

Сенчихин Ю.Н., канд. техн. наук, проф., НУГЗУ

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ АНАЛИЗА РАБОТЫ СПАСАТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ МЕТАНИЯ СНАРЯДА С ТРОСОМ НА ВЫСОТЫ ЗДАНИЙ В ОБЩЕЙ ПОСТАНОВКЕ

(представлено д-ром техн. наук Бодянским Э.В.)

Построение математической модели пневмометания снаряда с тросом с использованием методов и алгоритмов численного и функционального анализа основанных на использовании уравнений динамики полета, составленных со строго ограниченным набором основополагающих гипотез

Ключевые слова: задачи анализ, пожарно-спасательные работы, выстрел, пневмометание, снаряд с тросом, спасательный конец

Постановка проблемы. Для решения задачи анализа работы устройства для выполнения пожарно-спасательных работ (далее - устройство, установка) [1], которая возникла еще на стадии проектирования, безусловно, необходимо иметь математические модели, описывающие процесс метания снаряда с тросом (в дальнейшем - выстрела, пневмометания).

В предложенной конструкции выстреливание снаряда основано на импульсном воздействии на снаряд (к которому прикреплен трос) сжатого воздуха. При этом под тросом будем понимать гибкую тонкую нерастяжимую нить, предварительно уложенную специальным способом так, что она при движении снаряда свободно разматывается. Другими словами, потери энергии за счет разматывания троса отсутствуют.

Анализ последних исследований и публикаций. Для решения формулируемой задачи анализа, в точной, насколько это возможно, постановке, следовало бы использовать системы уравнений газовой динамики [2], внутренней и внешней баллистики [3] с учетом особенностей взаимодействия между снарядом и окружающей средой. Составление и решение такого рода систем уравнений отвечает желанию получить приемлемые результаты, однако при этом возникают, как правило, практически непреодолимые трудности в использовании методов вычислений. Вследствие чего подобная

формулировка задачи математической физики требует отдельного рассмотрения, имеющего самостоятельное теоретическое значение.

Ввиду ограниченного (в открытой печати) числа работ, посвященных анализу пневмометания снаряда с тросом, и фактически полного их отсутствия относительно тактики проведения пожарно-спасательных работ в зданиях повышенной этажности (ЗПЭ) с применением устройств для доставки спасательного конца, для специфических исследований подобных систем предлагается использовать известные математические модели, методы и алгоритмы численного и функционального анализа основанные на использовании уравнений динамики полета, составленных со строго ограниченным набором основополагающих гипотез [2, 4, 5, 6] - наиболее сложные с математической точки зрения, однако теоретически наиболее точно отражающие происходящий процесс.

Постановка задачи и ее решение. Итак, следуя выбранной группе методов [2, 4, 5, 6], попытаемся построить математическую модель выстрела, по возможности, в наиболее точной постановке.

Рассмотрим процесс выстреливания и движения снаряда с тросом, который является результатом пневмометания из установки метательного типа (рис. 1). Все уравнения запишем в декартовой системе координат. Ее начало совпадает с точкой, в которой находится установка.

Задача анализа исследуемого процесса сводится к следующему. Требуется, на основе заданных начальных условий и составленных систем уравнений, адекватно описывающих выстрел, определить положение снаряда в каждый момент времени до его падения на землю. Кроме этого, немаловажно, с точки зрения задач тактики (как это будет показано в дальнейшем) установить формы семейства кривых, которые соответствуют положениям троса в каждый из моментов времени.

К основным геометрическим параметрам задачи анализа (рис. 1) отнесем максимальную высоту подъема снаряда H_{\max} , расстояние между установкой и точкой падения L_{\max} и время нахождения снаряда в воздухе t . Они могут быть определены, если задача (по крайней мере в первом приближении) имеет решение.

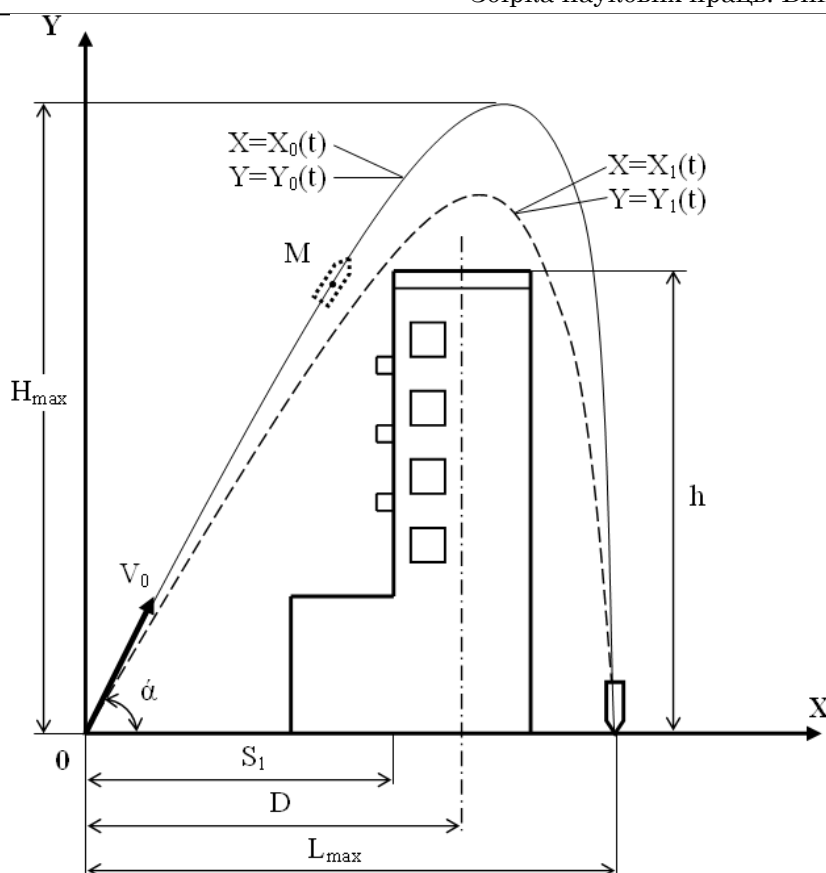


Рис. 1 – Процесс движения снаряда с тросом, метаемого с помощью пневмовыстрела

Разгон до начальной скорости снаряда V_0 (начальное условие) происходит с ускорением a внутри установки. Причем расстояние, пролетая которое снаряд приобретает указанную начальную скорость V_0 , много меньше геометрических характеристик задачи. Поэтому будем считать, что снаряд в начальный момент времени уже имеет скорость V_0 . Более подробно процесс разгона снаряда и его особенности рассмотрены в работе [7].

Пусть траектория снаряда, которую еще предстоит определить, описывается некоторой параметрической кривой вида

$$Y=Y_0(t), X=X_0(t). \quad (1)$$

Аналогично, предположим, что семейство форм, которые приобретает трос в каждый момент времени, найдено в результате решения задачи анализа и описывается также параметрически

$$Y=Y_1(t), X=X_1(t). \quad (2)$$

Подчеркнем еще раз то обстоятельство, что, по нашему мнению, (1) и (2) ни в какие моменты времени не совпадают друг с другом.

С целью отобразить наиболее существенные особенности математической модели в указанной формулировке, запишем основные уравнения без учета физики влияния аэродинамических сил [7].

Как одно из основополагающих допущений, будем считать, что движение системы происходит в одной плоскости - xOy .

Оставаясь в рамках используемой группы методов, можно воспользоваться законами ньютоновской механики.

На рис. 2 изображена общая система сил, действующих на отдельные элементы взаимосвязанных снаряда и частей троса.

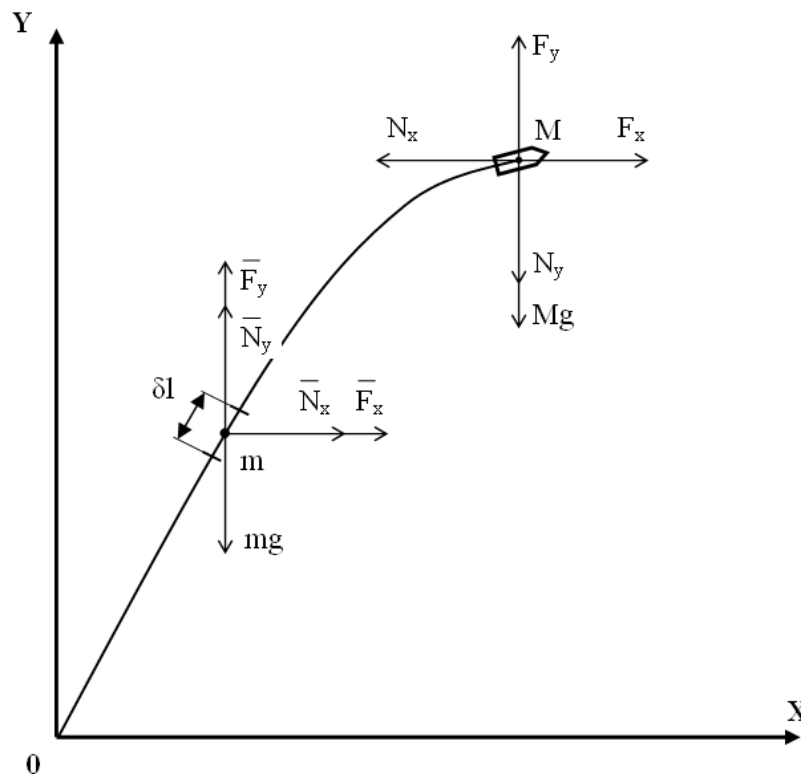


Рис. 2 – Общая система сил действующих на отдельные элементы взаимосвязанных снаряда и частей троса

Уравнения импульсов для точечной массы - снаряда

$$\begin{aligned} M dV_x / dt &= G_x + F_x; \\ M dV_y / dt &= G_y + F_y + Mg, \end{aligned} \quad (3)$$

где M - масса снаряда, V_x, V_y - компоненты его скорости, g - ускорение свободного падения.

Аналогично, уравнения импульсов для элемента троса

$$\begin{aligned} \delta M dV_x / dt &= \delta G_x + N_x + F_x; \\ \delta M dV_y / dt &= \delta G_y + N_y + F_y + \delta M. \end{aligned} \quad (4)$$

Здесь F_x, F_y - обобщенные компоненты аэродинамических сил, действующие соответственно на единицу длины троса и на сам снаряд. G_x, G_y - компоненты сил, действующие на снаряд со стороны троса. N_x, N_y - силы, действующие на элемент троса со стороны «соседних» элементов.

Начальные условия для рассматриваемой задачи при $t = 0$ имеют вид

$$X_0(0)=0, Y_0(0)=0, V_x(0)=V_{x0}, V_y(0)=V_{y0}. \quad (5)$$

Чтобы «замкнуть» систему уравнений (3), (4) при начальных условиях (5) необходимы дополнительные связующие интегро-дифференциальные соотношения, характеризующие внешнюю баллистику пневмометания.

Вывод. Как видно из уже изложенного, даже на начальной стадии формулировки задачи возникли непреодолимые трудности детализации динамики взаимодействия элементов системы. Не удалось записать интегро-дифференциальных соотношений связи между (3) и (4).

Вместе с тем, здесь все же введены основные геометрические параметры задачи анализа, высказано новое утверждение о несовпадении (1) и (2). Кроме того, этот теоретизированный подход указывает на необходимость определения, как другой основополагающей гипотезы, допущения о виде траектории снаряда, или же о виде семейства кривых, которые приобретает форма «провисания» троса при движении снаряда.

Только в этом случае можно в обозримом виде получить приближенные решения задачи анализа движения снаряда с тросом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. 2079311 Российская Федерация, МКИ 6 А 62 В 1/02. Устройство для выполнения пожарно-спасательных работ / Сенчихин Ю.Н., Пустовой А.С.; заявитель и патентообладатель Харьковский инж. строит. ин-т. - № 93053702; заявл. 26.11.93; опубл. 20.05.97, Бюл. №14.
2. Ландау Л.Д. Гидродинамика / Л.Д. Ландау, И.М. Лифшиц. – М.: Наука, 1986. – 356 с.
3. Аппазов Р.Ф. Баллистика управления ракет дальнего действия / Р. Аппазов, Ф. Лавров, В. Мишин. – М.: Наука, 1996. – 377 с.
4. Зельдович Я.Б. Элементы прикладной математики / Я.Б. Зельдович, А.Д. Мышкис. – М.: Наука, 1972. – 167 с.
5. Смирнов М.М. Задачи по уравнениям математической физики / Смирнов М.М. – М.: Наука, 1968. – 178 с.
6. Владимиров В.С. Уравнения математической физики / Владимиров В.С. – М.: Наука, 1971. – 511 с.
7. Демин А.П. Пневматическое метательное устройство / А.П. Демин, Б.И. Воронин // Пожарная техника и тушение пожаров: сб. научн. трудов. – М.: ВНИИПО, 1982. – С. 121-123.

Сенчихин Ю.М.

Формалізація задачі аналізу роботи рятувального пристрою для метання снаряда з тросом на висоти будівель в загальній постановці

Побудова математичної моделі пневмометання снаряда з тросом з використанням методів і алгоритмів чисельного і функціонального аналізу ґрунтованих на використанні рівнянь динаміки польоту складених із строго обмеженим набором гіпотез на засадних положеннях

Ключові слова: задачі аналізу, пожежно-рятувальні роботи, постріл, пневмометання, снаряд із тросом, рятувальний кінець

Senchukhin Y.N.

Formalization of task of analysis of work of rescue device for throwing of projectile with a rope on the heights of building in the general raising

Construction of mathematical model of throwing of projectile with a rope with the use of methods and algorithms of numerical and functional analysis of the equations of dynamics of flight of the fundamental hypotheses made with a strictly limit set based on the use

Key words: problems of analysis, fire-rescue works, shot, throwing, projectile with a rope, rescue end