

ІНЖЕНЕРНІ НАУКИ

УДК 539.3

Т.Е. АЛЕКСАНДРОВА, А.А. ЛАЗАРЕНКО

Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт"

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНЕРЦИОННЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ,
ДЕЙСТВУЮЩИХ НА ТАНКОВУЮ ПУШКУ В НЕРАВНОМЕРНОМ
КРИВОЛИНЕЙНОМ ДВИЖЕНИИ ТАНКА**

Рассмотрена физическая картина и приведен анализ возмущений, действующих на основное вооружение танка в каналах горизонтального и вертикального наведения в условиях криволинейного неравномерного движения танка.

Ключевые слова: танковая пушка, инерционные внешние возмущения, неравномерное криволинейное движение.

Т.Є. АЛЕКСАНДРОВА, А.О. ЛАЗАРЕНКО

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"

**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ІНЕРЦІЙНИХ ЗБУРЕНЬ, ДІЮЧИХ НА ТАНКОВУ ГАРМАТУ
В НЕРІВНОМІРНОМУ КРИВОЛІНІЙНОМУ РУСІ ТАНКА**

Розглянута фізична картина і наведено аналіз збурень, діючих на основне озброєння танка в каналах горизонтального і вертикального наведення в умовах криволінійного нерівномірного руху танка.

Ключові слова: танкова гармата, інерційні зовнішні збурення, нерівномірний криволінійний рух.

T.Ye. ALEKSANDROVA, A.A. LAZARENKO

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"

**MATHEMATICAL MODELING OF INERTIAL PERTURBATIONS ACTING ON TANK GUN IN THE
IRREGULAR CURVILINEAR TANK MOTION**

The physical picture is considered and a perturbation analysis, acting on the main armament in the channels of horizontal and vertical guidance in a curvilinear irregular motion of the tank, is brought.

Keywords: tank gun, inertial external disturbances, irregular curvilinear motion.

Постановка проблеми

Непрерывное повышение мощности силовых двигательных установок отечественных и зарубежных танков и, как следствие, рост показателей их подвижности и маневренности, привел к значительному возрастанию внешних возмущений, действующих на основное вооружение и обусловленных силами инерции, возникающими при криволинейном неравномерном движении танка. К таким силам относятся центробежные силы в повороте танка и силы инерции при изменении скорости его движения – ускорении или замедлении.

Формулирование цели исследования

Целью настоящей статьи является разработка методики расчета инерционных внешних возмущений, действующих на танковую пушку при неравномерном криволинейном движении танка.

Изложение основного материала исследования

Рассмотрим танковую башню с пушкой, представленную на рис. 1, в горизонтальной проекции при различных положениях башни относительно корпуса танка. Рис. 1а соответствует случаю, когда собственные продольные оси инерции корпуса и башни по направлению совпадают, а рис. 1б соответствует случаю, когда собственная продольная ось инерции башни повернута относительно собственной продольной оси корпуса танка на угол $\psi_0 = \frac{\pi}{2}$. В первом случае поворот танка с текущим радиусом

$$R(t) = \frac{v(t)}{\dot{\psi}_k(t)}, \quad (1)$$

где $v(t)$ – текущая скорость движения центра масс; $\dot{\psi}_k(t)$ – угловая скорость поворота корпуса, вызывает появление центробежной силы $F_y(t)$, обусловленной центростремительным ускорением $a_y(t)$ и приложенной к центру масс o_c башни с пушкой. Эта сила определяется зависимостью

$$F_y(t) = -m_{\sigma} a_y(t) = -\frac{m_{\sigma} v^2(t)}{R(t)} = -m_{\sigma} v(t) \dot{\psi}_k(t), \quad (2)$$

где m_{σ} – масса башни с пушкой, и является причиной увода оси канала ствола танковой пушки от направления на цель в горизонтальной плоскости наведения.

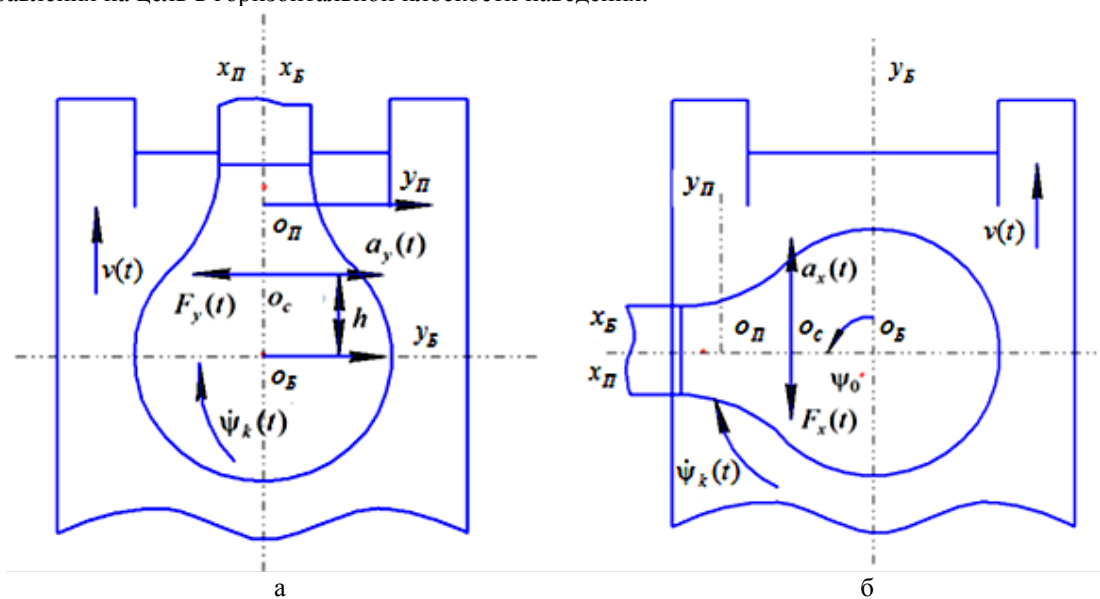


Рис. 1. К отысканию внешних воздействий на танковую башню.

Во втором случае, представленном на рис. 1б и соответствующем $\psi_0 = \frac{\pi}{2}$, центробежная сила $F_y(t)$ приложена вдоль продольной оси башни и не вызывает её поворота относительно оси поворота. Возмущающее воздействие на башню в этом случае оказывает инерциальная сила $F_x(t)$, обусловленная ускоренным (замедленным) движением корпуса танка, причем

$$F_x(t) = -m_{\sigma} a_x(t) = -m_{\sigma} \ddot{x}(t), \quad (3)$$

где $a_x(t)$ – линейное ускорение (замедление) движение корпуса танка; $x(t)$ – текущее линейное перемещение корпуса.

Очевидно, что при выполнении условия

$$0 \leq \psi_0(t) \leq \frac{\pi}{2}$$

суммарный возмущающий момент, действующий на танковую башню определяется соотношением

$$M_{\psi}(t) = h[F_y(t) \cos \psi_0(t) + F_x(t) \sin \psi_0(t)] = -m_t h[\vartheta(t) \dot{\psi}_k(t) \cos \psi_0(t) + \ddot{x}(t) \sin \psi_0(t)], \quad (4)$$

где h – плечо приложения возмущающего усилия, равное расстоянию между центром тяжести и центром поворота башни.

При $\psi_0 = 0$ соотношение (4) вырождается в формулу (2), а при $\psi_0 = \frac{\pi}{2}$ – в формулу (3).

Танковую пушку будем рассматривать в виде двухмассовой системы, схематически представленной на рис. 2.

Схема представляет собой массы m_c и m_k , связанными между собой жестким стержнем с шарниром в точке o_c , причем масса m_c равна массе ствола танковой пушки, а масса m_k равна массе казенной части танковой пушки, угол φ_0 представляет собой текущий угол возвышения пушки, расстояния l_c и l_k соответствуют расстояниям от оси цапф до центров тяжести ствола и казенной части соответственно.

Рассмотрим схему танковой пушки в вертикальной плоскости, проходящей через продольную собственную ось корпуса танка, соответствующую случаю $\psi_0(t) = 0$ и представленную на рис. 2а. Ускоренное (замедленное) движение танка с ускорением $\ddot{x}(t)$ приводит к появлению инерционных сил $F_{1x}(t)$ и $F_{2x}(t)$. Результирующие внешних сил, действующих на массы m_c и m_k , составляют

$$F_{1\varphi}(t) = F_{1x}(t) \sin \varphi_0(t) - G_c \cos \varphi_0(t); \quad (5)$$

$$F_{2\varphi}(t) = F_{2x}(t) \sin \varphi_0(t) - G_k \cos \varphi_0(t). \quad (6)$$

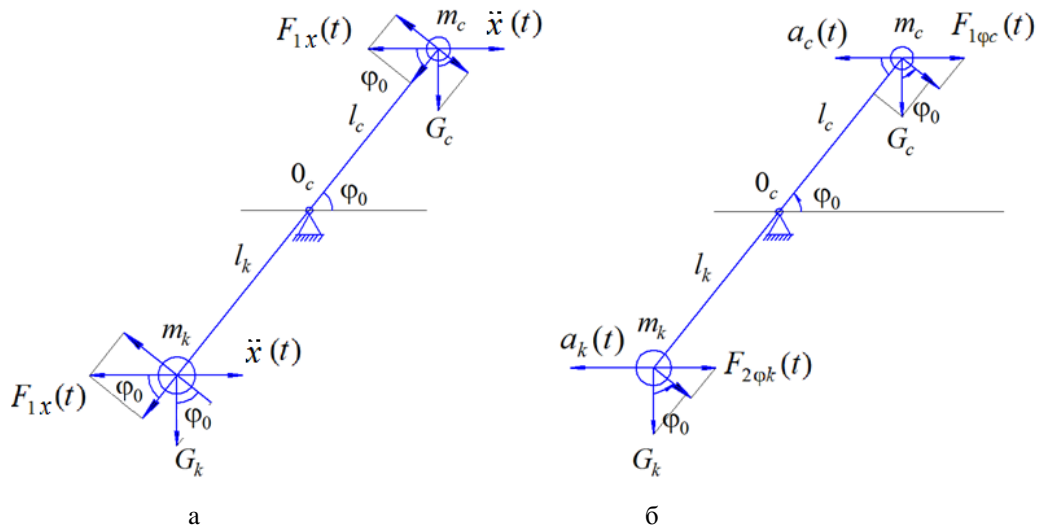


Рис. 2. К отысканию внешних воздействий на танковую пушку

Моменты внешних сил (5) и (6) направлены навстречу друг другу. Суммарный момент, действующий на пушку, определяется соотношением

$$\begin{aligned} M_{\varphi}(t) &= l_c F_{1\varphi}(t) - l_k F_{2\varphi}(t) = l_c [F_{1x}(t) \sin \varphi_0(t) - G_c \cos \varphi_0(t)] - \\ &- l_k [F_{2x}(t) \sin \varphi_0(t) - G_k \cos \varphi_0(t)] = -l_c m_c \ddot{x}(t) \sin \varphi_0(t) - l_c G_c \cos \varphi_0(t) + \\ &+ l_k m_k \ddot{x}(t) \sin \varphi_0(t) + l_k G_k \cos \varphi_0(t) = \ddot{x}(t) \sin \varphi_0(t) [l_k m_k - l_c m_c] + \\ &+ g \cos \varphi_0(t) [l_k m_k - l_c m_c]; \end{aligned} \quad (7)$$

Танковая пушка уравновешена относительно оси цапф. Условие равновесия можно записать в виде

$$G_c l_c = G_k l_k,$$

или

$$m_c l_c = m_k l_k. \quad (8)$$

С учетом уравнения (8) соотношение (7) записывается

$$M_{\varphi}(t) = 0. \quad (9)$$

Таким образом, ускоренное (замедленное) движение танка не нарушает равновесия танковой пушки и не создает возмущающих моментов, приводящих к изменению положения пушки относительно оси цапф.

Рассмотрим влияние на танковую пушку центробежных сил, возникающих при повороте танка с угловой скоростью $\psi_k(t)$. Обозначим линейные скорости точек m_c и m_k соответственно через v_c и v_k , а радиус поворота оси цапф обозначим через R . Тогда линейные скорости точек m_c и m_k составляют

$$v_c(t) = \dot{\psi}_k(t) [R + l_c \cos \varphi_0(t)]; \quad (10)$$

$$v_k(t) = \dot{\psi}_k(t) [R - l_k \cos \varphi_0(t)]. \quad (11)$$

Центробежные силы, действующие на массы m_c и m_k определяются соотношениями:

$$F_{1\varphi c}(t) = m_c \dot{\psi}_k^2(t) [R + l_c \cos \varphi_0(t)]; \quad (12)$$

$$F_{2\varphi k}(t) = m_k \dot{\psi}_k^2(t) [R + l_k \cos \varphi_0(t)]. \quad (13)$$

Суммарный момент от действия моментов, создаваемых центробежными силами (12) и (13), составляет

$$\begin{aligned} M_{\varphi}(t) &= l_k F_{2\varphi k}(t) \sin \psi_0(t) - l_c F_{1\varphi c}(t) \sin \psi_0(t) = -\dot{\psi}_k^2(t) \sin \psi_0(t) \times \\ &\times \{m_c [R + l_c \cos \varphi_0(t)] l_c \sin \varphi_0(t) - m_k [R - l_k \cos \varphi_0(t)] l_k \sin \varphi_0(t)\} = \\ &= -\dot{\psi}_k^2(t) \sin \psi_0(t) \{ (m_c l_c - m_k l_k) R \sin \varphi_0(t) + m_c l_c^2 \cos \varphi_0(t) \sin \varphi_0(t) + \\ &+ m_k l_k^2 \cos \varphi_0(t) \sin \varphi_0(t) \}. \end{aligned} \quad (14)$$

С учетом условия равновесия (8) соотношение (14) принимает окончательный вид

$$M_{\varphi}(t) = -\dot{\psi}_k^2(t) \sin \psi_0(t) (m_c l_c^2 + m_k l_k^2) \cos \varphi_0(t) \sin \varphi_0(t). \quad (15)$$

Таким образом, соотношения (4) и (15) определяют моменты инерционных внешних возмущений, действующих на танковую башню и танковую пушку при криволинейном неравномерном движении танка.

Масса танковой башни с пушкой m_{σ} в современных танках составляет около трети общей массы танка, в связи с чем инерционный момент (4) может достигать значительных величин. Для повышения точности стабилизации оси канала ствола танковой пушки в канале горизонтального наведения украинских танков Т-64, Т-80УД и Т-84 вместо традиционного ПД-стабилизатора используется инвариантный стабилизатор, содержащий помимо гироскопических датчиков угла и угловой скорости еще и датчики линейных ускорений башни относительно её поперечной оси [1].

Анализ соотношения (15) показывает, что при малых значениях углов $\psi_0(t)$ и $\varphi_0(t)$ величина возмущающего момента $M_{\varphi}(t)$ мала. Вместе с тем, при ведении танком боевых действий в гористой местности при значительных значениях углов $\psi_0(t)$ и $\varphi_0(t)$ момент (15) достигает высоких значений, что приводит к выводу о целесообразности использования инвариантного стабилизатора и в канале вертикального наведения танковой пушки [2].

Выводы

Внешние инерционные возмущения, действующие на танковую башню с пушкой в канале горизонтального наведения, определяются действием центробежных сил, возникающих при повороте танка, и действием инерционных сил при ускорении или замедлении движения танка, а также текущим значением угла поворота башни относительно корпуса.

Внешние инерционные возмущения, действующие на танковую пушку в канале вертикального наведения, не зависят от ускорения или замедления движения корпуса танка, а определяются угловой скоростью поворота корпуса и текущим значением угла поворота башни относительно корпуса и угла возвышения пушки.

Для повышения точности стабилизации оси канала ствола танковой пушки относительно направления на цель целесообразно использование вместо традиционного ПД-стабилизатора инвариантного стабилизатора, как в канале горизонтального, так и в канале вертикального наведения.

Список использованной литературы

1. Танк Т-64А. Техническое описание и инструкции по эксплуатации. – М.: МО СССР, 1973. – 332 с.
2. Пат. № 83903, Украина, МПК F41G 5/00. Стабілізатор танкової гармати / Т.Є. Александрова, А.О. Лазаренко. Заявник і патентоволодар Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут". – №U201300690; заявл. 21.01.2013; опубл. 10.10.2013. Бюл. №19. – 4 с.