\ddot{\varphi}} \beta(t) + M_{\dot{\varphi}}(t); \\ T_{K1}^2 \ddot{\beta}(t) + T_{K2} \dot{\beta}(t) + \beta(t) &= \frac{1}{c} k_e k_y, \end{aligned} \quad (5)$$

и приведены переходные процессы в замкнутой системе (1)-(5) в предположении, что  $M_{\dot{\varphi}}(t) = 0$ . Анализ этих процессов показывает, что использование принципов систем с переменной структурой (СПС) позволяет значительно повысить запас устойчивости и быстродействие замкнутой системы стабилизации, а, следовательно, её точность. Вместе с тем, в работе [1] не дано никаких рекомендаций по выбору параметров стабилизатора переменной структуры – коэффициентов усиления  $k_{\varphi}^*$  и  $k_{\dot{\varphi}}^*$ , а также величины  $\lambda$ , определяющей поверхность скольжения.

### Цель работы

Целью настоящей работы является разработка методики параметрического синтеза стабилизатора переменной структуры в условиях постоянно-действующих внешних возмущений. Иными словами, необходимо разработать методику выбора варьируемых параметров системы  $k_{\varphi}^*$ ,  $k_{\dot{\varphi}}^*$  и  $\lambda$  таких, чтобы стабилизатор (1)-(4) доставлял замкнутой системе (1)-(5) необходимую точность стабилизации, оцениваемую значением интегрального функционала

$$J(k_{\varphi}^*, k_{\dot{\varphi}}^*, \lambda) = M_{(j)} \left\{ \int_0^T [\beta_1^2 \varphi^2(t) + \beta_2^2 \dot{\varphi}^2(t)] dt \right\}, \quad (6)$$

вычисленного на решениях замкнутой системы (1)-(5). В соотношении (6) приняты обозначения:  $M_{(j)}$ , ( $j = \overline{1, N}$ ) – символ математического ожидания по  $N$  реализациям случайной функции  $M_{\varphi_j}(t)$ ;  $\beta_1$  и  $\beta_2$  – весовые коэффициенты, подлежащие выбору.

### Результаты исследования

Для решения сформулированной проблемы требуется решить ряд последовательных задач:

- формирование случайной функции  $M_{\dot{\varphi}}(t)$ , входящей в правую часть первого уравнения системы (5);
- отыскание весовых коэффициентов  $\beta_1$  и  $\beta_2$  аддитивного функционала (6);
- минимизация аддитивного функционала (6) по параметрам  $k_{\varphi}^*$ ,  $k_{\dot{\varphi}}^*$  и  $\lambda$ .

В работах [2, 3] рассмотрена задача формирования нормального марковского поля  $H(x, y)$ , представляющего собой случайную поверхность движения объектов бронетанковой техники. Случайная реализация поля  $h(x, y)$  описывается с помощью уравнения Ланжевена

$$\left( \frac{\partial^2}{\partial x^2} + 2\beta_x \frac{\partial}{\partial x} + \Omega_x^2 \right) \left( \frac{\partial^2}{\partial y^2} + 2\beta_y \frac{\partial}{\partial y} + \Omega_y^2 \right) h(x, y) = \sigma u(x, y), \quad (7)$$

где  $u(x, y)$  – случайный двумерный гауссовский «белый» шум единичной интенсивности,  $\sigma$  – интенсивность порождающего поля.

Если свойства поля в направлениях осей  $x$  и  $y$  одинаковы, то  $\beta_x = \beta_y = \beta$  и  $\Omega_x = \Omega_y = \Omega$ . Значения параметров уравнения Ланжевена (7) для различных типов поверхностей движения приведены в таблице 1.

Таблица 1. Константы уравнения Ланжевена для различных типов грунтов

Тип поверхности движения	$\beta, \text{м}^{-1}$	$\Omega, \text{м}^{-1}$	$\sigma, \text{м}$
Асфальтобетон	0.191	0.444	0.012
Мостовая	0.265	0.669	0.024
Грунтовая дорога	0.337	1.065	0.105

В работе [4] приведена математическая модель возмущенного движения подрессоренной части корпуса танка по случайной поверхности  $H(x, y)$ , позволяющая получить случайные функции времени  $z_k(t)$ ,  $\dot{z}_k(t)$ ,  $\varphi_k(t)$ ,  $\dot{\varphi}_k(t)$ ,  $\vartheta_k(t)$ ,  $\dot{\vartheta}_k(t)$ , представляющие собой соответственно вертикальное перемещение и скорость перемещения подрессоренной части корпуса, продольно-угловое перемещение и угловую скорость и поперечно-угловое перемещение и угловую скорость перемещения подрессоренной части корпуса танка.

В работе [5] показано, что случайное внешнее возмущение  $M_g(t)$ , действующее на танковую пушку, определяется следующим соотношением

$$M_a(t) = m_c \text{sign}[\dot{\varphi}_e(t) \cos \alpha(t) + \dot{\vartheta}_e(t) \sin \alpha(t)] + \mu[\dot{\varphi}_e(t) \cos \alpha(t) + \dot{\vartheta}_e(t) \sin \alpha(t)], \quad (8)$$

где  $m_c$  – коэффициент «сухого» трения в оси цапф,  $\alpha(t)$  – угол поворота башни с пушкой относительно продольной оси подрессоренной части корпуса танка.

Каждой  $j$ -ой реализации двумерного «белого» шума  $u_j(x, y)$ , ( $j = \overline{1, N}$ ), соответствует реализация случайной функции  $M_{gj}(t)$ , ( $j = \overline{1, N}$ ).

Методика выбора весовых коэффициентов аддитивного функционала (6) изложена в работе [6]. В соответствии с этой методикой коэффициенты  $\beta_1$  и  $\beta_2$  вычисляются с помощью соотношений

$$\beta_1 = \frac{\varphi_{\max}}{J_1^* \left( \frac{\varphi_{\max}^2}{J_1^*} + \frac{\dot{\varphi}_{\max}^2}{J_2^*} \right)}, \quad \beta_2 = \frac{\dot{\varphi}_{\max}}{J_2^* \left( \frac{\varphi_{\max}^2}{J_1^*} + \frac{\dot{\varphi}_{\max}^2}{J_2^*} \right)}, \quad (9)$$

где  $\varphi_{\max}$  и  $\dot{\varphi}_{\max}$  – максимально возможное значение угла рассогласования  $\varphi(t)$  и угловой скорости  $\dot{\varphi}(t)$ ,  $J_1^*$  и  $J_2^*$  – минимальные значения частных функционалов

$$J_1^*(k_\varphi^*, k_{\dot{\varphi}}^*, \lambda) = \mathbf{M}_{(j)} \left\{ \int_0^T \varphi^2(t) dt \right\}, \quad J_2^*(k_\varphi^*, k_{\dot{\varphi}}^*, \lambda) = \mathbf{M}_{(j)} \left\{ \int_0^T \dot{\varphi}^2(t) dt \right\}, \quad (10)$$

полученные при минимизации каждого из функционалов (10) в отдельности.

Пусть значения параметров замкнутой системы стабилизации (1)-(5) составляют:  $J_H = 736,9H \cdot m \cdot c^2$ ;  $k_M = 0,6 \cdot 10^{-3} H \cdot m \cdot Pa^{-1}$ ;  $k_D = 1,238 \cdot 10^7 Pa$ ;  $T_{K1} = 10^{-2} c$ ;  $T_{K2} = 0,5 \cdot 10^{-2} c$ ;  $c = 100H \cdot m$ ;  $k_e = 10^3 A^{-1} \cdot H \cdot m$ ;  $k_y = 10^{-2} Om^{-1}$ ;  $k_c = 0,2c$ ;  $m_c = 10H \cdot m$ ;  $\mu = 20H \cdot m \cdot c$ .

Зададимся  $j$ -ой реализацией двумерного единичного «белого» шума  $u_j(x, y)$ , ( $j = \overline{1, N}$ ), а также параметрами движения танка – скоростью движения  $V(t)$  и угловой скоростью поворота корпуса  $\psi(t)$ . На основе численного решения уравнения (6) получаем  $j$ -ую реализацию случайного внешнего возмущения  $M_{\phi j}(t)$ , ( $j = \overline{1, N}$ ). К системе дифференциальных уравнений (5) четвертого порядка добавляем еще два дифференциальных уравнения

$$\begin{aligned} \dot{J}_1(t) &= \varphi^2(t) & \dot{J}_2(t) &= \dot{\varphi}^2(t) \\ & , & & . \end{aligned} \quad (11)$$

Тогда  $J_{1j} = J_1(T)$ ,  $J_{2j} = J_2(T)$ , ( $j = \overline{1, N}$ ) и

$$J_1^*(k_\varphi^*, k_{\dot{\varphi}}^*, \lambda) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N J_{1j}, \quad J_2^*(k_\varphi^*, k_{\dot{\varphi}}^*, \lambda) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N J_{2j}. \quad (12)$$

Минимизируя частные функционалы (11) по  $k_\varphi^*$ ,  $k_{\dot{\varphi}}^*$  и  $\lambda$  с помощью процедуры *minimize* вычислительной среды *MathCAD*, получаем минимальные значения функционалов (12) соответственно  $J_1^*$  и  $J_2^*$ . Полагая  $\varphi_{\max} = 0,5$  и  $\dot{\varphi}_{\max} = 3c^{-1}$ , получаем значения весовых коэффициентов, приведенных в таблице 2 для различных поверхностей движения.

Таблица 2. Значения весовых коэффициентов функционала (5)

Тип поверхности движения	$J_1^*$	$J_2^*$	$\beta_1$	$\beta_2$
Асфальтобетон	0,194	0,154	0,330	0,835
Мостовая	0,194	0,256	0,492	0,752
Грунтовая дорога	0,195	0,345	0,615	0,693

Минимизация аддитивного функционала (6) при полученных значениях весовых коэффициентов осуществляется аналогично минимизации частных функционалов (11). Оптимальные значения параметров стабилизатора переменной структуры для различных поверхностей движения приведены в таблице 3.

Таблица 3. Оптимальные значения параметров стабилизатора

Тип поверхности движения	$k_\varphi^*$	$k_{\dot{\varphi}}^*$	$\lambda$	$J^*$
Асфальтобетон	231,58	-35,92	5,540	0,209
Мостовая	198,17	-39,85	5,540	0,226
Грунтовая дорога	152,18	-36,08	5,540	0,240

На рис. приведены процессы в замкнутой системе стабилизации переменной структуры для различных поверхностей движения танка.

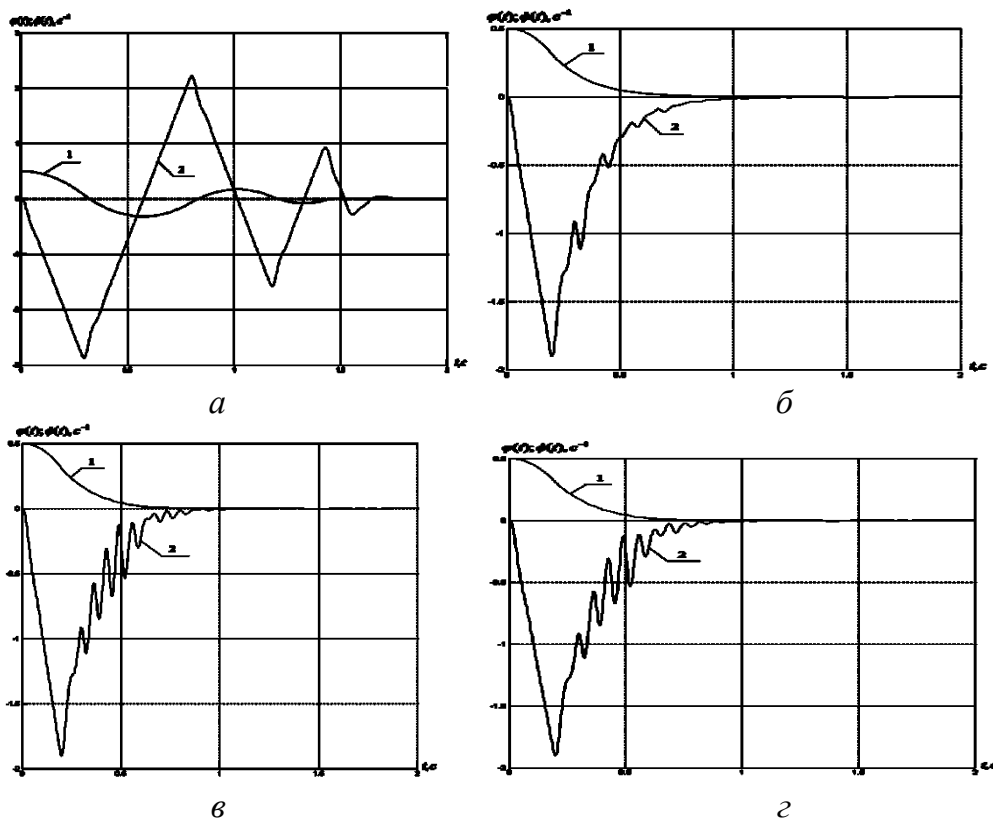


Рис. – Процессы в замкнутой системе стабилизации:  
 а – штатный стабилизатор, асфальтобетон; б – СПС, асфальтобетон;  
 в – СПС, мостовая; г – СПС, грунтовая дорога (1 -  $\varphi(t)$ ; 2 -  $\dot{\varphi}(t)$ )

## Выводы

Анализ приведенных процессов позволяет сделать следующие выводы:

1. Процессы приведения оси канала ствола танковой пушки к направлению на цель характеризуются высоким запасом устойчивости и быстродействием, значительно превышающие аналогичные показатели для серийных стабилизаторов.
2. Процессы наведения практически не зависят от типа поверхности движения, что подтверждает выводы работы [7] об инвариантности замкнутых систем с переменной структурой к действию внешних возмущений.

**Список литературы:** 1. Александров Е.Е., Александрова И.Е., Костяник И.В. Танковая система наведения и стабилизации с переменной структурой // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2006. – № 2. С.71-74. 2. Мазманишвили А.С., Александрова Т.Е. Стохастическое моделирование случайных поверхностей движения объектов бронетанковой техники // Системи обробки інформації. – 2012. – № 2(100). – С.63-66. 3. Мазманишвили А.С., Александрова Т.Е. Построение случайных поверхностей движения объектов бронетанковой техники // Системи озброєння і військова техніка. – 2012. – № 1. – С.48-52. 4. Мазманишвили А.С., Александрова Т.Е. К вопросу о моделировании колебаний подрессоренной части объектов бронетанковой техники при криволинейном движении по случайной поверхности // Доповіді П'ятої Всеукраїнської науково-технічної конференції. – Львів: Академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, – 2012. – С.71-74. 5. Александрова Т.Е., Александрова И.Е., Беляев С.Н. Имитационное моделирование внешних возмущений, действующих на танковую пушку // Механіка та машинобудування. – 2011. – №1. С.43-50. 6. Александров Е.Е., Александрова Т.Е. Выбор оптимизируемого функционала в задачах параметрического синтеза систем

стабилизации // Артиллерийское и стрелковое вооружение. – 2004. – №2(11). – С.23-26. 7. Александров, Е.Е., Александрова Т.Е., Никонов О.Я. Параметрический синтез системы с переменной структурой для наведения и стабилизации танковой пушки // Артиллерийское и стрелковое вооружение. – 2008. – №1. – С.49-53.

Надійшла до редколегії 25.02.2013

УДК 519.81:681.51

**Параметрический синтез стабилизатора переменной структуры / А. С. Мазманишвили, Т. Е. Александрова // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х. : НТУ «ХПІ», – 2013. - № 18 (991). – С. 93-98. – Бібліогр.: 7 назв.**

Пропонується рішення задачі вибору параметрів стабілізатора змінної структури для танкової гармати, які забезпечують роботу стабілізатора в ковзному режимі, що призводить до підвищення точності стабілізації вісі каналу стволу відносно напрямку на ціль.

**Ключові слова:** стабілізатор танкової гармати, система зі змінною структурою, ковзний режим, адитивний функціонал.

Offer a solution to the problem of choosing the parameters of variable structure stabilizer for a tank gun, catering to the stabilizer in the sliding mode, which increases the accuracy of stabilization of the axis of the barrel relative to the direction of the target.

**Keywords:** stabilizer tank gun, a system with variable structure, sliding mode, additive functional.

УДК 543.421:621.38

**А. В. ВОВНА**, канд. техн. наук, доц. ГВУЗ «ДонНТУ», Донецьк;

**А. А. ЗОРИ**, д-р техн. наук, проф. ГВУЗ «ДонНТУ», Донецьк;

**В. Д. КОРЕНЕВ**, канд. техн. наук, доц. ГВУЗ «ДонНТУ», Донецьк

## **СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ И ТОЧНОСТИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ МЕТАНА**

Предложен способ повышения чувствительности и точности оптического измерителя концентрации метана, который основан на линеаризации его характеристики преобразования с умножением на ее обратную функцию программными методами цифровой обработки результатов измерений, что позволило повысить чувствительность и точность измерителя в 4 раза в диапазоне высоких концентраций метана от 30 до 100<sup>об.%</sup>.

**Ключевые слова:** измеритель, метан, способ, линеаризация, чувствительность, точность.

### **Актуальность**

Для контроля состава рудничной атмосферы шахт одно из наиболее важных мест занимают измерители концентрации метана. Среди известных методов его контроля, наиболее широкое применение получил термokatалитический метод [1]. Исследования [1, 2] в данной области существенно улучшили метрологические характеристики измерителей. Однако проведенные исследования по влиянию высоких концентраций метана (более 60<sup>об.%</sup>) на работу термokatалитических датчиков после их длительной эксплуатации [2] показали, что происходит нарушение ра-

© О. В. Вовна, А. А. Зорі, В. Д. Коренєв, 2013