
ПОЖАРНАЯ ТАКТИКА, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ И ТУШЕНИЯ

МЕТОД ОЦЕНКИ ВОЗМОЖНОСТИ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ СТРОЕНИЙ В НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТАХ ОТ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

**Г.А. Доррер, доктор технических наук, профессор.
Сибирский государственный технологический университет.
С.А. Техтереков, кандидат педагогических наук.
Сибирская пожарно-спасательная академия – филиал
Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России**

Предложена методика определения факта воспламенения строений в населенном пункте от действия лесного пожара. Основу методики составляет оценивание теплового потока пожара. Рассмотрены основные допущения и некоторые следствия из них.

Ключевые слова: лесной пожар, населенный пункт, тепловой поток, энтальпия, группа воспламеняемости

EVALUATION METHOD OF THE POSSIBILITY OF BUILDING IGNITION IN SETTLEMENTS BECAUSE OF FOREST FIRES

G.A. Dorrer. Siberian state technological university
S.A. Tekhterekov. Siberian fire and rescue academy – branch of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The technique of determining the buildings ignition in settlements because of forest fire is presented in the article. The methodology is based on the fire heat flux estimation. The main assumptions and some consequences are considered.

Keywords: wildfire, settlements, heat flux, enthalpy, flammability group

Природные, главным образом лесные, пожары представляют серьезную угрозу для жизни и здоровья людей, а также служат причиной повреждения и уничтожения населенных пунктов, объектов инфраструктуры и других объектов защиты. Так в 2010 г. от природных пожаров погибло свыше 50 человек, было уничтожено более 2500 домов, отмечалось повышение смертности населения от эффектов задымления, вызванного пожарами. Таким образом, оценка возможности зажигания строений населенного пункта природным пожаром является актуальной.

Наиболее простым и очевидным подходом для оценки возможности зажигания населенного пункта представляется использование универсальных методов прогнозирования

динамики площади и/или кромки лесного пожара, например методов, представленных в работах [1, 2]. Однако применение таких методов не дает возможности учесть ряд существенных параметров, как переход лесного пожара через область (границу) населенного пункта, переход огня с растительных горючих материалов на строительные конструкции. В данной работе предлагается метод, позволяющий учесть некоторые эффекты, возникающие на границе лесной массив – населенный пункт при подходе к ней фронта лесного пожара.

Лесной пожар рассматривается как бегущая волна, то есть как самоподдерживающийся процесс локального высвобождения энергии в активной среде. Скорость продвижения фронта огня по слою лесного горючего определяется процессом нагрева горючего в фазе, предшествующей воспламенению.

Для упрощения расчетов положим структуру растительных горючих материалов однослойной, то есть будем рассматривать распространение пожара в координатах (x, y, z) , где оси x и y совпадают с координатами плана местности. Запас горючих материалов будем считать непостоянным по времени и рассматривать в виде функции $\omega(x, y, z, t)$. Структуру горючих материалов будем считать разделенной на области, описанные ниже, и однородной в пределах этих областей [3, 4].

Пусть имеется некоторая точка C с координатами (x, y, z) . Выделим в окрестности этой точки элементарный объем ΔV . Горючий материал в окрестностях точки C в некоторый момент времени может находиться в одном из трех состояний, описываемых функцией: $S(x, y, z, t)$:

$$S(x, y, z, t) = \begin{cases} 0, & \text{если в точке } C \text{ в момент } t \text{ имеется ненулевой запас} \\ & \text{горючего (то есть } \omega(x, y, z, t) > 0 \text{), но горения} \\ & \text{не происходит;} \\ 1, & \text{если } \omega(x, y, z, t) > 0 \text{ и происходит горение;} \\ 2, & \text{если } \omega(x, y, t) = 0 \text{ то есть горение невозможно.} \end{cases}$$

Области, соответствующие состояниям $S = 0$, $S = 1$, $S = 2$ обозначаются соответственно Ω_0 , Ω_1 , Ω_2 .

Пусть известны характеристики горючего. Если горючее в окрестности точки $C = (x, y, z)$ в момент времени t находится в состоянии $S(x, y, t) = 0$, то происходит нагрев материала в соответствии с уравнением теплового баланса:

$$\frac{\partial H_v(x, y, z, t)}{\partial t} = \operatorname{div} \vec{I}(x, y, z, t), \quad (1)$$

где H_v – энтальпия твердой фазы горючего, Дж/м³, вычисляемая по формуле:

$$H_v = C_p \rho (T - T_0) + C_l \rho M (T - T_0) + e \rho (M_0 - M),$$

где C_p , C_l – теплоемкость, соответственно материала и жидкости, Дж/кг·град; ρ – плотность материала, кг/м³; T , T_0 – текущая и начальная температура материала, °С; M , M_0 – текущее и начальное влагосодержание материала, кг/кг; e – теплота испарения

влаги, Дж/кг; $\vec{I} = iI_x + jI_y + kI_z$ – векторная сумма тепловых потоков, поступающих на элементарную площадку $\Delta\sigma$, Вт/м³; $-\text{div}\vec{I} = -\left(\frac{\partial I_x}{\partial x} + \frac{\partial I_y}{\partial y} + \frac{\partial I_z}{\partial z}\right)$ – скорость поглощения тепловой энергии в элементарном объеме $\Delta\nu$, Вт/м³.

Учитывая влияние теплового эффекта $\xi_v(x-x_1, y-y_1, z-z_1)$ реакции горения, происходящей в точке $C_1=(x_1, y_1, z_1)$, на скорость поглощения тепла горючим материалом в точке $C=(x, y, z)$, и теплопотери в окружающую среду и внешний тепловой поток, который может присутствовать в точке C , правая часть уравнения (1) представляется в виде:

$$-\text{div}\vec{I}(x, y, z, t) = \iiint_{\Omega_1} \Phi(x, y, z, t) \xi_v(x-x_1, y-y_1, z-z_1) dx_1 dy_1 dz_1 + \Phi_e(x, y, z, t) - \frac{\alpha\delta}{\rho c'} [H_v(x, y, z, t) - H_0(x, y, z)] \quad (2)$$

где Φ , Φ_e – соответственно, энергия, образующаяся при горении и поступающая от внешних источников, Вт/м³; α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²•град); δ – удельная поверхность слоя, м⁻¹.

Обозначив $\frac{\alpha\delta}{\rho c'} = k(x, y, z)$, где c' – приведенная теплоемкость влажного материала,

получим уравнение нагрева горючего материала в зоне Ω_0 :

$$\frac{\partial H_v(x, y, z, t)}{\partial t} = \iiint_{\Omega_1} \Phi(x_1, y_1, z_1, t) \xi_v(x-x_1, y-y_1, z-z_1) dx_1 dy_1 dz_1 + \Phi_e(x, y, z, t) - k [H_v(x, y, z, t) - H_0(x, y, z)]$$

которое должно рассматриваться при начальном условии $t = 0$:

$$H_v(x, y, z, 0) = H_{v0}(x, y, z), (x, y, z) \in \Omega_0.$$

Рассмотрим теперь явления, происходящие на границе лес – населенный пункт. Будем считать, что граница между лесом и населенным пунктом представляет собой полосу негорючего материала шириной $l \geq 0$. Для расчетов положим, что направление движения фронта пожара нормально по отношению к границе населенного пункта, фронт пожара прямолинейный.

Необходимо определить, произойдет ли зажигание строения, находящегося за границей населенного пункта, то есть, перейдет ли строение из состояния S_0 в S_1 . Наиболее удобным, исходя из предпосылок, описанных выше, представляется оценивать возможность зажигания здания по так называемой критической поверхностной плотности теплового потока, кВт/м². Любой горючий материал, согласно ГОСТу 30402–96 [5], относится к какой-либо из трех групп воспламеняемости (В1, В2, В3), в зависимости от величины поверхностной плотности теплового потока, необходимой для появления устойчивого пламенного горения. Таким образом, задача оценки зажигания строения от лесного пожара сводится к определению теплового потока от фронта лесного пожара на расстоянии l (рис.).

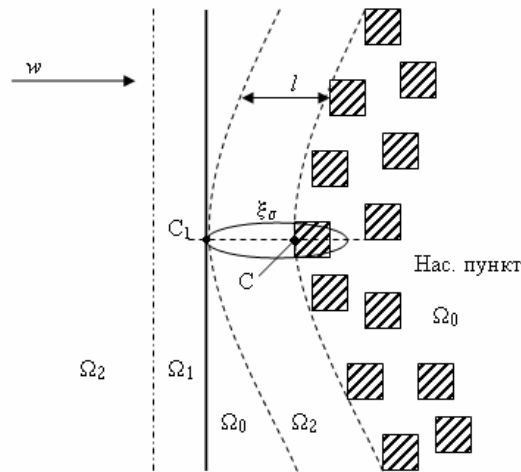


Рис. Фронт пожара на границе населенного пункта

Если тепловой поток I в точке C окажется больше либо равен некоторого $I_{кр}$ для данного здания (задается классом воспламеняемости для материала строения), то можно утверждать, что произойдет поджигание населенного пункта лесным пожаром. В данной работе не рассматривается дальнейшее развитие пожара в населенном пункте, а только факт поджога одного или нескольких строений.

Энергию, выделяющуюся при горении лесного пожара можно оценивать разными способами. Если известна скорость распространения пожара, можно воспользоваться формулой, описывающей взаимосвязь скорости и энергии, с учетом функции влияния. Подобная формула предложена, например, в работах Р. Ротермела, широко используемых в мире [6, 7]:

$$v = \frac{\xi \cdot \delta \cdot \Phi}{H^* - H_0},$$

где H^* – энтальпия начала газификации горючего материала; H_0 – начальная энтальпия твердой фазы горючего материала.

Отсюда получим выражение для определения энергии, выделяющейся при горении:

$$\Phi = \frac{v \cdot (H^* - H_0)}{\xi \cdot \delta}. \quad (3)$$

Параметры уравнения (3) могут быть взяты из таблиц-характеристик растительных горючих материалов или рассчитаны по какой-либо методике.

Учитывая изложенные выше допущения, метод оценки возможности поджигания строения в населенном пункте под воздействием лесного пожара можно представить в следующем виде:

– оценивается скорость движения фронта пожара и его направление, с помощью какого-либо метода прогнозирования, например [2], прогноз контуров отображается на карте;

– если в направлении распространения находится населенный пункт, область пожара в процессе движения «заметает» область населенного пункта полностью или частично, пожар считается условно-опасным;

– для условно-опасного пожара оценивается его тепловой поток, по формулам (2), (3). Если тепловой поток превышает критическое значение поверхностного теплового потока для

строений данного населенного пункта – пожар считается опасным, принимается решение о необходимости срочного тушения;

– критическое значение поверхностного теплового потока для строений населенного пункта ранжируется по определенному правилу, разработка которого выходит за рамки данной работы.

Таким образом, в работе предлагается метод оценки возможности воспламенения строений населенного пункта от действия лесного пожара. Метод базируется на термодинамике процессов высвобождения энергии при горении лесного пожара и использовании теплофизических характеристик растительных горючих материалов и материалов строений. В то же время использование обоснованных допущений делает возможным применение этого метода в инженерных расчетах, интеграцию его в информационные системы поддержки принятия решений.

В дальнейшем предполагается более глубокая разработка описанного метода, проведение вычислительных экспериментов, пробное прогнозирование на реальных пожарах. Также метод может быть легко усовершенствован так, что позволит оценивать вероятность поджигания строений населенного пункта и прогнозировать дальнейшее движение пожара по населенному пункту.

Литература

1. Волокитина А.В., Софронов М.А., Софронова Т.М. Прогноз поведения низовых пожаров на основе карт растительных горючих материалов: учеб. пособие. Красноярск: Ин-т леса СО РАН; СибГТУ, 2005. 92 с.

2. Берестенькова М.В., Доррер Г.А., Коморовский В.С. Методы прогнозирования параметров лесных пожаров на основе данных, хранящихся в информационной системе «ИСДМ-Рослесхоз» // Проблемы информатизации региона: материалы XI науч.-практ. конф. Красноярск, 2009. С. 167–170.

3. Доррер Г.А. Динамика лесных пожаров. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. 404 с.

4. Вдовенко М.С. Моделирование процессов распространения лесных пожаров на основе параллельных алгоритмов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Красноярск, 2009. 24 с.

5. ГОСТ 30402–96. Материалы строительные. Метод испытания на воспламеняемость. М.: Изд-во стандартов, 1996. 18 с.

6. Rothermel R.C. A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels. Int-115: Inter-Mountain forest and range experiment Station. Ogden: USDA, Forest Service Research Paper, 1972. 40 p.

7. Rothermel R.C. Predicting behavior and size of crown fires in the Northern Rocky Mountains. Ogden: UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Research Station, 1991. 46 p.