

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ СТОЙКОСТЬ ТЕХНИКИ В АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

Грановский Э.А., к.т.н.; Толок Е. В.,

ООО Научный центр изучения рисков «РИЗИКОН»

Воробьев Ю.С., д.т.н., проф.; Чернобрышко М.В., к.т.н.

Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины

Рассмотрена математическая модель динамики полета осколка с учетом влияния подъемной силы и силы сопротивления при постоянном угле атаки и начальной скорости осколка ниже скорости звука в воздухе (около 340 м/с). Рассмотрен метод построения траектории полета осколка, определения дальности полета осколка и скорости осколка в конце траектории.

Введение

К основным аварийным ситуациям в сельскохозяйственной технике, а также химической и нефтехимической промышленности относятся ударно-волновое и осколочное поражение людей и промышленных объектов в результате взрывов газов, пыли, жидких, твердых взрывчатых веществ в оборудовании или на открытом пространстве. Примеры подобных аварий описаны в работах [0-2].

При взрывных явлениях в оборудовании возникает необходимость оценить поражающий эффект осколков, определяемый дальностью полета осколков и скоростью осколков в конце траектории.

Постановка задачи и построение модели

Рассматривается движение твердого тела (осколка) в вертикальной плоскости под действием силы тяжести и аэродинамических сил. Заданы координаты центра тяжести осколка в начальный момент времени, начальная скорость осколка, его масса и геометрические размеры, угол β наклона вектора начальной скорости осколка к оси X , угол атаки в (рисунке 1). Необходимо определить дальность полета осколка.

На рисунке 1 показаны силы, действующие на плоский осколок.

Уравнение в векторном виде движения осколка массы m , движущегося со скоростью \vec{W} в вертикальной плоскости xOy с учетом влияния подъемной силы \vec{F}_n , силы сопротивления \vec{F}_c и силы тяжести $m\vec{g}$ при постоянном угле атаки β и при условии, что скорость осколка меньше ско-

рости звука в воздухе имеет вид

$$m \frac{d\vec{W}}{dt} = \vec{F}_n + \vec{F}_c + m\vec{g}. \quad (1)$$

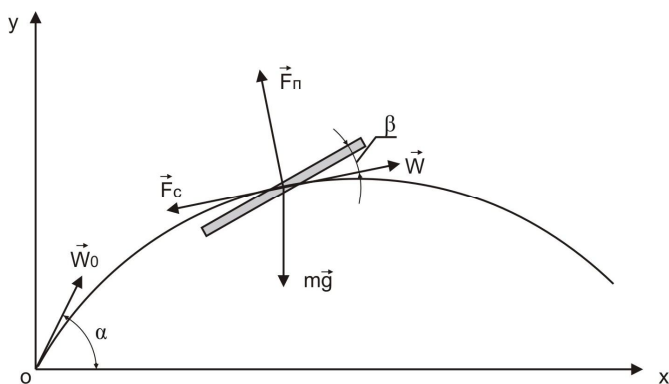


Рис. 1 - Силы, действующие на осколок в виде пластины

Величины подъемной силы и силы сопротивления движению определяются выражениями [2]

$$F_c = pW^2, \quad F_n = qW^2, \quad (2)$$

где $p = 0,5\rho_B(CD_1S_1 + CD_2S_2)$, $q = 0,5\rho_B(CL_1S_1 + CL_2S_2)$, ρ_B – плотность воздуха, S_1 – площадь несущей поверхности осколка, S_2 – площадь поперечного сечения осколка, CL_1, CL_2, CD_1, CD_2 – коэффициенты подъемной силы и силы сопротивления.

В декартовой системе координат, уравнения движения центра тяжести осколка имеют вид:

$$\begin{cases} m\ddot{x} = \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} (-p\dot{x} - q\dot{y}), \\ m\ddot{y} = \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} (q\dot{x} - p\dot{y}) - mg. \end{cases} \quad (3)$$

Начальными условиями для данной системы дифференциальных уравнений являются следующие соотношения:

$$x(0) = x_0, \quad y(0) = y_0, \quad x'(0) = W_0 \cos \alpha, \quad y'(0) = W_0 \sin \alpha, \quad (4)$$

где x_0, y_0 – координаты центра тяжести осколка в начальный момент времени, W_0 – начальная скорость осколка, α – угол наклона вектора начальной скорости осколка к оси Ox (рисунок 1).

Метод решения и численные примеры

Систему (3) с учетом начальных условий (4) можно решать численно с помощью аппроксимации производных конечными разностями. Ниже приведены примеры аппроксимации производных с помощью правых разностей [0].

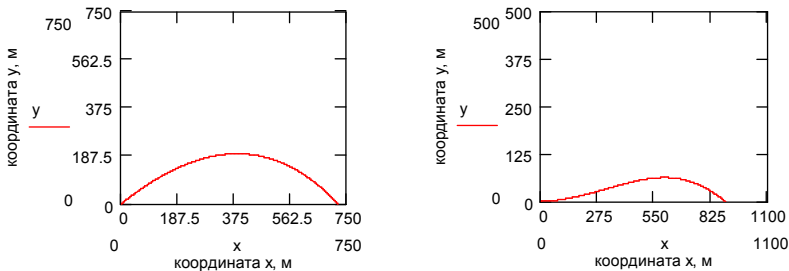
$$\begin{aligned} \dot{x}_n &= \frac{x_{n+1} - x_n}{\tau}, \quad \dot{y}_n = \frac{y_{n+1} - y_n}{\tau}, \\ \ddot{x}_n &= \frac{x_{n+2} - 2x_{n+1} + x_n}{\tau^2}, \quad \ddot{y}_n = \frac{y_{n+2} - 2y_{n+1} + y_n}{\tau^2}, \end{aligned} \quad (5)$$

где τ – шаг по времени.

Заменяя производные в системе (3) и начальных условиях (4) выражениями (5), получим следующую итерационную схему построения траектории полета осколка как значения x_{n+2} , при котором $y_{n+2} \leq 0$:

$$\begin{aligned} x_1 &= x_0 + \tau \cdot u_0, \quad y_1 = y_0 + \tau \cdot v_0, \\ x_{n+2} &= 2x_{n+1} - x_n + \frac{1}{m} \left[\sqrt{(x_{n+1} - x_n)^2 + (y_{n+1} - y_n)^2} \right] * \\ &\quad * (-p \cdot (x_{n+1} - x_n) - q \cdot (y_{n+1} - y_n)), \\ y_{n+2} &= 2y_{n+1} - y_n + \frac{1}{m} \left[\sqrt{(x_{n+1} - x_n)^2 + (y_{n+1} - y_n)^2} \right] * \\ &\quad * (q \cdot (x_{n+1} - x_n) - p \cdot (y_{n+1} - y_n)) - g\tau^2. \end{aligned} \quad (6)$$

Ниже на рисунке 2 приведены примеры построения траекторий полета осколков в виде квадратной пластины при различных сочетаниях угла вылета и угла атаки. Для каждой траектории приведены данные по дальности полета осколка L и скорости осколка в конце траектории W .



$\alpha=43^\circ, \beta=0^\circ; L=722 \text{ м}, W=73 \text{ м/с}$ $\alpha=1^\circ, \beta=5^\circ; L=893 \text{ м}, W=57 \text{ м/с}$

Рис. 2. Траектория полета осколка

Расчеты проводились при следующих фиксированных параметрах: сторона квадрата пластины 0,3 м, толщина пластины 0,01 м, плотность

материала пластины $\rho=7800 \text{ кг/м}^3$, координаты центра тяжести пластины в начальный момент времени $x_0 = 0 \text{ м}$, $y_0 = 0 \text{ м}$, начальная скорость пластины $W_0 = 100 \text{ м/с}$, плотность воздуха $\rho_B=1,293 \text{ кг/м}^3$, шаг по времени $\tau = 0,01 \text{ с}$. Начальные углы траектории α принимались 43° и 1° .

Дальность полета осколка при учете эффекта планирования может быть больше дальности полета осколка без учета эффекта планирования. При больших начальных углах траектории α дальность полета возрастает и скорость полета осколка в конце траектории с $\alpha=43^\circ$, $\beta=0^\circ$ меньше скорости полета осколка в конце траектории с $\alpha=1^\circ$, $\beta=5^\circ$. Поэтому вопрос о размерах зон поражения людей или объектов по кинетической энергии или импульсу не является однозначным.

Выводы

Данная работа представляет собой краткое изложение метода построения траектории полета осколка и определения дальности полета осколка при дозвуковом режиме полета, при фиксированных угле вылета осколка и угле атаки как для осколков плохобтекаемой формы, так и для осколков, подверженных сильному влиянию подъемной силы.

Данный метод построения траектории может позволить оценить поражающий эффект осколка при воздействии на сооружения и людей. Например, по массе осколка и его скорости можно оценить степень повреждения сооружения или степень травмирования человека.

Список использованных источников

1. М. В. Бесчастнов. Промышленные взрывы. Оценка и предупреждение. – М., Химия, 1991. – 432 с.
2. Бейкер У., Кокс П. Взрывные явления. Оценка и их последствия. – М.: Мир, 1986 – (Книга 1 – 319 с., Книга 2 – 384 с.).
3. Турчак Л. И. Основы численных методов. – М.: Наука, 1987.-320 с.

Анотація

АНАЛІЗ ЧИННИКІВ, ЩО ВИЗНАЧАЮТЬ СТІЙКІСТЬ ТЕХНІКІВ АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЯХ

**Грановський Е.О., Толлок Є. В., Воробйов Ю.С.,
Чернобривко М.В.**

Розглянута математична модель динаміки польоту осколків з врахуванням впливу підйімальної сили і сили опору при постійному углі атаки і початкової швидкості осколків нижче за швидкість звуку в

повітрі (близько 340 м/с). Надано метод побудови траєкторії польоту осколків, визначення дальності польоту осколків і швидкості осколків в кінці траєкторії.

Abstract

ANALYSIS OF FACTORS DETERMINING FIRMNESS OF TECHNIQUE IN EMERGENCY SITUATIONS

E. Granovskiy, E. Tolok, Yu. Vorobiov, M. Chernobryko

The mathematical model of dynamics of flight of fragment is considered taking into account influencing of lift force and drag force at permanent coal of attack and initial velocity of fragment below than speed of sound in mid air (about 340 m/s). The method of construction of trajectory of flight of fragment is considered. Distance of flight of fragment and speed of fragment is certain at the end of trajectory.