

The experimental installation is presented, allowing to model and investigate physical and chemical processes in atmospheric aqua aerosols at artificial chemical and physical influence on them

Key words: laboratory experimental installation, aqua aerosol, atmosphere parameters, artificial influence, an electromagnetic radiator

УДК 004.942:519.876

*Лыфарь В.А., канд. техн. наук, доц., СТИ ВУНУ,
Вамболь С.А., канд. техн. наук, зав. каф., НУГЗУ,
Угрюмов М.Л., д-р техн. наук, проф., НУГЗУ*

МЕТОД И МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОСКОЛКОВ ПРИ ВЗРЫВАХ

(представлено д-ром техн. наук Прохачем Э.Е.)

Представлен метод определения негативного влияния осколков при взрывах и расчетная модель, позволяющая вычислить вероятность возникновения эффекта «домино» для объектов повышенной опасности

Ключевые слова: модель, взрыв, осколки вероятность пробития

Постановка проблемы. При авариях на объектах повышенной опасности одно из самых опасных явлений - взрыв. Причем катастрофические последствия для крупных химических объектов могут наступать со сценарием по эффекту «домино». В этом случае относительно небольшой по масштабам взрыв или осколок, возникающий при механических поломках, могут быть причиной разлета осколков и пробития ими оборудования, в котором содержатся опасные вещества под давлением и в большом количестве. Дальнейшая разгерметизация может приводить к дальнейшим, значительно более опасным последствиям.

Анализ последних исследований и публикаций. Описание осколочного воздействия наиболее хорошо представлено в работах [1-2]. «Первичные осколки», образующиеся при разрывах оболочек сосудов высокого давления или внутренних взрывах в оборудовании, чаще всего имеют относительно большой размер и массу, но небольшую скорость (порядка нескольких сотен метров в секунду). Чаще всего они имеют плохо обтекаемую форму и в

большинстве случаев быстро возвращаются вокруг своей оси. Траектория полета в этом случае существенно изменяется под воздействием лобового сопротивления, имеющего различные показатели в зависимости от формы осколка. Чаще всего это куски труб, плоские фрагменты оболочек оборудования, крышки люков и т. д. Первичную скорость таких осколков можно ограничить звуковой. «Вторичные осколки» образуются, как правило, в результате воздействия ударной волны на элементы оборудования и конструкций. Обычно такие осколки имеют меньший размер, чем первичные, но, тем не менее, представляют опасность как для людей, так и для целостности оборудования. Следует отметить, что на сегодняшний день не существует методик учета таких эффектов, доведенных до практического использования.

Поэтому, актуальными с точки зрения практики являются постановка задачи и метод определения вероятности пробития стенок оборудования и возможности эффекта «домино» в результате воздействия образовавшихся при взрыве осколков с учетом вышеизложенных допущений.

Постановка задачи и ее решение. Рассматривается задача определения параметров воздействия осколков, образующихся при взрывах, на оборудование. Алгоритм решения этой задачи состоит в следующем.

1. Определяется возможный вид и характеристики осколка (на основании анализа типовой аварии для объекта исследования).

2. Выбираются конкретные единицы оборудования, для которых необходимо определить вероятность пробития металлических стенок. Для этих объектов должны быть известны место расположения и прочностные характеристики оболочек.

3. Для выбранного сценария осколка рассчитывается траектория, угол полета и скорость в месте соприкосновения осколка и объекта пробития.

4. Вычисляется вероятность попадания осколка в объект и вероятность пробития стенки объекта при полученных характеристиках.

Для оценки степени потенциальной опасности необходимо получить следующие параметры осколков: массу m , кг, траекторию полета $f(x, y)$, абсолютную скорость v , м/с в каждой точке полета. В качестве входных параметров выступают: начальная скорость осколка массой m – W_0 , м/с, начальный угол вылета по от-

ношению к горизонту α_0 , град, высота точки выброса над уровнем земли h , м, площадь сопротивления A_D , типовую форму осколка и его ориентацию по отношению к оси движения,

Определим силу лобового сопротивления

$$F_D = \frac{C_D \cdot \rho \cdot v^2 A_D}{2},$$

где ρ - плотность воздуха (1,2928 кг/м³); C_D - коэффициент сопротивления. Коэффициенты лобового сопротивления для различных тел представлены в [1].

Представим силы, действующие на тело в течение полета в проекциях на вертикальную и горизонтальную оси

$$ma_{xi} = -\frac{C_D \cdot \rho \cdot A_D \cdot v_i^2 \cdot \cos(\alpha_i)}{2}, \quad (1)$$

$$ma_{yi} = -\frac{C_D \cdot \rho \cdot A_D \cdot v_i^2 \cdot \sin(\alpha_i)}{2} - mg, \quad (2)$$

где v_i и α_i - мгновенные значения скорости и угла направления движения по отношению к горизонту соответственно.

Изменение координат во времени можно получить, решая систему обыкновенных дифференциальных уравнений

$$\ddot{x} = -\frac{C_D \cdot \rho \cdot A_D}{2 \cdot m} \cdot (\dot{x}^2 + \dot{y}^2) \cdot \cos(\alpha_i); \quad (3)$$

$$\ddot{y} = -\frac{C_D \cdot \rho \cdot A_D}{2 \cdot m} \cdot (\dot{x}^2 + \dot{y}^2) \cdot \sin(\alpha_i) - g. \quad (4)$$

Решение системы уравнений позволяет вычислить траекторию полета осколка, скорость и угол полета к горизонту в каждой точке пространства.

Осколок способен попасть в объект, если его траектория пересекается с геометрическим контуром объекта. Для упрощения системы пользования, объект представляется как параллелограмм, расположенный перпендикулярно у плоскости траектории.

Расстояние до места вылета осколка, ширина, высота и глубина объекта задаются в метрах.

Расстояние от точки вылета до объекта равно x_1 , глубина объекта равна $x_2 - x_1$, высота объекта – y_1 , угол сектора попадания по горизонтали – $\gamma = 2 \cdot \arctg\left(\frac{a}{2 \cdot x_1}\right)$, где a – ширина объекта; диапазон граничных углов вылета, при которых возможно попадание в объект, равен $\alpha_{\max}^d - \alpha_{\min}^d$.

Вероятность попадания в объект при заданных параметрах осколка (фиксированной массе, начальной скорости вылета и выбранной модели) определяется как произведение вероятностей реализации углов попадания по вертикали и горизонтали

$$P_d = \frac{2(\alpha_{\max}^d - \alpha_{\min}^d)}{\pi} \cdot \frac{\gamma}{2 \cdot \pi}, \quad (5)$$

значения углов представлены в радианах.

В [1] описан один из методов определения скорости осколка с заданными характеристиками, при которой вероятность пробития металлической стенки с известными характеристиками соответствует 0,5.

При известных следующих параметрах:

m - масса осколка, кг;

ρ_p - плотность материала осколка, кг/м³;

ρ_t - плотность материала стенки, кг/м³;

σ_t - предел текучести материала стенки, Па;

h - толщина стенки, м,

вычисление скорости пробития (вероятность 0,5) можно описать уравнением

$$V_{50} = \frac{3.5 \cdot h \cdot (\sigma_t \cdot \rho_t)^{1/2}}{\rho_p \cdot \left(\frac{3 \cdot m}{4 \cdot \pi \cdot \rho_p} \right)^{1/3}} \quad (6)$$

Для каждого случая попадания в объект, определяется скорость в точке попадания и сравнивается с V_{50} . В случае ее превышения, делается вывод о пробитии стенки данного объекта.

Пример определения траектории для шарового осколка, выполненный в среде Mathcad приводится на рис. 1. Пример определения граничной скорости пробития представлен на рис. 2.

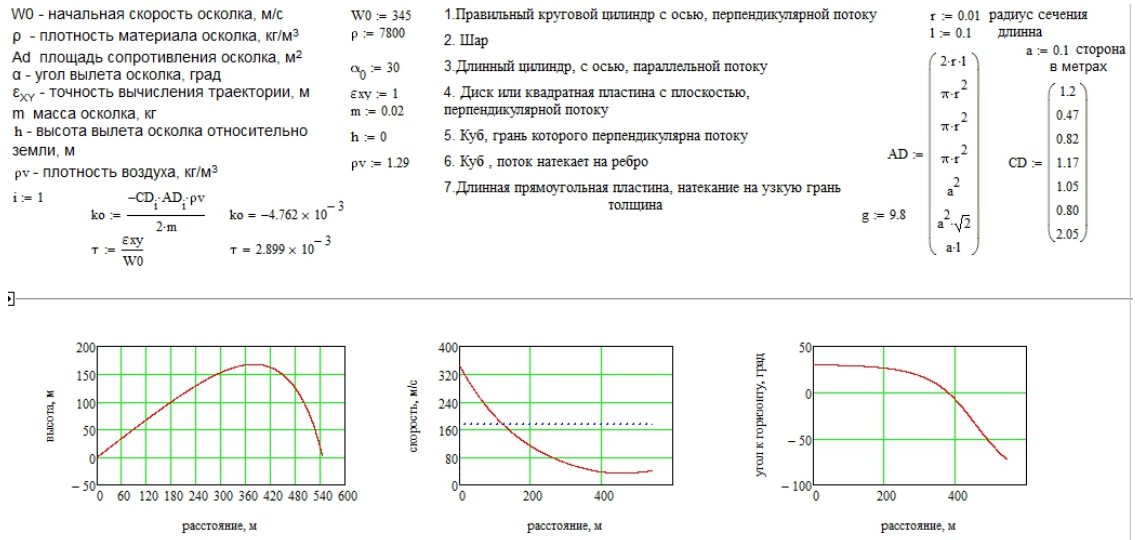


Рис. 1 – Пример расчета траектории осколка

Пробитие стенки

$\rho t := 7850$

$\sigma t := 346000000$ в паскалях!

$$V_{50} := \frac{3.5 \cdot h \cdot (\sigma t \cdot \rho t)^{\frac{1}{2}}}{\rho \cdot \left(\frac{3 \cdot m}{4 \cdot \pi \cdot \rho} \right)^{\frac{1}{3}}}$$

$h := 0.002$ толщина стенки, м

$\rho = 7800$

$m = 0.02$ масса осколка, кг

$V_{50} = 174.192$ Скорость, при которой вероятность пробития данной стенки более 50%, м/с

Рис. 2 – Определение граничной скорости пробития

Очевидно, что в приведенном примере пробитие возможно до 120 метров от места вылета осколка.

Таким образом, итоговая вероятность пробития на данном расстоянии будет не менее $P_d = 0,5$.

Выводы. Предложенные метод и расчетная модель позволяют рассчитать вероятность возникновения эффекта «домино», по заданному сценарию связанного с осколочным воздействием при

авариях на объектах повышенной опасности. Метод и модель могут применяться на практике с целью принятия решений по предупреждению крупных аварий на основании предельно допустимого риска.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бэйкер У., Кокс П., Уэстайн П. и др. Взрывные явления. Оценка и последствия. В 2-х кн. Кн. 1. Пер. с англ./ Под ред. Я.Б.Зельдовича, Б.Е. Гельфанда. - М.: Мир, 1986.
2. CPR 16E. Methods for the determination of possible damage to people and objects resulting from releases of hazardous materials/Committee for the Prevention of Disasters caused by dangerous substances. TNO. Green book.
nuczu.edu.ua

Лифар В.О., Вамболь С.О., Угрюмов М.Л.

Метод та модель визначення параметрів впливу уламків при вибухах

Представлений метод визначення негативного впливу осколків при вибухах та розрахункова модель, що дозволяє обчислити вірогідність виникнення ефекту «доміно» для об'єктів підвищеної небезпеки

Ключові слова: модель, вибух, уламки, ймовірність пробиття

Lyfar V.O., Vambol S.O., Ugryumov M.L.

Method and model parameters determining the impact of the fragments at explosions

A method for determining the negative impact of the fragments in the explosion, and the estimated model for calculating the risk of the "domino" for high risk facilities

Key words: model, the explosion, the fragments, the probability of penetration