

Александров Е.Е., Александрова Т.Е., Пидашов В.В., Шматько И.А.

**ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВНЕШНИХ ВОЗМУЩЕНИЙ,
ДЕЙСТВУЮЩИХ НА УПРУГУЮ ТАНКОВУЮ ПУШКУ
В КАНАЛЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО НАВЕДЕНИЯ**

Постановка задачи. В статьях [1–3] предложена математическая модель возмущённого движения упругого ствола танковой пушки как объекта стабилизации в окрестности состояния установившегося равновесия:

$$\begin{aligned} I_o \ddot{\varphi}(t) - a \Delta \ddot{T}(t) &= -k_m k_\delta \alpha(t) + \mu \varphi_k(t); \\ a \ddot{\varphi}(t) + c \Delta \ddot{T}(t) + \zeta b \Delta \dot{T}(t) + b \Delta T(t) &= v \ddot{z}_k(t), \end{aligned} \quad (1)$$

где $v = m \frac{2l}{\pi}$.

При движении танка по пересечённой местности величины $\dot{\varphi}_k(t)$ и $\ddot{z}_k(t)$ являются случайными функциями времени.

В статье [4] приведены со ссылкой на работу [5] спектральные плотности случайных функций $\dot{\varphi}_k(t)$ и $\ddot{z}_k(t)$ и на основе их предложен алгоритм генерации функций $\dot{\varphi}_k(t)$ и $\ddot{z}_k(t)$. Недостатком такого подхода является то, что он не учитывает статистических свойств грунта, по которому движется танк, а в качестве спектральных плотностей $S_{\dot{\varphi}}(\omega)$ и $S_{\ddot{z}}(\omega)$ выбираются некоторые усреднённые кривые.

В настоящей работе алгоритм генерации случайных функций $\dot{\varphi}_k(t)$ и $\ddot{z}_k(t)$ предложен с учетом скорости движения танка по различным грунтам, что позволяет создать адаптированную к внешним условиям движения систему наведения и стабилизации танковой пушки.

Решение задачи. В работе [6] приведены дифференциальные уравнения возмущенного движения подрессоренной части корпуса танка, которые записываются в виде:

$$\begin{aligned} \ddot{Z}_k(t) + \xi \cdot \dot{Z}_k(t) + a \cdot Z_k(t) + \mathcal{G} \cdot \dot{\varphi}_k(t) + b \cdot \varphi_k(t) &= A(t) + B(t); \\ \ddot{\varphi}_k(t) + \delta \cdot \dot{\varphi}_k(t) + K \cdot \varphi_k(t) + \gamma \cdot \dot{Z}_k(t) + d \cdot Z_k(t) &= C(t) + D(t), \end{aligned} \quad (2)$$

где правые части и коэффициенты уравнений (8) равны:

$$\begin{aligned} A(t) &= \frac{cg}{G} \sum_{i=1}^n h \left(t + \frac{l_i}{V(t)} \right); & B(t) &= \frac{\mu g}{G} \sum_{i=1}^{2n} \dot{h} \left(t + \frac{l_{ai}}{V(t)} \right); \\ C(t) &= \frac{c}{I_y} \sum_{i=1}^n l_i h \left(t + \frac{l_i}{V(t)} \right); & D(t) &= \frac{\mu}{I_y} \sum_{i=1}^{2n} l_{ai} \dot{h} \left(t + \frac{l_{ai}}{V(t)} \right); \\ \xi &= \frac{2n g \mu}{G}; & a &= \frac{2n g c}{G}; & v &= \frac{\mu g}{G} \sum_{i=1}^{2n} l_{ai}; & b &= \frac{cg}{G} \sum_{i=1}^{2n} l_i; \\ \delta &= \frac{\mu}{I_y} \sum_{i=1}^{2n} l_{ai}^2; & K &= \frac{c}{I_y} \sum_{i=1}^{2n} l_i^2; & \gamma &= \frac{\mu}{I_y} \sum_{i=1}^{2n} l_{ai}; & d &= \frac{c}{I_y} \sum_{i=1}^{2n} l_i, \end{aligned}$$

причем G_{II} – вес подрессоренной части корпуса танка; I_y – главный центральный момент инерции подрессоренной части корпуса танка относительно главной центральной поперечной оси; μ – средний коэффициент сопротивления амортизатора; c – коэффициент жёсткости подвески; l_{ai} – расстояния по горизонтали от центра тяжести подрессоренной части корпуса танка до места крепления i -го амортизатора; l_i – расстояние от центра тяжести подрессоренной части корпуса танка до места крепления i -го балансира; $h(t)$ – высота неровности под центром тяжести подрессоренной части корпуса; $V(t)$ – текущая скорость движения танка.

В работе [7] показано, что корреляционная функция случайной функции $h(t)$ имеет вид:

$$K(\tau) = D e^{-\alpha V \tau} \cos(\beta V \tau),$$

где D – дисперсия высот неровностей дороги; V – скорость движения танка; α, β – коэффициенты корреляции, определяемые свойствами грунта, численные значения которых приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения коэффициентов корреляции

Вид дороги	Асфальтобетон	Мостовая	Грунтовая
α	0,22	0,32	0,47
β	0,44	0,64	0,94

С помощью интеграла Фурье в работе [7] получено соотношение для спектральной плотности высот неровностей дороги:

$$S(\omega) = D \left[\frac{2\alpha V (\alpha^2 V^2 + \beta^2 V^2 + \omega^2)}{\omega^4 + 2\omega^2 V^2 (\alpha^2 - \beta^2) + V^4 (\alpha^2 + \beta^2)^2} \right]. \quad (3)$$

Известно, что спектральная плотность выходного сигнала динамического звена $S_y(\omega)$ с передаточной функцией $W(p)$ связана со спектральной плотностью входного сигнала $S_x(\omega)$ соотношением [8]:

$$S_y(\omega) = |W(j\omega)|^2 S_x(\omega). \quad (4)$$

Если предположить, что на вход динамического звена подан единичный "белый шум" $\zeta(t)$, то соотношение (4) преобразуется к виду:

$$S_y(\omega) = |W(j\omega)|^2. \quad (5)$$

Реализация случайной функции $h(t)$ может быть получена, если единичный "белый шум" $\zeta(t)$ подать на вход колебательного динамического звена с передаточной функцией:

$$W(p) = K_\xi \cdot (T_1^2 p^2 + T_2^2 p + 1)^{-1}, \quad (6)$$

причем коэффициент усиления K_ξ и постоянные времени T_1 и T_2 определяются соотношениями:

$$K = \sqrt{S(0)}; \quad T_1^4 = \frac{1}{\omega_p^4} \left[1 - \frac{S(0)}{S(\omega_p)} \right]; \quad T_2^2 = \frac{2}{\omega_p^2} \sqrt{1 - \frac{S(0)}{S(\omega_p)}} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{S(0)}{S(\omega_p)}} \right],$$

где ω_p – резонансная частота соответствующей кривой спектральной плотности.

Для разных типов грунтов и разных скоростей движения танка значения коэффициента усиления K_ξ и постоянных времени T_1 и T_2 приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Значения постоянных времени T_1^2 и T_2 и коэффициента усиления K_ξ

V; м·с ⁻¹	Тип грунта		
	асфальтобетон	мостовая	грунтовая
5	$K_\xi = 0,192;$ $T_1^2 = 0,162\text{с}^2; T_2 = 0,265\text{с}$	$K_\xi = 0,173;$ $T_1^2 = 0,077\text{с}^2; T_2 = 0,201\text{с}$	$K_\xi = 0,13;$ $T_1^2 = 0,034\text{с}^2; T_2 = 0,12\text{с}$
10	$K_\xi = 0,13;$ $T_1^2 = 0,043\text{с}^2; T_2 = 0,131\text{с}$	$K_\xi = 0,112;$ $T_1^2 = 0,02\text{с}^2; T_2 = 0,092\text{с}$	$K_\xi = 0,087;$ $T_1^2 = 0,009\text{с}^2; T_2 = 0,057\text{с}$
20	$K_\xi = 0,095;$ $T_1^2 = 0,011\text{с}^2; T_2 = 0,068\text{с}$	$K_\xi = 0,081;$ $T_1^2 = 0,005\text{с}^2; T_2 = 0,047\text{с}$	$K_\xi = 0,067;$ $T_1^2 = 0,002\text{с}^2; T_2 = 0,064\text{с}$

Из соотношения (5) запишем дифференциальное уравнение динамического звена, формирующего случайную функцию $h(t)$ при подаче на его вход единичного "белого шума" $\zeta(t)$:

$$T_1^2 \ddot{h}(t) + T_2 \dot{h}(t) + h(t) = K_\zeta \zeta(t). \quad (7)$$

Используя уравнения (1) и (7) для каждой реализации единичного "белого шума" $\zeta(t)$ получаем реализации случайных функций $\dot{\phi}_k(t)$ и $\dot{z}_k(t)$, входящие в правые части дифференциальных уравнений (1).

Пример. К уравнениям (1), (2) и (7) добавим уравнения стабилизатора танковой пушки [9]:

$$\begin{aligned} I_k \ddot{\beta}(t) + f \dot{\beta}(t) + c_n \alpha(t) &= K_e i_y(t); \\ L_y \left[\dot{i}_y(t) \right] + r_y i_y(t) &= U_\varphi(t); \\ \sigma(t) &= k_\varphi \varphi(t) + k_\phi \dot{\phi}(t); \\ U_\varphi(t) &= \begin{cases} \sigma(t), & \text{при } \sigma(t) \leq U_y^*; \\ U_\varphi^* \text{sign}(\sigma(t)), & \text{при } \sigma(t) > U_y^*, \end{cases} \end{aligned} \quad (8)$$

где $\beta(t)$ – угол поворота коромысла стабилизатора; $i_y(t)$ – ток в управляющей обмотке электромагнита электрогидравлического усилителя; $U_\varphi(t)$ – управляющий сигнал, формируемый электронным блоком управления; I_k – момент инерции коромысла; f – коэффициент жидкостного трения; c_n – коэффициент жёсткости фиксирующей пружины; r_y – омическое сопротивление обмотки якоря электромагнита; L_y – индуктивность обмотки якоря; k_φ и k_ϕ – коэффициенты усиления электронного блока.

Совместное решение дифференциальных уравнений (1), (2), (7) и (8) позволяет получить процессы стабилизации танковой пушки при различных реализациях функции $\zeta(t)$. Для одной из реализаций процессы приведены на рис. 1.

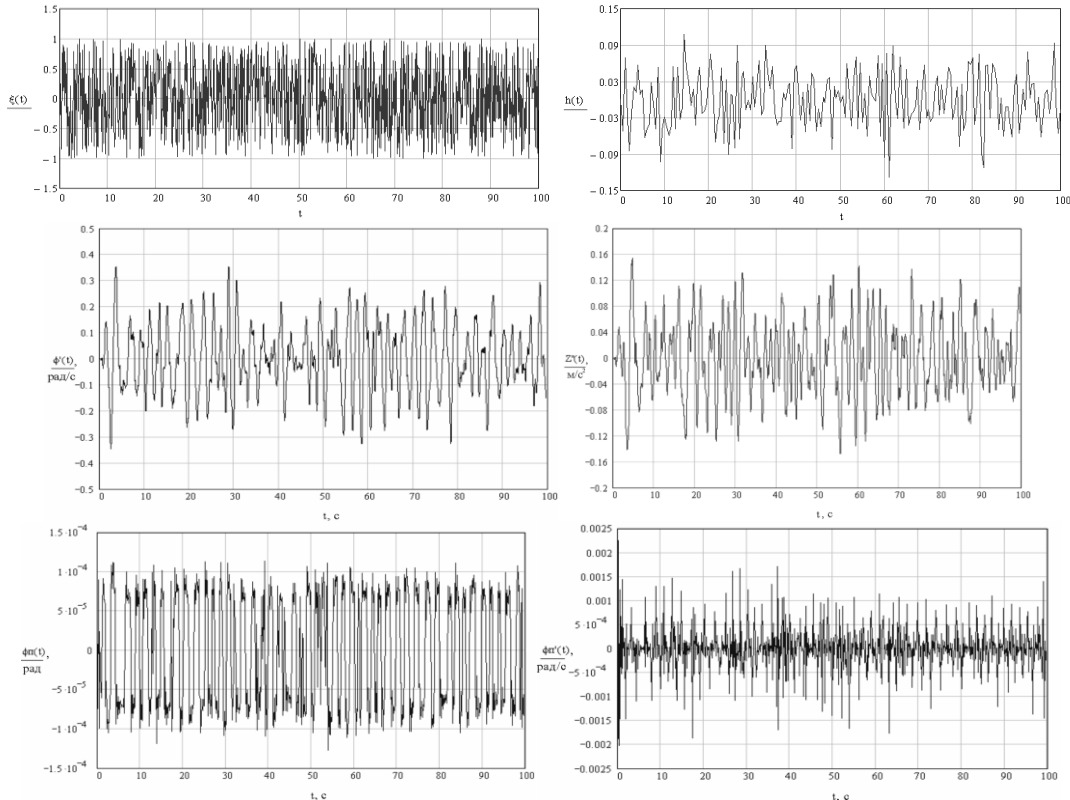


Рисунок 1 – Переходные процессы стабилизации танковой пушки для одной реализации функции $\zeta(t)$

Литература

1. Александров Е.Е. Танковая пушка с упругим стволом как объектом стабилизации / Е.Е. Александров, О.Я. Никонов, Б.А. Олиарник // Артиллерийское и стрелковое вооружение. – 2005. – № 2. – С. 44–47.
2. Александров Е.Е. О возмущениях, действующих на пушку, при движении танка по пересечённой местности / Е.Е. Александров, В.Н. Кюрчев // Механика та машинобудування. – 2002. – № 1. – С. 93–96.
3. Александров Е.Е. Построение области устойчивости замкнутой системы наведения и стабилизации танковой пушки в плоскости коэффициентов усиления электронного блока управления / Е.Е. Александров, О.Я. Никонов, Б.А. Олиарник // Артиллерийское и стрелковое вооружение. – 2004. – № 3. – С. 15–18.
4. Александров Е.Е. Имитационное моделирование внешних возмущений, действующих на упругий ствол танковой пушки / Е.Е. Александров, О.Я. Никонов, Б.А. Олиарник // Артиллерийское и стрелковое вооружение. – 2005. – № 3. – С. 29–32.
5. Александров Е.Е. Параметрический синтез систем стабилизации танкового вооружения / Александров Е.Е., Богаенко И.Н., Кузнецов Б.И. – Киев: Техніка, 1997. – 112 с.
6. Александров Е.Е. Параметрический синтез системы с переменной структурой для наведения и стабилизации танковой пушки / Е.Е. Александров, Т.Е. Александрова, О.Я. Никонов, В.В. Пидашов // Артиллерийское и стрелковое вооружение. – 2008. – № 1. – С. 49–53.
7. Туренко А.Н. Системотехника транспорта / Туренко А.Н., Говорущенко Н.Я. – Харьков: ХГАДТУ, 1998. – 255 с.
8. Вентцель Е.С. Теория вероятностей / Вентцель Е.С. – М.: Наука, 1964. – 576 с.
9. Александров Е.Е. Повышение точности наводки танковой пушки рациональным выбором параметров стабилизатора и ходовой части / Александров Е.Е., Пидашов В.В. // Артиллерийское и стрелковое вооружение. – 2006. – № 4. – С. 23–26.

УДК 621.3.078.001

Александров С.С., Александрова Т.С., Пидашов В.В., Шматько І.А.

**ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЗОВНІШНІХ ЗБУРЕНЬ,
ЩО ДІЮТЬ НА ПРУЖНУ ТАНКОВУ ГАРМАТУ В КАНАЛІ ВЕРТИКАЛЬНОГО НАВЕДЕННЯ**

В роботі пропонується алгоритм моделювання зовнішніх збурень, які діють на танкову гармату в каналі вертикального наведення під час руху танка по шляхам з різним покриттям та з різними швидкостями. Наведений приклад моделювання по одній реалізації "білого шуму".

Alexandrov E.E., Alexandrova T.E., Pidashov V.V., Shmatko I.A.

**IMITATION MODELING OF THE EXTERNAL INDIGNATIONS OPERATING ON THE ELASTIC
TANK GUN IN THE PORT OF VERTICAL PROMPTING**

In work the algorithm of modeling of external indignations which operate on a tank gun in the port of vertical prompting during tank movement on roads with a different covering and with different speeds is offered. The modeling example on one realization of "white noise" is resulted.