

УДК 621.3

*В.К. Мунтян, канд. техн. наук, заведующий кафедрой, НУГЗУ,
Р.Г. Мелещенко, адъюнкт, НУГЗУ*

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАЕКТОРИИ ПОЛЕТА ЯДРА ВОДЫ
СБРОШЕННОЙ С ПОЖАРНОГО САМОЛЕТА АН-32П**

(представлено д-ром физ-мат. наук Созником А.П.)

В статье по результатам летного эксперимента впервые получена математическая модель траектории полета ядра воды сброшенной с пожарного самолета Ан-32П.

Ключевые слова: модель, пожарный самолет, водяное ядро.

Постановка проблемы. С пожарного самолета Ан-32П сброс воды производится компактным ядром. Однако, параметры траектории полета водяного ядра существенно отличается от траектории полета сброшенного твердого тела (например, авиабомбы). Имеющееся на пожарном самолете прицельное оборудование предназначено именно для сброса авиабомб. Его использование при сбросе воды приводит к существенным ошибкам вдоль линии сброса [1]. В процессе полета ядра воды оно распадается под действием скоростного напора на мелкие капли, которые не участвуют по различным причинам в процессе тушения пожара. В связи с этим вызывает интерес определение зависимости количества воды долетевшей до очага пожара и участвовавшей в процессе тушения от высоты сброса [2], что невозможно без учета параметров траектории полета ядра.

Анализ последних достижений и публикаций. Вопросы о дальности подачи огнетушащего вещества из стволов различного диаметра с учетом испарения капель достаточно глубоко рассматривались во многих работах [3-5]. Однако, в этих работах исследовался распыленный участок струи огнетушащего вещества. При этом делались ряд допущений. В частности:

1. Размер капли постоянный.
2. Капля имеет сферическую форму.
3. Сила аэродинамического сопротивления определяется из условия обтекания капли жидкости газом в момент времени t_0 .
4. Капля движется в неподвижной газовой среде.

При сбросе воды из баков пожарного самолета Ан-32П очага пожара достигает только компактно падающая вода в виде водяного ядра достаточно больших размеров, к которому нельзя применить вышеуказанные допущения. Исследование траектории полета данного ядра для пожарного самолета Ан-32П до настоящего времени не проводилось.

Постановка задачи и ее решение. Организация доставки огнетушащего вещества в очаг пожара всегда была и будет важнейшей задачей непосредственно влияющей на конечный результат. В процессе доставки огнетушащего вещества одновременно решаются как минимум три задачи:

1. Точность подачи огнетушащего вещества в нужную зону.
2. Оптимальное удельное количество огнетушащего вещества необходимого для подавления пожара.
3. Оптимальный дисперсионный состав огнетушащего вещества (размер капель в момент контакта их с пламенем).

Все эти три задачи достаточно глубоко исследованы в указанных выше работах, но для случая, когда тушение пожара производится с использованием наземных средств. Однако результаты указанных исследований не применимы при доставке огнетушащего вещества в зону пожара с использованием пожарной авиации. Во-первых, невозможно разработать единую стандартную модель доставки огнетушащего вещества для всех типов летательных аппаратов, осуществляющих сброс воды. Причины следующие:

1. Разное количество воды на борту.
2. Различные системы сброса.
3. Невозможность точно учесть влияние турбулентных явлений атмосферы, образующихся от летательного аппарата и оказывающих влияние на динамику полета сброшенной воды.

Отсутствие каких-либо исследований по определению распада водяного ядра и траектории его полета, существенным образом сказывается на точности сброса и эффективность тушения тем количеством воды, которое долетело до очага пожара.

Данная статья посвящена анализу результатов экспериментальных сбросов воды из пожарного самолета Ан-32П, построению математической модели полета водяного ядра от открытия створок до контакта с землей.

По результатам экспериментальных исследований по сбросу воды с пожарного самолета Ан-32П проведенных на аэродроме Нежин путем покадровых замеров видеосъемок были получены данные о траектории полета водяного ядра от момента его отрыва от пожарного самолета и до его контакта с землей. Для построения траектории были отобраны те сбросы, которые проводились в примерно одинаковых условиях. Высота сброса 42 ± 2 м, скорость сброса 250 ± 5 км/ч, количество сбрасываемой воды 8000 л, данные снимались с шагом $1/3$ с. Компьютерная обработка дала следующую линию тренда:

$$y = -0,0016x^2 + 0,0015x + 42,322.$$

График представлен на рисунке 1.

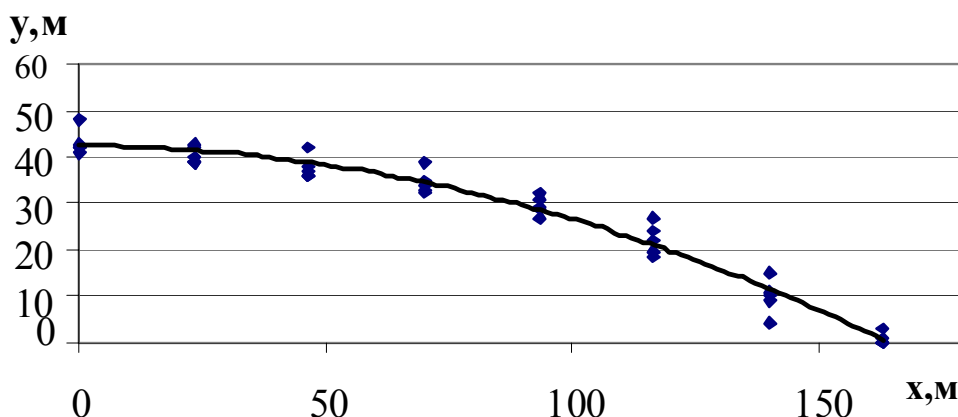


Рис.1 – Экспериментальная траектория полета водяного ядра.

Полученное в результате компьютерной обработки уравнение линии тренда можно скорректировать, убрав второе слагаемое, поскольку нет оснований предполагать наличие экстремума по высоте после отрыва ядра от самолета. За базовое примем уравнение

$$y = -0,0016x^2 + 42.$$

Данное уравнение справедливо для указанных выше диапазонов высот и скоростей при сбросе 8000 л. Выявление зависимости траектории падения водяного ядра от высоты и скорости сброса требует проведения обширного эксперимента, что связано с большими затратами. В связи с этим возникает необходимость создания математической модели, которая могла бы установить указанную связь. Такая математическая модель предполагает решение системы дифференциальных уравнений движения водяного ядра по траектории в координатах высота-дальность полета:

$$\begin{cases} \ddot{x} + C\dot{x} = 0; \\ \ddot{y} + C\dot{y} = -g, \end{cases}$$

где $x(t)$, $y(t)$ - координаты ядра, как функции времени t ; C - приведенный коэффициент аэродинамического сопротивления движению; g - ускорение свободного падения.

В работах [3,4] приводится достаточно строгое решение этой системы для нахождения траектории движения капли воды переменной массы. Учитывая, что к водяному ядру, сброшенному с пожарного самолета Ан-32П, нельзя применить вышеуказанные допущения, а

также целый ряд других факторов, влияющих на параметры траектории, решить данную систему в аналитическом виде невозможно. В связи с этим для получения адекватного результата нами была проведена подстройка модели для того, чтобы ее результаты идентифицировались с результатами эксперимента. Путем подбора коэффициента C максимальное совпадение теоретической и экспериментальной кривой получено при

$$C = 2,5e^{-10t},$$

где множитель $2,5$ является размерной величиной [1/с] и учитывает все факторы, влияющие на траекторию движения кроме скорости и высоты сброса; множитель 10 – коэффициент пропорциональности. Таким образом система дифференциальных уравнений будет иметь вид:

$$\begin{cases} \ddot{x} + 2,5e^{-10t} \dot{x} = 0; \\ \ddot{y} + 2,5e^{-10t} \dot{y} = -g. \end{cases}$$

Аналитического решения данная система не имеет. В связи с этим была составлена компьютерная программа, позволившая получить следующее решение:

$$\begin{cases} x(t) = C_3 + Ei\left(1, -\frac{1}{4}e^{-10t}\right)C_4, \\ y(t) = \int \left(-\frac{1}{1000} \left(981Ei\left(1, \frac{1}{4}e^{-10t}\right) - 1000C_1 \right) e^{\frac{1}{4}e^{-10t}} \right) dt + C_2, \end{cases}$$

где $Ei(x, y)$ - экспоненциальный интеграл.

Начальными условиями для данной системы есть:

$$x(0) = 0; \quad \dot{x}(0) = V_{\text{сброса}}; \quad y(0) = H_{\text{сброса}}; \quad \dot{y}(0) = 0.$$

При $V_{\text{сброса}} = 70 \text{ м/с}$ и $H_{\text{сброса}} = 42 \text{ м}$ данная система решений имеет вид:

$$\begin{cases} x(t) = -\frac{7Ei\left(1, -\frac{1}{4}\right)}{e^{\frac{1}{4}}} + \frac{7Ei\left(1, -\frac{1}{4}e^{-10t}\right)}{e^{\frac{1}{4}}}, \\ y(t) = \int_0^t \left(-\frac{1}{1000} \left(981Ei\left(1, \frac{1}{4}e^{-10z_1}\right) - 981Ei\left(1, \frac{1}{4}\right) \right) e^{\frac{1}{4}e^{-10z_1}} \right) dz_1 + 42. \end{cases}$$

Рассчитанная нами зависимость $y(x)$ представлена на рис. 2.

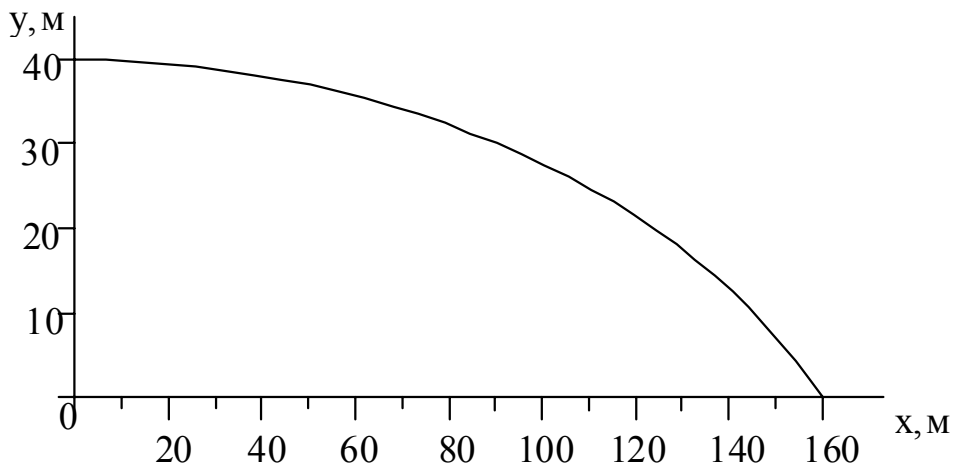


Рис.2 – Теоретическая траектория полета водяного ядра.

Расхождение теоретической и экспериментальной траекторий не превышает 2,5%, что вполне приемлемо.

Выводы. Предложена математическая модель траектории полета ядра воды сброшенной с пожарного самолета Ан-32П, которая позволяет рассчитывать его траекторию при различных высотах и скоростях сброса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мунтян В.К. Влияние параметров полета самолета Ан-32П на точность сброса огнетушащего вещества / В.К. Мунтян, Р.Г. Мелешенко // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. УГЗ Украины – Харьков, 2009 – Вып. 25 – С. 132 –136.

2. Мунтян В.К. Формирование водяного пятна при сбросе воды с пожарного самолета Ан-32П / В.К. Мунтян, Р.Г. Мелешенко // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. УГЗ Украины – Харьков, 2009 – Вып. 26 – С. 79 –84.

3. Абрамов Ю.А. Моделирование процессов в пожарных стволах / Ю.А. Абрамов, В.Е. Росоха, Е.А. Шаповалова // Харьков: Фолио, 2001. – 195с.

4. Кучеренко С.И. Баллистика капель, которые испаряются при полете / С.И. Кучеренко, В.П. Ольшанский, С.В. Ольшанский, Л.М. Тищенко // Харьков: 2007. – 304 с.

5. Кошмаров Ю.А. Гидравлика и противопожарное водоснабжение / Ю.А. Кошмаров // М.: ВИПТШ МВД ССР, 1985.- 384 с.

nuczu.edu.ua

В.К. Мунтян, Р.Г. Мелешенко

Моделювання траєкторії польоту ядра води скинутої з пожежного літака Ан-32П.

Отримана математична модель траєкторії польоту ядра води скинутої з пожежного літака Ан-32П.

Ключові слова: модель, пожежний літак, водяне ядро.

V.K. Muntyan, R.G. Meleschenko

Modelling of possible trajectories nucleus of water dropped from airtanker An -32p.

In this paper the results of flight experiment for the mathematical model of the flight path of the nucleus of water dropped from the fire An-32P is received.

Keywords: model, aircraft fire, water core.