

Ю.Н. Сенчихин, к.т.н., профессор, НУГЗУ

**АНАЛИЗ РАБОТЫ (ВЫСТРЕЛА) СПАСАТЕЛЬНОГО
УСТРОЙСТВА ДЛЯ МЕТАНИЯ СНАРЯДА С ТРОСОМ НА
ВЫСОТЫ ЗДАНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
МЕТОДА ИНТЕРПОЛЯЦИИ**

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

Выполнен анализ выстрела методом интерполяции, где в качестве интерполяционных функций используются полиномы Лагранжа. Проведены расчеты контрольных примеров, соответствующих конкретным случаям использования спасательного устройства.

Ключевые слова: задачи анализа, метод интерполяции, выстрел, пневмометание, снаряд с тросом, траектория, параметры.

Постановка проблемы. Для решения задачи анализа работы (выстрела) спасательного устройства для метания снаряда с тросом на высоты зданий [1], в точной, насколько это возможно, постановке, следовало бы использовать системы уравнений газовой динамики, внутренней и внешней баллистики 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.

Анализ последних исследований и публикаций. С практической стороны, ранее уже предпринимались попытки разработки более-менее пригодных математических моделей выстрела с использованием некоторого набора упрощений. Однако в указанных работах не учитывался такой важный физический аспект задачи, как «провисание» троса (форма траектории, описываемой снарядом в каждый момент времени, не совпадает с положением троса в пространстве в определенный момент времени) и другое.

В работе [2], например, система рассматривается движущейся точкой с переменной массой, т.е. увеличивающаяся при разматывании масса троса системы сосредоточена в одной точке, совмещенной со снарядом. Указанные упрощения вызывают сомнения.

В работах [3, 4] предложены приближенные решения с допущениями о совпадении траектории снаряда с положением троса, которые

позволяют оценить границы применимости установок данного типа в смысле оценки максимальной высоты подъема снаряда с тросом и ориентировочной дальности метания снаряда с тросом (без учета и с учетом сопротивления воздуха). То есть, разработаны упрощенные (в допустимых пределах) математические модели расчета пневмовыстрела, которые дают возможность, используя простые зависимости оперативно получить количественные оценки основных параметров задачи (H_{\max} , L_{\max} , T).

Постановка задачи и ее решение. Итак, следуя выбранной группе методов и алгоритмов, которые принято называть статистическими, получившие в последнее время широкое распространение, построим алгоритм, основанный на методе интерполяции, в котором используются результаты приближенных расчетов в качестве входных данных.

Анализ выстрела с использованием метода интерполяции основных параметров задачи (ОПЗ).

Повысив степень аппроксимирующей траекторию снаряда полинома и представив его, например, кривой второго порядка:

$$Y = AX^2 + BX + C, \quad (1)$$

мы значительно усложняем возможности применения для анализа выстрела детерминистических методов основанных на использовании уравнений динамики полета, составленных со строго ограниченным набором основополагающих гипотез и на введении обоснованных дополнительных упрощений, с учетом или без учета сил аэродинамического взаимодействия между тросом, снарядом и воздухом.

В этом случае, как отмечалось ранее, для решения сформулированной задачи оказывается удобным использование метода интерполяций [5, 6]. Причем, подбор данных об узловых точках и расчет коэффициентов интерполяции в этом случае аналогичен подходу, изложенному в работе [7], где обоснованно использовалась параболическая зависимость вида (1).

Логическим обоснование такого воззрения в нашем случае могут служить классические представления о траектории снаряда, выстреливаемого под углом к горизонту (как если бы трос отсутствовал) известные из физики. Тогда и форму, которую приобретает трос в каждый момент времени, естественно представить в виде соответствующих кривых второго порядка.

Методологически решение задачи анализа представляется следующим образом.

В качестве реперных точек выбираем ОПЗ, полученные из уточненной модели:

H_{\max} – максимальная высота подъема снаряда; L_{\max} – расстояние между установкой и точкой падения снаряда; T – время прошедшее до падения снаряда на землю.

Эти данные для интерполяции сведем в табл. 1.

Табл. 1. Данные об основных параметрах задачи по приближенной и уточненной моделям

Модель, ОПЗ	Угол выстрела, α							
	55°	60°	65°	70°	75°	80°	85°	89°
Приближенная модель								
T (с)	6,5	6,6	6,8	7,2	7,4	7,5	7,6	7,7
H_{\max} (м)	19,0	19,5	21,0	21,5	22,0	23,5	24,1	25
L (м)	0	0	0	0	0	0	0	0
Уточненная модель								
T (с)	6,7	6,8	6,9	7,2	7,25	7,3	7,35	7,4
H_{\max} (м)	18,7	19,3	21,2	21,6	22,2	23,8	24,2	25,1
L (м)	19,1	18,2	17,0	16,5	16,4	16,1	10,2	6,7

Примечание: данные приближенной и уточненной модели используются впоследствии при решении задачи анализа методом интерполяции.

С учетом выбора начала координат в месте расположения установки имеем:

$$Y(t) = A_0 t^2 + A_1 t; \quad (2)$$

$$X(t) = B_1 t.$$

Коэффициенты A_0 , A_1 , B_1 , в свою очередь, зависят от линейной плотности троса ρ , массы снаряда M , начальной скорости V_0 , угла вылета снаряда α .

Из (2) следует, что время нахождения снаряда в воздухе T определяется соотношением

$$T = -\frac{A_1}{A_0}. \quad (3)$$

Максимальная H высота для траектории в форме параболы определяется уравнением:

$$H_{\max} = \frac{A_1}{2A_0}. \quad (4)$$

Расстояние до точки падения снаряда L_{\max} будет:

$$L_{\max} = -\frac{A_1}{A_0 B_1}. \quad (5)$$

Запишем систему уравнений для вычисления коэффициентов в случае i -й серии экспериментов:

$$H_i = \frac{A_{1i}^2}{2A_{0i}}, \quad (6)$$

$$L_i = -\frac{A_{1i}}{A_{0i}},$$

$$T_i = -\frac{A_{1i}}{A_{0i}}, \quad i = 1, 2, \dots, N.$$

Здесь N – количество выстрелов, произведенных при испытаниях линемета (прототипа спасательного устройства [8]) в каждой серии.

Индексы i в правой части уравнений соответствуют коэффициентам, полученным в результате i -го испытания.

Решая систему (6), получим набор величин A_0, A_1, B_1 . Зная значение каждого из коэффициентов A_0, A_1, B_1 для различных углов вылета снаряда, напишем интерполяционный полином и, следовательно, получим значения этих коэффициентов для произвольных значений угла α пневмометания.

Исходные данные для решения системы (6) содержатся в табл. 1.

Как было показано в [7], наиболее удобно использовать в качестве интерполяционных функций полиномы Лагранжа. Тогда коэффициенты параболы находятся согласно выражениям:

$$A_0 = \sum A_{0i} L_i(\alpha), \quad A_1 = \sum A_{1i} L_i(\alpha), \quad B = \sum B_i L_i(\alpha). \quad (7)$$

Аналогичным образом может быть построена зависимость коэффициентов параболы, описывающей траекторию снаряда, от других параметров задачи - линейной плотности троса ρ , давления в рабочей камере устройства P и др.

В практической работе с установками метательного типа (линемет, гарпун и др.), как правило, возникает необходимость строить интерполяционные зависимости только для одной независимой переменной, как это было выполнено для угла α . Переход к интерполированию

по многим переменным при необходимости, особых трудностей не прибавляет [9].

Описанный алгоритм численно реализован в программе ТРАЕКТ-1, составленной на языке ФОРТРАН.

Входными данными для предложенного алгоритма являются:

- численные данные об ОПЗ, занесенные в файл данных (эта информация необходима для каждого варианта расчета, в процессе расчета и ввода входных данных она не меняется);

- параметр, по которому выполняется интерполяция (угол вылета, скорость вылета и др.);

- целое число, определяющее, какой именно из выше приведенных параметров выбирается в качестве независимой переменной.

Выходными данными (результатами расчета) является таблица, в которую заносится момент времени t_i пребывания снаряда в полете и соответствующие ему значения координат X_i , Y_i для $i=1, 2, \dots, m$. Структура таблицы выходных данных очевидна, поэтому сама таблица не приводится.

Выводы. Предложен универсальный алгоритм, основанный на методе интерполяции, в котором используются результаты приближенных расчетов в качестве входных данных. Составлена программа расчета характеристик выстрела.

Метод интерполяции позволяет по конкретным данным ОПЗ более точно рассчитать характеристики процесса выстрела, но и он не лишен своих недостатков. Вместе с тем для решения задачи создания тактического обеспечения спасательного устройства такой путь является, наиболее надежным.

Вышесказанное предполагает провести сравнительную оценку (качественное и количественное сравнение) всех предложенных методов с целью разработки рекомендаций по их применению.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сенчихин Ю.Н. Разработка мобильных высотных спасательных средств с использованием метательных устройств / Ю.Н. Сенчихин, С.В. Росоха // Техногенна безпека: теорія, практика, інновації: зб. тез II міжнар. наук.-практ. конф. – Л.: ЛДУ БЖД, 2011. – С. 157-158.

2. 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.

3. Сенчихин Ю.Н. Формализация задачи анализа работы спасательного устройства для метания снаряда с тросом на высоты зданий в общей постановке / Ю.Н. Сенчихин // Проблеми надзвичайних ситуацій: зб. наук. пр. – Вип. 19. – Харків: НУЦЗУ, 2014. – С. 120-125.

4. Сенчихин Ю.Н. Приближенный анализ работы (процесса выстрела) спасательного устройства для метания снаряда с тросом на высоте зданий / Ю.Н. Сенчихин // Проблемы надзвичайних ситуацій: зб. наук. пр. – Вип. 20. – Х.: НУЦЗУ, 2014. – С. 119-123.

5. Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1968. – 831 с.

6. Бронштейн И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся ВТУЗов / И.Н. Бронштейн, С.М. Семендяев. – М.: Наука, 1968. – 435 с.

7. Сировий В.В. Установка гасіння пожеж багатоцільового призначення: Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня канд. техн. наук: спец. 05.26.02. «Пожежна безпека» / В.В. Сировий. – Харків, 1996. – 20 с.

8. Пат. 2079311 Российская Федерация, МКИ 6 А 62 В 1/02. Устройство для выполнения пожарно-спасательных работ / Сенчихин Ю.Н.; заявитель и патентообладатель Харьковский инж. строит. ин-т. – № 93053702; заявл. 26.11.93; опубл. 20.05.97. – Бюл. №14.

9. Математическое моделирование. Пер. с англ. под ред. Ю.П. Гупало / под ред. Дж. Эндрюс, Р. Мак-Лаун. – М.: Мир, 1979. – 26 с.

Ю.М. Сенчихін

Аналіз роботи (пострілу) рятувального пристрою для метання снаряда з тросом на висоти будівель з використанням методу інтерполяції

Виконано аналіз пострілу методом інтерполяції, де як інтерполяційні функції використовуються поліноми Лагранжа. Проведено розрахунки контрольних прикладів, що відповідають конкретним випадкам використання рятувального пристрою.

Ключові слова: задачі аналізу, метод інтерполяції, постріл, пневмометання, снаряд із тросом, траєкторія, параметри.

Y.N. Senchukhin

Analysis of (shot) rescue device for throwing a projectile with a rope on the height of buildings using the interpolation method

The analysis of shot is executed the method of interpolation, where as interpolation functions the polynomials of Lagrange are used. The calculations of control examples corresponding to the concrete cases of the use of rescue device are conducted.

Keywords: analysis tasks, an interpolation method, a shot, a throwing, a shell with a cable, a trajectory, parameters.