

УДК 621.3

*И.К. Кириченко, д-р физ.-мат. наук, проф., УИПА,
В.К. Мунтян, канд. техн. наук, зав. каф., НУГЗУ,
Р.Г. Мелещенко, преп., НУГЗУ*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СБРОСА ВОДЫ С ПОЖАРНОГО САМОЛЕТА АН-32П НА ОСНОВАНИИ ДАННЫХ ПОЛУЧЕННЫХ CUP -AND-GRID МЕТОДОМ

Построена математическая модель, описывающая зависимость толщины слоя воды образовавшегося на поверхности земли при ее сбросе с самолета Ан-32П от высоты сброса. Модель позволяет рассчитать количество воды упавшей на произвольно выбранную площадку.

Ключевые слова: модель, толщина слоя воды, пожарный самолет Ан-32П.

Постановка проблемы. Применение пожарной авиации для тушения пожаров сводится, как правило, к доставке (сбросу) с воздуха огнетушащего вещества (вода, гель) в зону пожара. Основными параметрами, влияющими на эффективность применения авиации, являются количественные характеристики водяного пятна образовавшегося на поверхности земли. В силу неравномерного распределения воды в пределах водяного пятна эффективность ее использования для тушения пожара в пределах накрываемой площади различна. На одной части площади наблюдается недостаток воды для тушения пожара определенной интенсивности, а на другой части – ее избыток. Учитывая, что количественные характеристики водяного пятна зависят не только от конкретной системы сброса конкретного самолета, но и от параметров полета самолета в момент сброса, исследование этих характеристик может позволить повысить эффективность применения самого самолета для тушения пожаров.

Анализ последних достижений и публикаций. Первые тесты сброса проводились в период с 1955 по 1959 гг. в Калифорнии экспериментальной станцией лесного хозяйства юго-восточного побережья Тихого океана вместе с комитетом Калифорнии по координации воздушных атак. Чтобы исследовать распределение огнетушащего вещества и параметры его проникновения при сбросе из авиатанкера на сосновый лес с мелколесьем и без него в 1959 г. Стори, Вендел и Алтобелис использовали cup-and-grid метод [1]. Тестирование самолетов пожарной авиации и систем сброса кроме США проводились также в Австралии, Канаде и России [2, 3, 4, 5, 6]. По результатам этих тестов проводились доработки систем сброса, а также отрабаты-

вались более эффективные тактические приемы по тушению пожаров с воздуха. В США в мае 2009 года проводилось тестирование новейшей системы сброса воды с самолета C-130 получившей название MAFFS-II. Результаты испытаний докладывались на международной конференции в г. Полтава 01.06. 2009г. летчиками, участвующими в этих испытаниях. С первых же экспериментов была выявлена значительная зависимость характеристик водяного пятна от типа летательного аппарата (ЛА) и системы сброса, а также от условий сброса (высота и скорость ЛА, параметры атмосферы в районе пожара и т.д.). Cap-and-grid метод тестирования признан наиболее эффективным методом тестирования и до настоящего времени является основным.

Постановка задачи и ее решение. На вооружении МЧС Украины в настоящее время находятся четыре самолета Ан-32П, которые уже неоднократно применялись для тушения лесных пожаров. Оценка их эффективности была не однозначной. Учитывая опыт зарубежных исследований, мы поставили перед собой задачу определить параметры водяного пятна, образывающегося после сброса воды из самолета Ан-32П, их зависимость от высоты сброса, а также создать математическую модель, которая позволила бы аналитически рассчитывать эти параметры. Для решения этих задач мы участвовали в организации и проведения эксперимента, который проводился в 2008-10 гг. на базе САО МЧС в г. Нежин. Для проведения эксперимента использовался cap-and-grid метод. При этом по полю были установлены приемные чашки диаметром 50мм. и высотой 100мм., позволяющие определить количество воды, упавшей в данную точку. Расстояние между чашками выбрано 10м. вдоль линии сброса и 5м. перпендикулярно линии сброса. Параметры сетки - 40 на 150 метров. В процессе эксперимента скорость самолета выдерживалась 250 км/час, а высота сброса варьировалась в пределах от 40 до 70 метров. Значения скорости и высоты сброса фиксировались средствами объективного контроля. Сброс производился одновременно из двух баков общей емкостью 8000 литров. Замер количества воды в чашке производился после каждого сброса. После этого производился перерасчет ее количества в литрах на один квадратный метр. Это количество соответствует толщине водяного слоя в миллиметрах. Полученные результаты отображались на бумаге с расчерченной сеткой в масштабе 1: 200. Точки равной толщины водяного слоя соединялись линиями изоуровня. При обработке результатов предполагалось, что толщина водяного слоя между соседними точками одного изоуровня не изменяется, а между двумя изоуровнями изменяется по линейному закону.

В результате эксперимента установлено следующее.

Форма линий изоуровней представляет собой деформированный эллипс (симметричный относительно линии сброса и сильно вытянутый по полету от точки падения ядра). В пределах водяного пятна толщина водяного слоя имела максимальное значение в точке падения водяного ядра и убывала к его периферии. С увеличением высоты сброса размеры водяного пятна уменьшались.

Для моделирования водяного пятна в качестве двумерной случайной величины примем значения толщины водяного слоя вдоль и перпендикулярно линии сброса. Систему координат сориентируем так, чтобы ось Ox совпала с направлением полета, ось Oy перпендикулярно линии полета, а начало координат совместим с точкой падения водяного ядра.

Так перпендикулярно линии сброса толщина водяного слоя как случайная величина хорошо описывается нормальным законом распределения, что было проверено с помощью критерия Пирсона при уровне значимости 0.05,

$$f(y) = \frac{1}{\sigma_y \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(y - m_y)^2}{2 \cdot \sigma_y^2}}. \quad (1)$$

При этом математическое ожидание (m_y) принималось равным нулю, а среднеквадратическое отклонение (σ_y) рассчитывалось из экспериментальных данных. Значения σ_y группировались по высотам и рассчитывались их средние значения. Расчеты проводились для нескольких сечений, перпендикулярных оси Ox , и показали независимость среднего σ_y от параметра x , что свидетельствует о независимости закона распределения вдоль оси Oy от координаты x .

Зависимость среднего значения σ_y от высоты сброса находим при помощи метода наименьших квадратов. Учитывая малый диапазон исследуемых высот (H), мы ограничились линейным законом:

$$\sigma_y = -0.25H + 18.$$

Исходя из характера изменения толщины водяного слоя вдоль линии полета, для его описания выбран закон гамма распределения случайной величины,

$$f(x) = \frac{\left(\frac{x+c}{p}\right)^{k-1} e^{-\frac{x+c}{p}}}{p\Gamma(k)} \quad (2)$$

где - p, k, c параметры закона, определяемые по экспериментальным данным; $\Gamma(k)$ – гамма функция.

Зависимости p, k и c от высоты сброса определялись аналогично как и σ_y и имеют вид:

$$p = -0.167H + 21.7, \quad k = 0.113H - 2.93, \quad c = 1.1H - 37.$$

Учитывая независимость закона распределения случайной величины вдоль одной оси от координаты второй оси, плотность распределения двумерной случайной величины $f(x, y)$ можно определить по формуле:

$$f(x, y) = f(x) \cdot f(y).$$

С учетом (1) и (2) будем иметь:

$$f(x, y) = \frac{\left(\frac{x+c}{p}\right)^{k-1} e^{-\frac{x+c}{p}}}{p\Gamma(k)} \cdot \frac{1}{\sigma_y \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{y^2}{2 \cdot \sigma_y^2}}$$

Имея значения толщины водяного слоя в узловых точках сетки и усредняя их на прямоугольнике размерами 5 на 10 метров, было получено общее количество воды достигшей поверхности земли с данной высоты сброса путем ее суммирования по всему полю.

Зависимость общей массы воды M , достигшей поверхности земли, от высоты сброса имеет следующий вид:

$$M = -130H + 9200.$$

Данная зависимость справедлива для диапазона высот от 40 до 70 метров.

Учитывая, что двойной интеграл в бесконечных пределах от плотности распределения случайной величины равен единице, а форма водяного слоя полностью отображается поверхностью плотности распределения можно перейти к размерной величине

$$\delta_H(x, y) = M_H \cdot f_H(x, y).$$

Индекс H указывает на то, что расчет проводится для конкретной высоты сброса.

Интегрируя полученное выражение в пределах произвольной площадки, можно получить количество воды упавшее на эту площадку и участвующей в тушении пожара.

На рис. 1 изображена расчетная поверхность показывающая зависимость толщины водяного слоя в миллиметрах (по оси Oz) от параметров x и y . На рис. 2 изображены проекции линий изоуровней на земной поверхности. Рисунки 1 и 2 получены при моделировании сброса воды с высоты 40 метров.

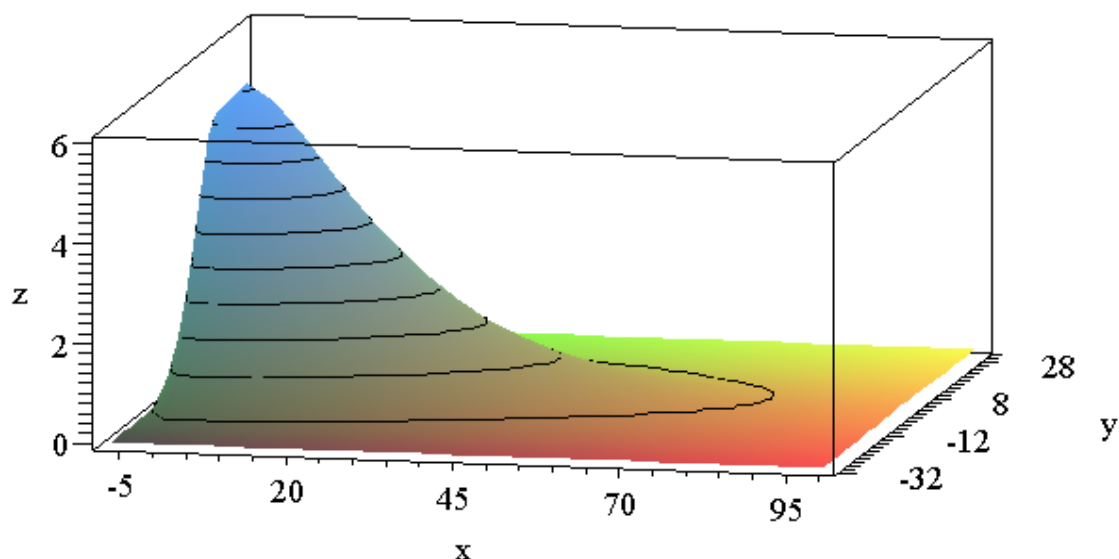


Рис. 1 – Зависимость толщины водяного слоя в миллиметрах (по оси Oz) от параметров x и y

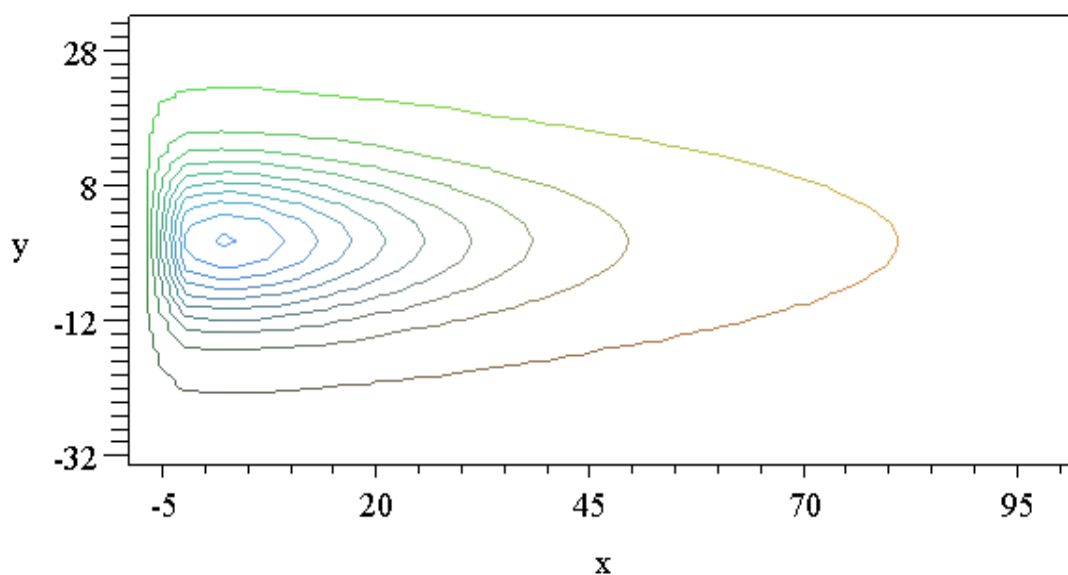


Рис. 2 – Изолинии плотности наземного распределения сброшенной с самолета Ан-32П воды

Для сравнения на рис. 3 представлены результаты расчетов полей плотности наземного распределения воды, сброшенной с высоты 100 м с самолета Ил-76МД, проведенными российскими исследователями и приведенными в работе [6].

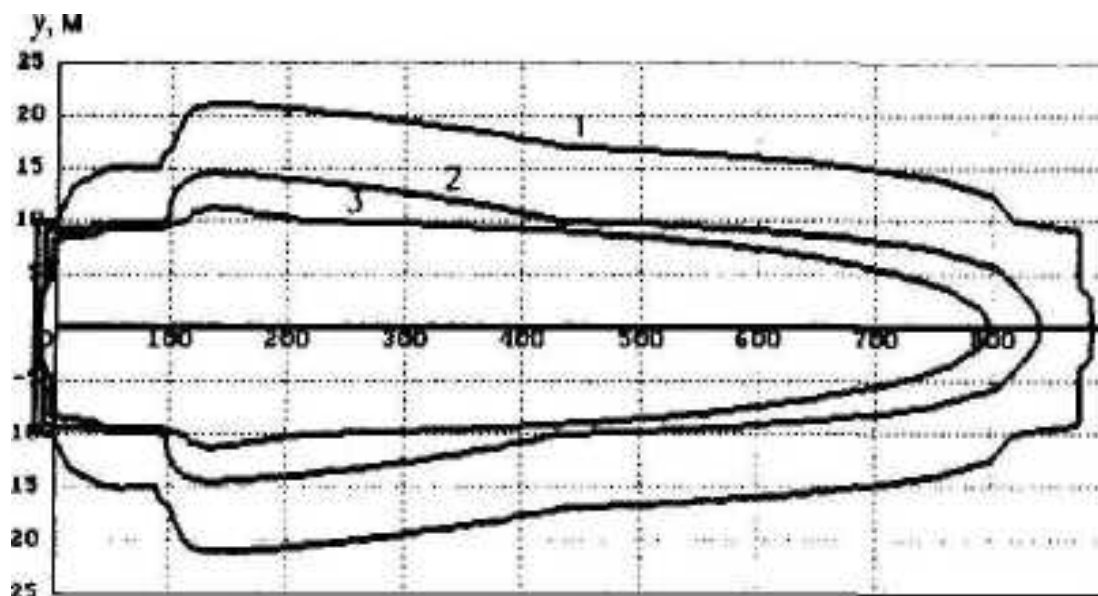


Рис. 3. – Изолинии плотности наземного распределения сброшенной с самолета Ил-76МД воды

Кривые 1, 2, 3 соответствуют плотности 0.1, 0.5 и 1.0 литров на квадратный метр соответственно. Схожесть форм изоуровней очевидна, разница в масштабах объясняется разным количеством сбрасываемой воды.

Выводы. Создана математическая модель, описывающая зависимость толщины слоя воды образовавшегося на поверхности земли при ее сбросе с самолета Ан-32П от высоты сброса. Модель позволяет рассчитать количество воды упавшей на произвольно выбранную площадку. Сравнивая доставленное и необходимое для тушения пожара количество воды дифференциально по площади можно оценить эффективность применения самолета Ан-32П.

ЛИТЕРАТУРА

1. Storey, Theodore G.; Wendel, George W.; Altobellis, Anthony T. 1959. Testing the TBM aerial tanker in the Southeast. Station Pap. 101. Asheville, NC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southeastern Forestry Experiment Research Station. 25 p.

2. Hodgson, Brian S. 1967. A procedure to evaluate ground distribution patterns for water dropping aircraft. Inf. Rep. FF-X-9. Ottawa, Canada: Canadian Department of Forestry and Rural Development, Forest Fire Research Institute. 41 p.

3. Grigel, Joseph E. 1970. Drop testing with the Snow Commander airtanker and Gelgard F fire retardant. Missoula, MT: University of Montana. 80 p. Thesis.

4. George, Charles; Blakely, Aylmar D. 1973. An evaluation of the drop characteristics and ground distribution patterns of forest fire retardants. Res. Pap. INT-134. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. Intermountain Forest and Range Experiment Station. 60 p.

5. Swanson, D.H.; Luedecke, A.D. 1978. Tank design guide for fire retardant aircraft. Hopkins, MN: Honeywell, Inc., and Missoula. MT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Forest Fire Laboratory. 41 p.

6. 6. Москвильин Е.А. Применение авиации для тушения лесных пожаров / Пожарная безопасность.- Москва.:2009. - №1- С. 89-92.

nuczu.edu.ua

I.K. Кириченко, В.К. Мунтян, Р.Г. Мелешенко

Моделювання параметрів скиду води з пожежного літака Ан-32П на підставі даних отриманих cup-and-grid методом.

Побудована математична модель, яка описує залежність товщини шару води, що утворюється на поверхні землі при її скиданні з літака Ан-32П від висоти скидання. Модель дозволяє розрахувати кількість води, що впала на довільно вибраний майданчик.

Ключові слова: модель, товщина шару води, пожежний літак Ан-32П.

I.K. Kirichenko, V.K. Muntyan, R.G. Meleschenko

Modelling of parameters of dump of water from fire plane An-32P on the basis of given received cup-and-grid the method.

The mathematical model describing dependence of a thickness of a sheet of water formed on surface of the earth at its dump from plane An-32P from height of dump is constructed. The model allows to calculate a quantity of water fallen to any way chosen platform.

Keywords: model, thickness of a sheet of water, fire plane An-32P.