



У цій фазі можливий початок руху агрегату – або перекидання. У другій фазі відбувається квазістаціонарне обтікання агрегату ПУХ, її тривалість визначається часом фази стиснення. При цьому, результуюче навантаження на РПУ визначатиметься тиском за фронтом ПУХ  $\Delta P_{st}$ , що визначається як

$$\Delta P_{st} = 2.5 \cdot \Delta P_f^2 / (\Delta P_f + 7). \quad (2)$$

Таким чином, стійкість РПУ необхідно розглядати для двох послідовних фаз. При цьому значення кінематичних параметрів руху РПУ (кут повороту, кутова швидкість і прискорення) в кінці першої фази повинні розглядатися як початкові для другої фази.

Оцінка стійкості РПУ до перекидання протягом першої фази може бути визначена виходячи з таких міркувань. При взаємодії ПУХ з РПУ агрегат може почати перекидатися під дією моменту аеродинамічних сил. РПУ, перекидаючись набуває кінетичної енергії  $W_k$ . При перекиданні агрегату висота його центру тяжіння зростає, що приводить до збільшення потенційної енергії РПУ  $W_p$ . Зростання потенційної енергії відбувається за рахунок зменшення його кінетичної енергії. Після досягнення положення нестійкої рівноваги центр тяжіння агрегату підіймається на висоту  $\Delta$ , а приріст потенційної енергії складає:

$$W_p = G \cdot \Delta, \quad (3)$$

де  $G$  - сила ваги РПУ, Н.

Умова відсутності перекидання РПУ:

$$W_k \leq W_p. \quad (4)$$

Для визначення  $W_k$  скористаємося законом збереження імпульсу для обертового руху

$$\Delta P_{vid} \cdot F_x \cdot h_{ct} \cdot t_l = I_{in} \cdot \frac{d\phi}{dt}, \quad (5)$$

де  $\Delta P_{vid}$  – надмірний тиску відбитий ПУХ, Па;  $F$  – площа взаємодії РПУ з ПУХ, м<sup>2</sup>;  $h_{ct}$  – ордината центру тиску;  $t_l$  – час натікання ПУХ на РПУ;  $I_{in}$  – масовий момент інерції РПУ відносно ребра обертання, Н·м<sup>2</sup>;  $\frac{d\phi}{dt}$  – кутова швидкість перекидання РПУ, 1/с. З рівняння (5) знаходимо:

$$\frac{d\phi}{dt} = \frac{\Delta P_{vid} \cdot F \cdot h_{ct} \cdot t_l}{I_{in}}. \quad (6)$$

Кінетична енергія РПУ при обертовому русі:

$$W_k = I_{in} \cdot \left( \frac{d\phi}{dt} \right)^2 / 2. \quad (7)$$

Для оцінки стійкості РПУ в першій фазі необхідно порівняти надану агрегату кінетичну енергію з його потенційною енергією в положенні нестійкої рівноваги. Якщо кінетичної енергії не достатньо, то перекидання РПУ в першій фазі не відбудеться. Далі необхідно розглянути рух РПУ в другій фазі. Кутова швидкість обертання агрегату  $\frac{d\phi}{dt}$  в кінці першої фази є початковою для обертання РПУ в другій фазі.

Для оцінки стійкості РПУ в другій фазі розглянемо проміжне положення агрегату в процесі перекидання. Диференціальне рівняння обертання РПУ щодо ребра перекидання має вигляд:

$$I_{in} \cdot \frac{d^2\phi}{dt^2} + M_G + M_C = M_{\Delta P_{vid}}.$$

Момент сили ваги ребра перекидання:

$$M_G = G \cdot \left( \frac{b}{2} - h_G \cdot \phi \right), \quad (8)$$

де  $h_G$  – висота центру ваги.

Момент створюваний стаціонарною течією ПУХ ребра перекидання:

$$M_{\Delta P_{vid}} = P_{st} \cdot h_{ct}, \quad (9)$$

де  $C_x$  – коефіцієнт аеродинамічного опору;  $h_{ct}$  – висота центру тиску;

Момент створюваний вітровим кріпленням з пружністю  $C$  ребра перекидання:

$$M_C = C \cdot b^2 \cdot \phi, \quad (10)$$

де  $C$  – пружність вітровим кріпленням.

З (8 – 10) диференціальне рівняння обертання РПУ прийме вигляд

$$I_{in} \cdot \frac{d^2\phi}{dt^2} + \frac{G \cdot b}{2} - (G \cdot h_G \cdot \phi) + C \cdot b^2 \cdot \phi = P_{st} \cdot h_{ct}. \quad (11)$$

Позначимо:

$$bd = \left( C \cdot b^2 - G \cdot h_G \right) / I_{in}, \quad (12)$$

$$kd = \left( P_{st} \cdot h_{ct} - G \cdot b/2 \right) / I_{in}. \quad (13)$$

З (12 – 13) (11) прийме вигляд:

$$\frac{d^2\phi}{dt^2} + bd \cdot \phi = kd. \quad (14)$$

Вид рішення диференціального рівняння (14) залежить від знаку при коефіцієнті  $bd$ . Якщо коефіцієнт  $bd < 0$ , при  $C = 0$ , то в (14) перед  $bd$  міняється знак на протилежний і його рішення прийме вигляд

$$\phi(t) = C1 \cdot e^{\sqrt{bt} \cdot t} + C2 \cdot e^{-\sqrt{bd} \cdot t} + D. \quad (15)$$

З умови  $\phi = 0$  слідує, що

$$D = -\frac{kd}{bd}.$$

Постійні інтегрування диференціального рівняння знаходяться при  $t = 0$ :

$$\phi(t=0) \frac{d}{dt} \phi(t=0) = \frac{d}{dt} \phi_0.$$

Враховуючи короткочасність першої фази приймаємо  $\phi(0) = 0$ , знаходимо:

$$C1 = \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{kd}{bd} + \frac{d}{dt} \phi_0 / \sqrt{bd} \right);$$

$$C1 = \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{kd}{bd} - \frac{d}{dt} \phi_0 / \sqrt{bd} \right).$$

Рішення (14) приймуть вигляд

$$\varphi(t) = \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{kd}{bd} + \frac{d}{dt} f_0 / \sqrt{bd} \right) \cdot e^{\sqrt{bd} \cdot t} + \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{kd}{bd} - \frac{d}{dt} f_0 / \sqrt{bd} \right) \cdot e^{-\sqrt{bd} \cdot t} + \frac{-kd}{bd}; \quad (16)$$

$$\varphi(t) = \frac{\sqrt{bd}}{2} \cdot \left( \frac{kd}{bd} + \frac{d}{dt} f_0 / \sqrt{bd} \right) \cdot e^{\sqrt{bd} \cdot t} - \frac{\sqrt{bd}}{2} \cdot \left( \frac{kd}{bd} - \frac{d}{dt} f_0 / \sqrt{bd} \right) \cdot e^{-\sqrt{bd} \cdot t}. \quad (17)$$

Характер руху РПУ залежить від величини  $\frac{kd}{bd}$ .

При  $k < 0$  і  $\left| \frac{kd}{bd} \right| \geq \frac{d}{dt} f_0 / \sqrt{bd}$  значення  $\frac{d\varphi}{dt}$  зміню-

ватиметься з часом від  $\frac{d}{dt} f_0$  до  $\frac{d\varphi}{dt} < 0$ .

Значення  $\varphi(t)$  спочатку зростатиме, а потім зупиниться і стане зменшуватися до 0. У цей момент  $\frac{d\varphi}{dt}$  стрибком стає рівним  $\frac{d\varphi}{dt} = 0$ .

Якщо коефіцієнт  $kd > 0$ , то при  $t \rightarrow \infty$ ,  $\varphi(t)$  і  $\frac{d\varphi}{dt}$  також наближається до нескінченності.

В цьому випадку необхідно визначити чи достатньо запасеної до кінця другої фази кінетичної енергії для підйому центру тяжіння агрегату в положення нестійкої рівноваги.

Якщо коефіцієнт  $bd > 0$ , що має місце за наявності вітрового кріплення (С), то рішення рівняння (14) має вигляд:

$$\varphi(t) = C1 \cdot \cos(\sqrt{bd} \cdot t) + C2 \cdot \sin(\sqrt{bd} \cdot t) + D. \quad (18)$$

З умови  $\varphi = 0$  маємо  $D = \frac{kd}{bd}$ .

Постійні інтегрування з урахуванням початкових умов при  $\varphi(t=0) = 0$  і  $\frac{d}{dt} \varphi(t=0) = \frac{d}{dt} f_0$  знаходимо

$$C1 = \frac{-kd}{bd} \text{ і } C2 = \frac{d}{dt} f_0 / (bd).$$

Рішення рівняння (14) приймуть вигляд:

$$\varphi(t) = -\left( \frac{kd}{bd} \right) \cdot \cos(\sqrt{bd} \cdot t) + \left( \frac{d}{dt} f_0 / \sqrt{bd} \right) \cdot \sin(\sqrt{bd} \cdot t) + \frac{kd}{bd}; \quad (19)$$

$$\frac{d}{dt} \varphi = \left( \frac{kd}{bd} \right) \cdot \sin(\sqrt{bd} \cdot t) + \left( \frac{d}{dt} f_0 / \sqrt{bd} \right) \cdot \cos(\sqrt{bd} \cdot t). \quad (20)$$

При збільшенні жорсткості вітрового кріплення С рівняння  $\varphi(t) = 0$  і  $\frac{d\varphi}{dt} = 0$ .

Стійкість РПУ можна забезпечити установкою вітрового кріплення.

## Висновки

У статті викладена постановка задачі визначення динамічної стійкості пересувних пускових установок під час наземних вибухів фугасних бойових частин.

Отримані результати дозволяють:

- визначити динамічну стійкість РПУ під час наземних вибухів фугасних бойових частин;
- визначити радіуси ураження РПУ під час обстрілу їх фугасними боеприпасами різного калібру.

## Список літератури

1. Наземное оборудование ракет / Маликов В.Г. и др. – М.: МО СССР, 1971. – 304 с.
2. Короткий автомобильный справочник. – М.: Транспорт, 1982. – 332 с.
3. Конофеев Н.Т. Транспортировка ракет / Н.Т. Конофеев. – М.: МО СССР, 1978. – 150 с.
4. Попов Н.Н. Расчет конструкций на динамические и специальные нагрузки / Н.Н. Попов. – М.: Высшая шк., 1992. – 320 с.
5. Армейские автомобили / Н.Н. Запругаев и др. – М.: МО СССР, 1970. – 480 с.

Надійшла до редколегії 1.10.2015

Рецензент: канд. техн. наук доц. Ю.М. Агафонов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

## УСТОЙЧИВОСТЬ ПОДВИЖНЫХ ПУСКОВЫХ УСТАНОВОК ОТ ОПРОКИДЫВАНИЯ ВОЗДУШНОЙ УДАРНОЙ ВОЛНОЙ

В.Ф. Греков, С.В. Орлов, А.А. Пьянков

Статья содержит некоторые результаты исследований динамической стойкости подвижных пусковых установок при взаимодействии с воздушной ударной волной. Предлагаются аналитические методы определения динамической стойкости подвижных пусковых установок при воздействии с ударной волны от наземных взрывов фугасных боевых частей.

**Ключевые слова:** реактивные системы залпового огня, летательный аппарат, навигационная система.

## STABILITY MOBILE LAUNCHERS FROM TIPPING OVER AIR SHOCK WAVE

V.F. Grekov, S.V. Orlov, A.A. Pjankov

This article contains some results studies of dynamic stability of the mobile launchers in interaction with the air shock wave. The analytical methods for definition of dynamic stability of the mobile launchers when exposed a shock wave from the ground explosions of high explosive warheads are offered.

**Keywords:** multiple rocket launcher, aircraft navigation system.