

*В.В. Ковалишин, д.т.н., профессор, ЛГУ БЖД,  
И.А. Мовчан, к.т.н., доцент, проректор, ЛГУ БЖД*

## **МОДЕЛЬ СОЗДАНИЯ НЕПРЕРЫВНОГО ПРОТИВОПОЖАРНОГО БАРЬЕРА ДЛЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ ЛАНДШАФТНОГО ПОЖАРА**

(представлено д-ром техн. наук Тарасенко А.А.)

Предложена вероятностная модель создания непрерывного противопожарного барьера сбросами воды с пожарного самолета с целью локализации ландшафтного пожара. Рассмотрены три варианта тактики локализации.

**Ключевые слова:** противопожарный барьер, пожарная авиация, водяное пятно, локализация ландшафтного пожара.

**Постановка проблемы.** Одним из приемов борьбы с ландшафтным пожаром является его локализация, предполагающая создание противопожарного барьера. Для борьбы с высокоинтенсивными пожарами или пожарами в труднодоступных местах практикуется создание данного барьера в виде переувлажненной полосы растительного горючего материала, получаемой сбросами воды (водного раствора) с пожарных самолетов. В Украине для этих целей используется пожарный самолет АН-32П, оснащенный системой мгновенного сброса 8 м<sup>3</sup> воды.

В ряде стран практикуется использование подкрашенного реагента, что позволяет пилоту и штурману самолета осуществлять последующие сбросы с учетом предыдущих, поскольку имеет место визуализация водяных пятен от таких сбросов.

В силу случайного распределения координаты точки падения центра водяного ядра является актуальным решение задачи о возможности продления непрерывного противопожарного барьера при различных вариантах учета предыдущих сбросов.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В работах [1,2] рассматривается задача создания противопожарного барьера без учета результата предыдущих сбросов, что имеет место в том случае, если водяные пятна не визуализированы (реагент не подкрашен). В этих работах используется стохастический подход, но при этом решение задачи о нахождении вероятности перекрытия двух последовательно сброшенных пятен не приводится.

Задача нахождения параметров противопожарного барьера при визуализации водяных пятен на основе стохастического подхода в литературе отсутствует.

**Постановка задачи и ее решение.** Целью работы является получение общей математической модели зависимости вероятности перекрытия двух водяных пятен, получаемых от последовательных сбросов реагента, в случае возможности визуализации пятна и без таковой.

Рассмотрим результат двух последовательных сбросов воды с пожарного самолета АН-32П. В работах [1,2] получены параметры распределения центра водяного ядра для сброса с самолета АН-32П и параметры водяного пятна в зависимости от высоты сброса.

Двумерные плотности вероятностей отклонения случайных точек – координат падения центров двух водяных пятен от их точек прицеливания  $(x_0^1; y_0^1)$  и  $(x_0^2; y_0^2)$  в общем случае задаются выражениями [1]

$$f_{1,2}(x - x_0^{1,2}, y - y_0^{1,2}, H) = \frac{1}{2\pi\sigma_{\Delta x}\sigma_{\Delta y}} \exp\left(-\frac{(x - x_0^{1,2})^2}{2\sigma_{\Delta x}^2} - \frac{(y - y_0^{1,2})^2}{2\sigma_{\Delta y}^2}\right), \quad (1)$$

где  $H$  – высота сброса,  $40\text{ м} \leq H \leq 70\text{ м}$ ;  $\sigma_{\Delta x} = 0.380H$ ;  $\sigma_{\Delta y} = 0.194H$ .

В работе [2] найдена модель зависимости параметров водяного пятна (детерминировано задаваемого в виде неявного биэллипса  $L(x, y, H, h) = 0$  с центром в точке  $(x_1; y_1)$ ) от высоты сброса  $H$  и толщины слоя воды  $h$

$$L(x, y, x_1, y_1, H, h): \begin{cases} \frac{(x - x_1)^2}{a_2^2} + \frac{(y - y_1)^2}{b^2} = 1, & x < 0; \\ \frac{(x - x_1)^2}{a_1^2} + \frac{(y - y_1)^2}{b^2} = 1, & x \geq 0, \end{cases} \quad (2)$$

$$\text{где} \quad a_1(H, h) = A_1(H) \sqrt{\ln\left(\frac{D(H)}{h}\right)}; \quad a_2(H, h) = A_2(H) \sqrt{\ln\left(\frac{D(H)}{h}\right)};$$

$$b(H, h) = B(H) \sqrt{\ln\left(\frac{D(H)}{h}\right)}; \quad A_1(H) = -176.4 + 7.919H - 0.07152H^2;$$

$$A_2(H) = 64.6 - 1.842H + 0.01619H^2; \quad B(H) = 32.9 - 0.7223H + 0.00437H^2;$$

$$D(H) = 10.4 - 0.132H; \quad h < D(H); \quad [A_{1,2}] = [B] = [H] = \text{м}; \quad [D] = [h] = \text{м}^{-3}.$$

В работе [3] найдено уравнение  $\rho = \rho(\varphi, x_1, y_1, a_{1,2}(H, h), b(H, h))$  окрестности  $\Omega$  первого водяного пятна  $L(x, y, H, h) = 0$ , при попадании в которую центра второго водяного пятна происходит перекрытие пятен, т.е. происходит создание непрерывного участка противопожарного барьера.

Будем обозначать ситуацию, связанную с не визуализируемыми водяными пятнами как (а), а с визуализируемыми – как (б). При этом возможно формулирование задачи нахождения вероятности перекрытия двух водяных пятен в общей постановке. Случай (б) при этом является частным случаем (а).

Условная вероятность  $\tilde{P}$  попадания второго водяного пятна в  $\Omega_1$ -окрестность первого пятна, центр которого находится в точке  $(x_1; y_1)$ , равна

$$\tilde{P}(x_0^2, y_0^2) = P((x_2; y_2) \in \Omega_1 / (x_1; y_1)) = \iint_{\Omega_1} f_2(x - x_0^2, y - y_0^2) dx dy. \quad (3)$$

Тогда вероятность  $P$  перекрытия двух водяных пятен с учетом случайного местоположения (в общем случае, т.е. (а)) первого пятна равна

$$P(x_0^1, y_0^1, x_0^2, y_0^2) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \tilde{P}(x_0^2, y_0^2) f_1(x - x_0^1, y - y_0^1) dx dy. \quad (4)$$

Подстановка (3) в (4) окончательно позволяет найти

$$P(x_0^1, y_0^1, x_0^2, y_0^2) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \iint_{\Omega_1} f_1(u - x_0^1, v - y_0^1) \cdot f_2(s - x_0^2, t - y_0^2) ds dt du dv. \quad (5)$$

Модель (5) является общей для случаев (а) и (б).

В случае сброса неподкрашенного реагента в работе [3] предполагается прокладка полосы вдоль наперед заданной локализационной линии (для простоты аппроксимируемой осью ОХ), при этом задается фиксированное расстояние  $d$  между точками прицеливания.

Таким образом, реализуется сценарий (а) при  $y_0^1 = y_0^2 = 0$ ,  $x_0^2 = x_0^1 + d$  и  $x_0^1 = 0$ . В этом случае вероятность (5) перекрытия двух пятен с учетом (1) будет задаваться выражением

$$P(d, H, h) = \frac{1}{(2\pi\sigma_{\Delta x}\sigma_{\Delta y})^2} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \iint_{\Omega_1} e^{-\frac{u^2 + (s-d)^2}{2\sigma_{\Delta x}^2} - \frac{v^2 + t^2}{2\sigma_{\Delta y}^2}} ds dt du dv. \quad (6)$$

Рассмотрим теперь частный случай (б) для визуализируемых пятен.

В случае визуальной идентификации первого пятна его местоположение становится неслучайным (полагается, что центр ядра находится

ся в точке  $(x_1; y_1)$ ), дисперсии отклонения координаты центра первого пятна от точки прицеливания становятся равными 0, а функция плотности вероятности  $f_1$  вырождается в дельта-функцию  $\delta(x_1, y_1)$ .

В силу нормировки  $\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \delta(x, y) dx dy = 1$  и в силу того, что  $\Omega_1 = \Omega_1(x_1, y_1, H, h)$ , вероятность (6) перекрытия двух пятен будет равна

$$P(x_1, y_2, x_0^2, y_0^2) = \iint_{\Omega_1} f_2(s - x_0^2, t - y_0^2) ds dt. \quad (7)$$

Далее возможны реализации двух различных тактик прокладки локализационной полосы.

Первая предполагает продление локализационной полосы вдоль оси ОХ, как в вышерассмотренном случае (а). В этом случае вероятность перекрытия двух пятен с учетом (1) задается выражением

$$P(x_1, y_1, d, H, h) = \frac{1}{2\pi\sigma_{\Delta x}\sigma_{\Delta y}} \iint_{\Omega_1} \exp\left(-\frac{(s - x_1 - d)^2}{2\sigma_{\Delta x}^2} - \frac{(t - y_1)^2}{2\sigma_{\Delta y}^2}\right) ds dt. \quad (8)$$

Альтернативой данной тактике является сброс второго пятна не вдоль линии ОХ, а вдоль линии  $y = y_1$ , т.е. продолжая первое пятно. В этом случае вероятность (6) перекрытия с учетом (1) будет задаваться выражением

$$P(x_1, d, H, h) = \frac{1}{2\pi\sigma_{\Delta x}\sigma_{\Delta y}} \iint_{\Omega_1} \exp\left(-\frac{(s - x_1 - d)^2}{2\sigma_{\Delta x}^2} - \frac{t^2}{2\sigma_{\Delta y}^2}\right) ds dt. \quad (9)$$

Повторение процедуры сброса реагента приводит к созданию противопожарного барьера. Вероятность того, что он будет непрерывным, может быть найдена после вычисления (6), (8) и (9).

Следует отметить, что итерационное повторение последнего сценария на количество сбросов  $n > 2$  приводит к т.н. случайным блужданиям центров водяных пятен (вдоль оси ОУ), что может привести к значительному отклонению локализационной полосы от кромки пожара (в том числе – к заходу локализационной полосы в выгоревшую область пожара, т.е. к бесполезным утратам воды). С этой точки зрения последний сценарий является наименее приемлемым, в то время как первые два лишены указанного недостатка.

Вычисление выражений (6), (8) и (9) с последующим сравнением их значений позволит выявить оптимальный сценарий создания непрерывного участка локализационной полосы.

**Выводы.** Предложена вероятностная модель создания непрерывного участка противопожарного барьера, образуемого сбросами реагента с пожарного самолета. Модель допускает рассмотрение трех различных сценариев локализации.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Мелешенко Р.Г. Исследование точности сброса воды с пожарного самолета Ан-32П / Р.Г. Мелешенко, В.К. Мунтян // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. – Том 9, №1. – Гомель: ГИИ МЧС РБ, 2014. – С. 3-9.

2. Мелешенко Р.Г. Статистический анализ модели параметров сброса воды с пожарного самолета Ан-32П / Р.Г. Мелешенко, В.К. Мунтян // Проблемы пожарной безопасности. – Вып. 35. – Харьков: НУГЗУ, 2013. – С. 151-163.

3. Мелешенко Р.Г. Модель локализации природного пожара с помощью авиационной техники / Р.Г. Мелешенко, В.К. Мунтян // Проблемы пожарной безопасности. – Вып. 34. – Харьков: НУГЗУ, 2013. – С. 126-136.

В.В. Ковалишин, І.А. Мовчан

**Модель створення безперервного протипожежного бар'єру для локалізації ландшафтної пожежі**

Запропоновано імовірнісну модель створення безперервного протипожежного бар'єру скидами води з пожежного літака з метою локалізації ландшафтної пожежі. Розглянуто три варіанти тактики локалізації.

**Ключові слова:** протипожежний бар'єр, пожежна авіація, водяне пляма, локалізація ландшафтного пожежі.

V.V. Kovalyshyn, I.A. Movchan

**Model of creation a continuous fire barrier for containment of landscape fires**

A model of the probability of creating a continuous fire barrier by discharging of water from firefighting plane to localize fire landscape is constructed. Three variants tactics localization.

**Keywords:** fire barrier, fire aviation, water stain, localization of landscape fire.