

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ  
МЕХАНИЗМОВ ПЕРЕЗАРЯЖАНИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО  
СТРЕЛКОВОГО ОРУЖИЯ С ОТВОДОМ ПОРОХОВЫХ ГАЗОВ  
ИЗ КАНАЛА СТВОЛА**

С.И. Кудрявцев, Д.Н. Журавлёва

*Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д.Ф. Устинова,  
г. Санкт-Петербург*

В стрелково-пушечном вооружении широкое применение нашла схема автоматики с отводом пороховых газов из канала ствола для осуществления процессов перезаряжания. В настоящей статье рассматривается математическая модель функционирования выполненных по этой схеме механизмов автоматики, учитывающая взаимное влияние ведущего и ведомых звеньев автоматики, на примере 7,62-мм автомата Калашникова АК-47 [1]. Схема автомата АК-47 представлена на рис. 1.

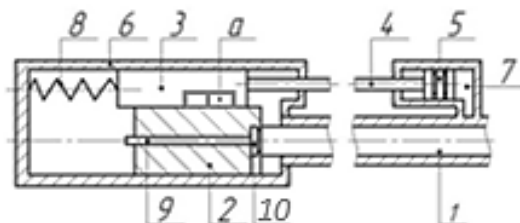


Рис. 10. Схема автомата АК-47 (при положении звеньев механизмов автоматики перед выстрелом):  
1 – ствол, 2 – затвор, 3 – затворная рама, 4 – шток, 5 – поршень газового двигателя, 6 – ствольная коробка, 7 – цилиндр газового двигателя, 8 – возвратная пружина затворной рамы, 9 – ударник, 10 – гильза патрона, а – ведущий выступ затвора

В основу математической модели функционирования автомата с использованием энергии пороховых газов, отводимых из ствола, положено дифференциальное уравнение (1) движения затворной рамы, являющейся основным – 1-м звеном механизмов автоматики [2]:

$$m_{\text{ПР}} \cdot \frac{d^2 X_1}{dt^2} + \left( \frac{dX_1}{dt} \right)^2 \cdot m_{\Sigma} = F_{\text{ПР}}, \quad (1)$$

где

$$m_{\text{ПР}} = m_1 + (1/3) \cdot m_{\text{П}} + \sum_{i=2}^n m_i \frac{v_i^2}{\eta_i} \xi_i + \sum_{s=1}^q I_s \frac{\aleph_s^2}{\eta_s} \xi_s;$$

$$F_{\text{ПР}} = F_1 + \sum_{i=2}^n F_i \cdot \frac{v_i}{\eta_i} \cdot \xi_i + \sum_{s=1}^q L_s \frac{\aleph_s}{\eta_s} \xi_s;$$

$$m_{\Sigma} = \sum_{i=2}^n m_i \frac{v_i}{\eta_i} \cdot \frac{dv_i}{dX_1} \cdot \xi_i + \sum_{s=1}^q I_s \frac{\aleph_s}{\eta_s} \cdot \frac{d\aleph_s}{dX_1} \xi_s,$$

где, в свою очередь,  $m_{\text{ПР}}$  – приведенная масса основного звена автоматики;  $X_1$  – текущая координата основного звена;  $m_1$  – масса основного звена;  $m_{\text{П}}$  – масса возвратной пружины основного звена;  $m_i$  – масса  $i$ -го звена с поступательным движением;  $I_s$  – момент инерции  $s$ -

го звена с вращательным движением;  $v_i = \frac{dX_i}{dX_1}$  – передаточное отношение для поступательно движущегося  $i$ -ого звена;  $X_i$  – текущая координата поступательно движущегося  $i$ -го звена;  $\aleph_s = \frac{d\varphi_s}{dX_1}$  – передаточное отношение для совершающего вращательное движение  $s$ -го звена;  $\varphi_s$  – текущая координата совершающего вращательное движение  $s$ -го звена;  $\eta_i$  – коэффициент полезного действия (КПД) связи;  $\xi_i, \xi_s$  – коэффициент включения/выключения  $i$ -го и  $s$ -го звена соответственно в работу автоматики;  $F_{ПП}$  – приведенная активная сила, действующая на основное звено;  $F_1$  – сумма проекций активных сил, действующих на основное звено, на направление его движения;  $F_i$  – сумма проекций активных сил, действующих на  $i$ -ое звено, на направление его движения;  $L_s$  – сумма моментов активных сил, действующих на  $s$ -е условное звено, относительно оси его вращения.

В уравнении (1) используются коэффициент передачи сил от  $i$ -го звена к основному  $\Psi_i = \frac{v_i}{\eta_i}$  и коэффициент передачи моментов сил от  $s$ -го звена к основному  $\Psi_s = \frac{\aleph_s}{\eta_s}$ .

В основу уравнения (1) положены следующие допущения: звенья механизмов автоматики – абсолютно твердые тела; зазоры и натяги в кинематических парах отсутствуют; контакт между деталями механизмов точечный.

В качестве математической модели функционирования газоотводного двигателя в отрасли найдла применение модель (руководящие технические материалы [РТМ В-3-71-70]), основанная на системе уравнений, основным из которых является уравнение скорости изменения внутренней энергии порохового газа в камере газового двигателя [2].

В рамках настоящей статьи рассматриваются схемы сил и моментов сил, действующих на звенья механизмов автоматики, и коэффициенты приведения сил и моментов сил ведомых звеньев автоматики для двух основных периодов движения затворной рамы – при открывании затвора.

### 1. Период открывания затвора, характеризующийся его вращательным движением

В уравнении (1) зависимости  $m_{ПП}$ ,  $F_{ПП}$ ,  $m_\Sigma$  в рассматриваемый период принимают вид:  $m_{ПП} = m_1 + (1/3) \cdot m_n + I_2 \cdot \frac{\aleph_2^2}{\eta_2}$ ,  $F_{ПП} = F_1 + L_2 \cdot \frac{\aleph_2}{\eta_2}$ ,  $m_\Sigma = I_2 \cdot \frac{\aleph_2}{\eta_2} \cdot \frac{d\aleph_2}{dX_1}$ ,

где  $m_1$  – масса затворной рамы;  $m_n$  – масса возвратной пружины;  $I_2$  – момент инерции 2-го условного звена – затвора, совершающего вращательное движение относительно своей оси;  $\aleph_2$  – передаточное отношение для 2-го условного звена;  $\eta_2$  – КПД связи 2-го условного звена;  $L_2$  – сумма моментов активных сил, действующих на 2-е условное звено относительно оси его вращения;  $F_1 = p_k \cdot S_{ц} - F_n$ , где  $p_k$  – давление пороховых газов на поршень газового двигателя;  $S_{ц}$  – площадь поршня газового двигателя;  $F_n$  – усилие возвратных пружин затворной рамы;  $L_2 = M_{mp}$ , где  $M_{mp}$  – момент трения, обусловленный натягом между фланцем гильзы и зеркалом затвора.

Коэффициент передачи силы от 2-го условного звена к основному – 1-ому звену определяется по зависимости



действующих на 3-е условное звено, относительно его оси вращения;  $F_1 = p_k \cdot S_{II} - F_{II}$ ;  $F_2 = F_r$ , где  $F_r$  – усилие извлечения гильзы из патронника;  $L_3 = F_r \cdot r_3$ , где  $r_3$  – расстояние от оси поршня до захвата-экстрактора поршня.

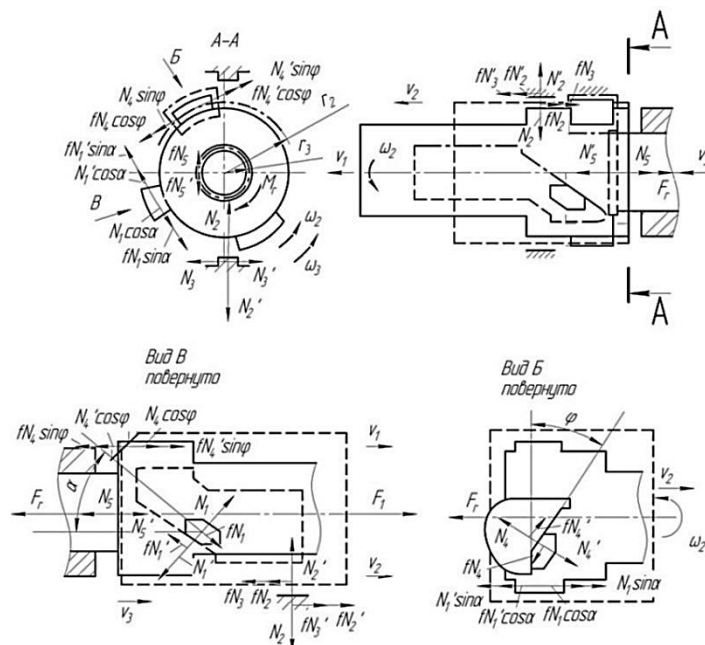


Рис. 3. Схема сил, действующих на звенья механизмов открывания затвора и строгивания гильзы

Коэффициент передачи силы от 2-го условного звена к основному звену и коэффициент передачи момента силы от 3-го условного звена к основному звену определяются по зависимостям:  $\Psi_2 = C^* \cdot D^*$  и  $\Psi_3 = D^*$ ; где  $C^* = \frac{\sin \theta - f \cdot \cos \theta}{\cos \theta - f \cdot \sin \theta}$ ;

$$D^* = \frac{(\cos \theta - f \cdot \sin \theta) \cdot \{ \sin \alpha \cdot (1 + f^2 \cdot \cos \beta - f \cdot \sin \beta) + \cos \alpha \cdot [f \cdot (1 + \cos \beta) + \sin \beta] \}}{r_2 \cdot (\sin \alpha + f \cdot \cos \alpha) \cdot (\sin \theta - f \cdot \cos \theta) + r_1 \cdot (\cos \alpha - f \cdot \sin \alpha)}$$

Передаточные отношения для 2-го и 3-его звеньев определяются по зависимостям:

$$v_2 = \frac{\sin \theta \cdot (\sin \alpha + \cos \alpha \cdot \sin \beta)}{r_2 \cdot \sin \alpha \cdot \sin \theta + r_1 \cdot \cos \alpha}; \quad \delta_3 = \frac{\cos \theta \cdot (\sin \alpha + \cos \alpha \cdot \sin \beta)}{r_2 \cdot \sin \alpha \cdot \sin \theta + r_1 \cdot \cos \alpha}$$

Разработанная математическая модель функционирования механизмов перезарядки автомата с газоотводной автоматикой и поршневым продольно-скользящим затвором, учитывающая взаимное влияние ведущего и ведомых звеньев, является основой для проведения параметрических исследований функционирования автоматики.

### Библиографический список

1. Наставление по стрелковому делу – 7,62-мм автомат Калашникова (АК). Изд. 3-е, испр. и доп. М.: Воениздат, 1967.
2. Проектирование спецмашин. Ч I. Проектирование стрелково-пушечного вооружения // Под ред. М.В. Грязева. Тула: Изд-во ТулГУ, 2008.