

**ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЗМА РАСПРОСТРАНЕНИЯ НИЗОВОГО ЛЕСНОГО ПОЖАРА
С ПОМОЩЬЮ ЧИСЛЕННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА**

Э. 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

**STUDY OF THE SPREAD MECHANISM OF GROUND FOREST FIRE
USING THE NUMERICAL EXPERIMENT**

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.** One of the models of the ground forest fire, which is of great practical importance, is the model of the spread of a ground fire through a layer of forest combustible material. When assessing fire hazard, the properties of forest combustible materials, meteorological conditions are taken into account. The speed of the wind and the moisture content of the forest combustible material are of decisive importance for the assessment and analysis of the existing situation, and also for forecasting. To obtain an adequate mathematical model and a successful formulation of a numerical experiment, a full and correctly described physical model of a forest fire plays a decisive role, taking into account those of its mechanisms that play a decisive role.*

Введение. Полноценное экспериментальное исследование распространения фронта лесного пожара в природных условиях трудноразрешимо, вследствие плохой воспроизводимости результатов измерений, и их зависимости от определенных внешних условий. Цель данной работы состоит в изучении механизма распространения низового лесного пожара (НЛП) с помощью численного эксперимента. Особое внимание в данной работе уделено физической постановке задачи и ее роли при получении адекватной модели.

Постановка задачи. Полноценная физическая модель ложится крепким фундаментом в постановку успешного численного эксперимента. Модельное описание зоны пожара следующие: часть природной среды, внутри которой термодинамические параметры отличаются от равновесных значений вследствие изменения температуры и состава окружающей среды при физико-химических превращениях во фронте пожара. Эти параметры модельных расчетов главным образом определяются погодными условиями и типом растительности [1]. Согласно [2] основные стадии горения с соответствующими температурными диапазонами при пожаре включают в себя: сушку ($333\text{K} \leq T < 600\text{K}$), пиролиз ($600\text{K} \leq T < 1100\text{K}$) и горение ($T \geq 1100\text{K}$, $W < 0.15$; $z > 1.2 \left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^2} \right]$).

При осуществлении данного численного эксперимента предполагается, что:

1) течение носит развитый турбулентный характер и молекулярным переносом пренебрегаем по сравнению с турбулентным; 2) плотность газовой фазы не зависит от давления из-за малости скорости

течения по сравнению со скоростью звука; 3) среда находится в локально-термодинамическом равновесии; 4) известна скорость ветра; 5) газодисперсная смесь бинарная и состоит из частиц конденсированной фазы, а также газовой фазы – компонентов кислорода, газообразных горючих и инертных компонентов. Математически данная задача сводится к решению системы дифференциальных уравнений на основе общей математической модели[1].

Модель распространения огня через слой хвои при различных внешних условиях была создана на основе модели, описанной в работе [1] с добавлением модели турбулентности k-ε RNG с турбулентным горением, модели переноса излучения, учетом коэффициентов обмена фаз и сопротивления через объемные доли фаз. При проведении расчетов в программно-вычислительном комплексе [3] размеры области низового лесного пожара и внешние условия были взяты из работы [4]. Лесной горючий материал (ЛГМ) представлен слоем опавшей хвои толщиной 0.017 м и размером 0.5 × 0.2 м, площадка с полосой зажигания ориентирована по направлению скорости ветра. Скорость ветра изменялась в диапазоне 0.1 – 0.185 м/с, влагосодержание лесного горючего материала составляло 3%. Данные получены во временном интервале 60 секунд с начала распространения заданного фронта низового пожара. Из полученных ранее данных [5] видно, что после 60–70 секунд движения фронта пламени, горение выходит на устойчивый режим распространения. На рисунке 1 показана схема рассматриваемой области низового пожара, где ось x совпадает с направлением ветра и задается на правой границе области.

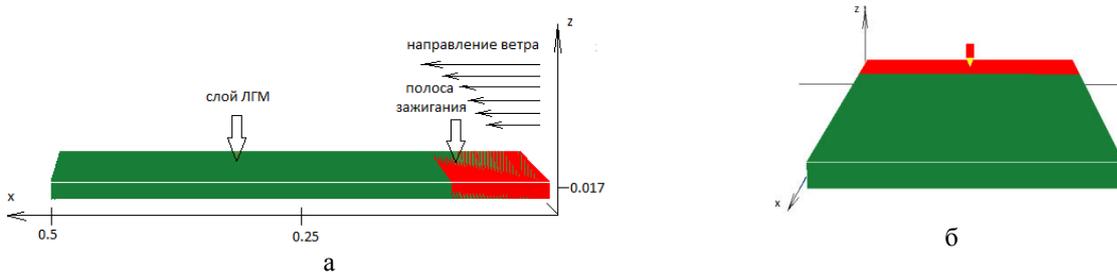


Рис. 1. Рассматриваемая модель низового лесного пожара (а – вид сбоку, б – вид спереди)

Таблица 1

Изменение температуры при распространении НЛП в различные моменты времени
 в слое и над слоем ЛГМ

z, м (высота слоя ЛГМ)	t, сек при v = 0.1 м/с		
	4	30	60
В слое ЛГМ, при z=0 м.	550 К ≤ T < 600К	380 К ≤ T < 900К	400 К ≤ T < 900 К
Над слоем ЛГМ, при z=0.017 м.	500 К ≤ T < 600К,	730 К ≤ T < 900 К	700 К ≤ T < 900 К
z, м	t, сек при v = 0.135 м/с		
	4	30	60
В слое ЛГМ, при z=0 м.	550 К ≤ T < 600К	350К ≤ T < 900К	400 К ≤ T < 820 К
Над слоем ЛГМ, при z=0.017 м.	450К ≤ T < 600К,	700К ≤ T < 830К	600 К ≤ T < 710 К
z, м	t, сек при v = 0.185 м/с		
	4	30	60
В слое ЛГМ, при z=0 м.	500 К ≤ T < 600 К	380К ≤ T < 850 К	380 К ≤ T < 870 К
Над слоем ЛГМ, при z=0.017 м.	450 К ≤ T < 600 К	600 К ≤ T < 720 К	550 К ≤ T < 730 К

Исходя из полученных данных можно сделать выводы об условиях протекания различных стадий горения (Таблица 1):

1. В первые 30 секунд начала горения температура выше в слое ЛГМ, что можно объяснить охлаждением верхней части за счет конвективного теплообмена с течением над слоем ЛГМ. С течением времени, в интервале 30-60 сек температуры над слоем ЛГМ увеличиваются, что связано с увеличением времени прогрева.

2. С увеличением скоростей ветра в диапазоне значений 0.1 – 0.185 м/с, наблюдается снижение температур, как в слое, так и над слоем ЛГМ на трех выделенных временных интервалах (0-4; 4-30 и 30-60 сек), что связано с увеличением скорости распространения фронта НЛП и как следствие, сокращением времени прогрева ЛГМ, эти данные согласуются с данными эксперимента в работе [4]: с увеличением скорости ветра от 0.1 до 0.185 м/с уменьшается максимальная температура во фронте пламени и растет ширина зоны пламени..

3. Временной интервал до 30 секунд включает сушку и нагрев ЛГМ до температуры начала разложения (пиролиза), температура этой стадии: $550\text{ K} \leq T < 600\text{ K}$. После 30 секунд происходит воспламенение газов с температурами $380\text{ K} \leq T < 900\text{ K}$ и пламенное горение, которое сопровождается выделением углекислого газа, водяных паров и несгоревших газов и с более высокими температурами $700\text{ K} \leq T < 900\text{ K}$.

Выводы. Результаты численных экспериментов типовых сценариев НЛП на основе полноценных физических моделей могут служить эффективным инструментом для поддержки и принятия управленческих решений при прогнозировании распространения лесного пожара. Также они могут быть использованы для расчета запаса времени принятия противопожарных мер при угрозе объектам социальной инфраструктуре и для создания моделей тактического уровня.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гришин А. М. Математические модели лесных пожаров и новые способы борьбы с ними. – Новосибирск: Наука, 1992. – 408 с.
2. Ходаков В.Е., Жарикова М.В. Лесные пожары: методы исследования. – Херсон: Гринь Д.С., 2011. – 470 с.
3. CHAM PHOENICS Your Gateway to CFD Success [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.cham.co.uk/> – 10.11.2014 г.
4. Терещенко А.Г., Коробейничев О.П., Палецкий А.А., Шмаков А.Г., Чернов А.А. Скорость и структура пламени при его распространении по слою хвои в зависимости от скорости ветра//XX Всероссийская научная конференция с международным участием «Сопряженные задачи механики реагирующих сред, информатики и экологии», г. Томск, 21-23 сентября 2016 г.: Изд-во ТГУ, 2016. – Т.1 – С.55-57.
5. Сопруненко Э. Е. Моделирование распространения фронта низового пожара при различных внешних условиях / Э. Е. Сопруненко; науч. рук. В. А. Перминов // Перспективы развития фундаментальных наук: сборник научных трудов XIII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Томск, 26-29 апреля 2016 г.: в 7 т. — Томск: Изд-во ТПУ, 2016. — Т. 3: Математика. — [С. 102-104].