

**МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ФРОНТА НИЗОВОГО ПОЖАРА
ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВНЕШНИХ УСЛОВИЯХ**

Э.Е. Сопруненко

Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. В.А. Перминов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: soprunenko.elina@yandex.ru

**SIMULATION OF THE PROPAGATION OF THE FRONT OF SURFACE FIRES
UNDER DIFFERENT EXTERNAL CONDITIONS**

E.E. Soprunenko

Scientific Supervisor: Prof., Dr. Sci. (Phys.–Math.). V.A. Perminov

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: soprunenko.elina@yandex.ru

***Abstract.** Mathematical model of forest fire was based on an analysis of known experimental data and using concept and methods from reactive media mechanics. The paper suggested in the context of the general mathematical model of forest fires gives a new mathematical setting and method of numerical solution of this problem. It is based on numerical solution of two dimensional Reynolds equations for the description of turbulent flow taking into account for diffusion equations chemical components and equations of energy conservation for gaseous and condensed phases. To obtain discrete analogies a method of finite volume was used. Dependence of the rate of crown forest fire on various characteristics of forest and meteorological conditions is obtained in this paper. Mathematical model and the result of the calculation give an opportunity to consider forest fire spread for different wind velocity, canopy bulk densities and moisture forest fuel. The results obtained by the model are compared to experimental measurements and data of others authors.*

Динамика горимости лесов Сибири за последние 15 лет показывает устойчивую тенденцию роста, как по числу пожаров, так и по их площади [1]. Исходя из вышесказанного, невозможно недооценить существующие проблемы, связанные с ущербом, наносимым природными пожарами. Они оказывают колоссальное влияние на все сферы человеческой жизни и относятся к наиболее опасным чрезвычайным ситуациям.

Цель данной работы: изучение влияния скорости ветра и влагосодержания лесного горючего материала на скорость распространения фронта низового пожара. При осуществлении расчетов в программно-вычислительном комплексе [2] параметры для модели низового пожара и значение параметров внешней среды были взяты из работ Морвана и Мэлла [3, 4], в которых особое место отведено исследованию роли ветра и влагосодержания лесного горючего материала на характер распространения пожара. Морван в своей работе [3] исследует распространение искусственно созданного пожара на экспериментальной установке через слой. Его модель, описывает влияние ветра на поведение пламени и скорость его движения через слой сосновых игл. Мэлл [4] создал численную

модель на основе экспериментальной модели Мендеса-Лопеша и изучал влияние влагосодержания и скорости ветра на изменение скорости распространения пламени при низовом пожаре.

На основе вышеописанных работ [3, 4] для выполнения поставленной цели была создана модель распространения огня через слой хвои при различных внешних условиях. В данной модели горючий материал представляет собой опавшую хвою толщиной 0,05 м на площадке размером $4,2 \times 1 \times 0,9$ м, ориентированной по направлению скорости ветра. Зажигание производилось на расстоянии 1 м от начала площадки в направлении скорости ветра и равномерно по всей ее ширине. После зажигания была образована огненная полоса с высокой интенсивностью и достаточно продолжительным временем горения, что обеспечило гарантированное равномерное формирование фронта горения. Скорость ветра составляла 1–3 м/с, влагосодержание лесного горючего материала 10 и 18%. Данные получены во временном интервале 150 секунд с начала распространения заданного фронта низового пожара. На рисунке 1 показана рассматриваемая модель низового пожара, где ось x_1 совпадает с направлением ветра и задается на левой границе области.

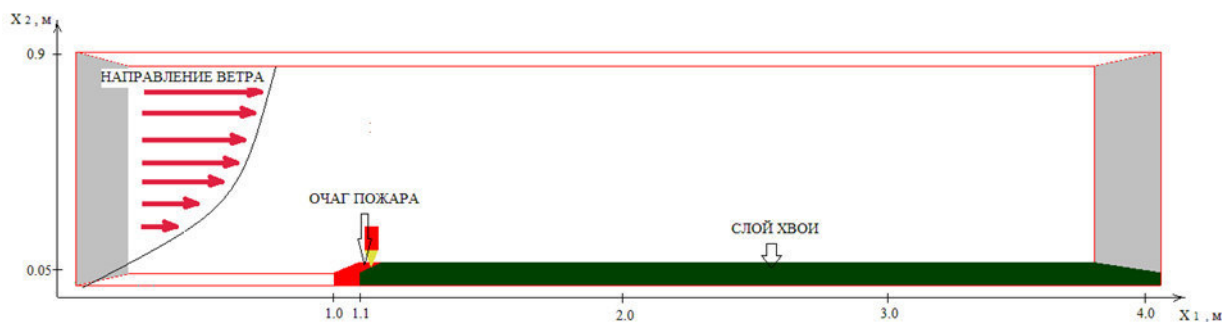


Рис. 1. Рассматриваемая модель низового лесного пожара

Для описания данного процесса переноса используется система дифференциальных уравнений, выражающих законы сохранения массы, импульса и концентрации компонентов в рассматриваемой области. Математически данная задача сводится к решению системы дифференциальных уравнений на основе общей математической модели [5].

В результате решения поставленной задачи была рассчитана скорость распространения фронта низового пожара на интервалах 0,5-2,0 м при различных внешних условиях: скорость ветра 1–3 м/с, влагосодержание лесного горючего материала 10 и 18%. Полученные данные представлены в таблице 1.

Таблица 1

Время движения низового пожара на различных интервалах
при различных внешних условиях

W, 10%			W, 18%		
$l, \text{ м}$	$t, \text{ сек}$ ($v_B = 1 \text{ м/с}$)	$t, \text{ сек}$ ($v_B = 2 \text{ м/с}$)	$l, \text{ м}$	$t, \text{ сек}$ ($v_B = 1 \text{ м/с}$)	$t, \text{ сек}$ ($v_B = 2 \text{ м/с}$)
0,10	11	9	0,10	2	2
0,30	22	14	0,30	6	4
0,50	32	21	0,50	18	6
0,70	46	28	0,70	35	14
1,00	67	39	1,00	60	22
1,50	102	53	1,50	103	46
2,00	141	67	2,00	144	70

В данной работе, как и в ранее упомянутых [3, 4] был отмечен рост скорости распространения низового пожара с увеличением скорости ветра. Рисунки 2 и 3 показывают предсказанные траектории фронта низового пожара с течением времени для различных значений скоростей ветра и влагосодержании лесного горючего материала.

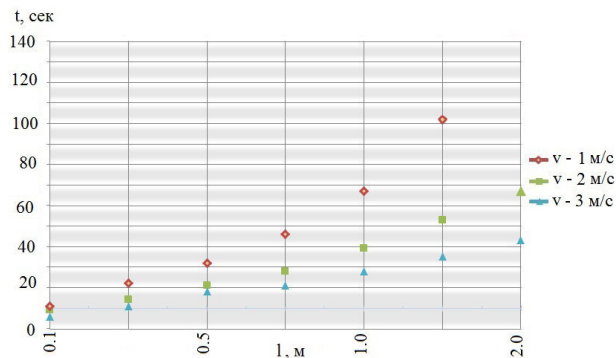


Рис. 2. Траектории фронта низового пожара для трех рассматриваемых скоростей ветра при влагосодержании 10%

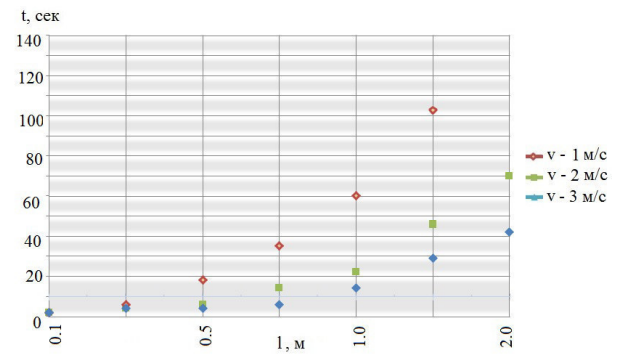


Рис. 3. Траектории фронта низового пожара для трех рассматриваемых скоростей ветра при влагосодержании 18 %

Из полученных данных видно, что после 60–70 секунд движения фронта пламени, горение выходит на устойчивый режим распространения. Морван в своей работе [3] также отмечает, что при достижении 70 секунд, амплитуда неустойчивости пламени уменьшается и достигается его квазиустойчивое поведение. Местоположение фронта пиролиза определялось нами как самое правое положение, где температура твердой фазы достигала 500 К, как и в работе Морвана [3]. Валидация полученной модели низового пожара достигается путем сравнения с работами Морвана и Мэлла [3, 4].

Исследование роли ветра в борьбе с лесными низовыми пожарами необходимо нам для лучшего понимания поведения пожаров, достоверной оценки и составления прогноза их развития. В данной работе важно было приблизиться к пониманию условий, при которых осуществляется начальная стадия распространения низового пожара и выход пламени на устойчивый режим движения. Поставленная задача осуществлялась через исследование изменения скорости распространения пожара в зависимости от внешних условий. На основе таких моделей, возможно, моделировать временное и пространственное развитие пожара, что может быть использовано для профилактики и подготовки противопожарных мероприятий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сопруненко Э. Е. Математическое моделирование воздействия верховых лесных пожаров на здания и сооружения [Текст]: дис. ... магистр: 01.02.05: утв. 11.06.15 / Э. Е. Сопруненко. – 2015. – 110 с.
2. CHAM PHOENICS Your Gateway to CFD Success [Электронный ресурс] URL: <http://www.cham.co.uk/>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ. Дата обращения: 10.11.2014 г.
3. Porterie B., Morvan D., Loraud, J.C.; Larini, M. Fire spread through fuel beds: Modelling of wind aided fires and induced hydrodynamics // Physics of Fluids. 2000. 12(7). pp. 1762-1872.
4. Menage D, Chetehouna K, Mell W. Numerical simulations of fire spread in a Pinus pinaster needles fuel bed // Journal of Physics: Conference Series. 2012.
5. Гришин А. М. Математические модели лесных пожаров и новые способы борьбы с ними. – Новосибирск: Наука, 1992. – 408 с.