

*Л.В. Гусева, преподаватель, НУГЗУ,
Е.А. Панина, преподаватель, НУГЗУ*

МОДЕЛЬ РАСЧЕТА КОНТУРА ПОЖАРА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПАКЕТА ОБУЧАЮЩИХ ПРОГРАММ

(представлено д-ром техн. наук Куценко Л.Н.)

Работа посвящена исследованию построения теоретической модели, позволяющей рассчитать контур пожара в различные моменты времени и моделирование зависимости скорости от основных факторов развития пожара.

Ключевые слова: контур пожара, математическая модель, радикальная скорость.

Постановка проблемы. Основными факторами, знание которых определяет тактику тушения пожаров и выбор руководителем тушения пожара способов и средств борьбы с ним, являются контур лесного пожара и его параметры, а также направление его наиболее опасного распространения.

Анализ последних достижений и публикаций. Отталкиваясь от известных усреднённых эмпирических или теоретических значений небольшого числа основных параметров лесных пожаров можно изучать относительно простые модели, которые описывают распространение кромки пожара. Большого успеха можно достигнуть в феноменологических (аналитико – геометрических, геометрических, полуэмпирических) подходах [1-4, 7]. Однако, несмотря на многочисленные и зачастую плодотворные усилия [1-4] в настоящее время не существует достаточно простой, надёжной и практически применимой математической модели развития лесного пожара. Трудности создания такой модели неоднократно обсуждались в литературе [4, 6].

Постановка задачи и ее решение. Проблеме лесных пожаров и пожарной безопасности лесов посвящено большое количество экспериментальных и теоретических работ. Существующие теоретические модели для определения факторов распространения пожаров можно весьма условно разделить на два класса: микроскопические и феноменологические модели. В микроскопических моделях [5, 6] попытка учесть большое количество разнородных параметров, влияющих на динамику контура пожара, приводит к необходимости решать труднообозримые дифференциальные уравнения, решение которых еще более затруднено зачастую неопределенными начальными и граничными условиями. Исследование построения теоретической модели, которая позволяет рассчитать контур пожара в различные моменты времени и осуществить моделирование зависимости скорости от основных факторов развития пожара, на наш взгляд, в смысле практического использования, должно удовлетворять рассматриваемым ниже требованиям и решать такую задачу.

Пусть имеем топографическую карту, которая отражает рельеф возможного пожара в данном лесном массиве. По этой карте необходимо найти функцию $F_1(x, y)$, которая описывает данный рельеф, где x, y - координаты плоскости. Пусть далее нам указано (хотя бы приблизительно) распределение горючего материала и его влажность. Эти величины определяют ещё две функции $F_2(x, y)$ и $F_3(x, y)$. Задание места и формы очага пожара описывается функцией $F_4(x, y)$, которая определяет начальное условие. Кроме того, необходимой является информация о направлении и скорости ветра. Именно по этим основным исходным данным [1-5] необходимо с определённой точностью рассчитать наиболее вероятный контур пожара, его периметр и площадь, а также направление его наиболее опасного распространения в любой наперёд заданный момент времени. Такая модель обязана быть достаточно простой для проведения указанных расчётов за реальное время в полевых условиях. Важным фактором должна быть также гибкость модели, которая позволяла бы учитывать оперативную информацию о контуре пожара на текущий момент времени и заменять в расчётах функцию $F_4(x, y)$ некоторой новой функцией.

Прежде всего, отметим, что такой феноменологический подход предполагает решение двух взаимосвязанных задач. Одна из них состоит в построении теоретической модели, позволяющей рассчитать контур пожара в различные моменты времени. Решение этой задачи предполагает использование определённой каким-либо способом скорости движения кромки пожара в каждой заданной точке местности. Поэтому, второй задачей является моделирование зависимости этой скорости от указанных выше основных факторов развития пожара.

Исходя из предположений, что контур пожара является непрерывным, что пожар развивается в однородной среде и, что контур пожара можно рассматривать как изотермическую кривую на плоскости, нами получено следующее уравнение:

$$\frac{\partial f}{\partial t} + \vec{V} \nabla f = 0, \quad (1)$$

где $\vec{V} = d\vec{r} / dt$ - скорость движения контура пожара, а функция $f = f(\vec{r}, t)$ описывает контур пожара в точке \vec{r} в момент времени t . Отметим, что в [4, 5] с привлечением дополнительных гипотез (типа гипотезы Гюйгенса в оптике) получают уравнение (2) в различных формах и делают попытки его решения.

Уравнению (1) можно придать удобный для решения вид. Для этого достаточно в выражении для контура $f(x, y, t) = const$ и в уравнении (1) перейти от декартовых координат x, y к полярным ρ, φ . Тогда для контура получим выражение $\Phi(\rho, \varphi, t) = const$. Решая последнее уравнение относительно ρ , получим $\rho = \rho(\varphi, t)$. Выполняя соответствующие преобразования уравнения (1), вводя понятия радиальной скорости $V_r(\varphi)$ и учитывая связь скоростей V_x, V_y и $V_r(\varphi)$ и

$V_r(\varphi)$, можно получить решение уравнения (1) в виде:

$$\rho(\varphi, t) = \rho_0(\varphi) + \int_{t_0}^t V_r(\varphi, t) dt, \quad (2)$$

где функция $\rho_0(\varphi)$ описывает контур очага пожара в начальный момент времени t_0 (указанная выше функция $F_4(x, y)$). Кроме того, в (2) учтено, что скорость V_r может зависеть от времени t .

Таким образом, для описания геометрии пожара $\rho(\varphi, t)$ достаточно знать контур $\rho_0(\varphi)$ и иметь зависимость $V_r(\varphi, t)$ от полярного угла φ и времени t . Для получения зависимости $V_r(\varphi, t)$ от φ опустим временно зависимость от t и воспользуемся выражениями для скоростей распространения фронтальной $V_{\text{фр}}$, фланговой $V_{\text{фл}}$ и тыловой $V_{\text{мл}}$ кромок пожара относительно направления скорости ветра \vec{V}_e , полученными в [1]. Эти простые выражения зависят от V_e и параметров, связанных с удельной теплоёмкостью горючих материалов, их составом и влажностью.

Исходя из величин $V_{\text{фр}}$, $V_{\text{фл}}$ и $V_{\text{мл}}$, воспользуемся простой геометрической моделью и сделаем естественное [2-5] предположение, что зависимость V_r от φ можно описать эллипсом, который вытянут вдоль направления ветра. Тогда получаем [8]

$$V_r(\varphi) = (V_0 + kV_e) \frac{2\alpha \cos \varphi + (1 + \alpha^2) \sqrt{\cos^2 \varphi + (1 - \alpha^2) \sin^2 \varphi}}{\cos^2 \varphi + (1 + \alpha^2)^2 \sin^2 \varphi}, \quad (3)$$

где φ - полярный угол, отсчитываемый от направления ветра, $\alpha = V_e / \sqrt{V_e^2 + C^2}$, V_0 , k и C - параметры теории, определяемые из эксперимента [1-3]. Отметим, что начало координат в (3) выбрано таким образом, что $V_r(0) = V_{\text{фр}}$, $V_r(\pi) = V_{\text{мл}}$, а малая полуось эллипса (3) равна $V_{\text{фл}}$.

Формулы (2) и (3), в принципе, и решают поставленную задачу в первом приближении.

Дальнейшие направления развития предлагаемой модели видятся нам, прежде всего в следующем. В формулы работы [1] для $V_{\text{фр}}$, $V_{\text{фл}}$ и $V_{\text{мл}}$ и в (3) необходимо ввести явные и в принципе известные зависимости от влажности W (функцию $F_3(x, y)$) и угла θ наклона местности. Далее, для описания особенностей рельефа (холмы, впадины, склоны, подьёмы, лоцины, гряды, водные и другие преграды и т.д.) ввести подходящим образом функции $F_i(x, y)$, чтобы найти $F_i(x, y) = \sum F_i(x, y)$. Знание $F_i(x, y)$ позволит по известному градиенту

$\nabla F_i(x, y)$ – вычислить значение угла θ в каждой точке контура.

Выводы. Продуктом окончательной реализации рассмотренной модели может быть пакет программ, предназначенный для практического использования и обучения сотрудников пожарной охраны лесов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Телицин Г.П. Зависимость скорости распространения низовых пожаров от условий погоды. // Сб. трудов Даль НИИЛХ, 1965. – Вып. 7. – С.391-405.

2. Коровин Г.Н. Методика расчёта некоторых параметров низовых лесных пожаров. – М.: Лесн. пром-сть, 1969.- С.244-265.

3. Арцыбашев Е.С. Лесные пожары и борьба с ними. – М.: Лесн. пром-сть, 1974. – С. 119.

4. Доррер Т.Д. Математические модели динамики лесных пожаров. –М.: Лесн. пром-сть, 1979. – С. 160.

5. Конев Э.В. Анализ процессов распространения лесных пожаров и палов. //Сб. научн. тр. “Теплофизика пожаров”. – Новосибирск: Наука, 1984. – С.99-125.

6. Гришин А.М. Математическое моделирование лесных пожаров и новые способы борьбы с ними. – Новосибирск: Наука, 1992.– С.408.

7. Куценко Л.М., Шоман О.В., Васильев С.В. Передбачення кромки вигоряння при лісовій пожежі методом імідажевої екстраполяції.// Сб. научн. тр. “Проблемы пожарной безопасности”.- Харьков: АПБУ, 2001. – вып. 10, - С. 98-102.

8. Басманов А.Е., Созник А.П., Тарасенко А.А. Экспериментально-аналитическая модель скорости распространения низового лесного пожара. // Сб. научн тр. “Проблемы пожарной безопасности”. – Харьков: АПБУ, 2002.- Вып. 11. – С.17-25.

9. Никонов, А.Ю. Система для обучения персонала тактике борьбы с лесными пожарами / А.Ю. Никонов, Д.Н. Сучков, Г.А. Доррер // Сложные системы в экстремальных условиях: Тезисы докладов XIII Международного симпозиума. – Красноярск, 2006.- С. 53-54.
nuczu.edu.ua

Л.В. Гусева, О.О. Панина

До питання про теоретичну модель розрахунку контуру пожежі

Робота присвячена дослідженню побудови теоретичної моделі, що дозволяє розрахувати контур пожежі в різні моменти часу і моделювання залежності швидкості від основних чинників розвитку пожежі.

Ключові слова: контур пожежі, математична модель, радикальна швидкість.

I.V. Guseva, E.A. Panina

To question about the theoretical model of rasscheta of scopes fire

Work is devoted research of construction of theoretical model, allowing to expect the contour of fire in different moments of time and design of dependence of speed from the basic factors of development of fire.

Keywords: contour of fire, mathematical model, radical speed.