

7. Захарова, И. Г. Информационные технологии в образовании : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / И. Г. Захарова. – 6-е изд., стер. — М.: Академия, 2010. – 192 с.
8. Белозубов, А.В. Система дистанционного обучения Moodle : учебно-методическое пособие / А.В. Белозубов, Д.Г. Николаев. – СПб. 2007. – 108 с.

УДК 630\*432.1:911.37:519.87

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВЕРХОВОГО ЛЕСНОГО ПОЖАРА

*Коржова Александра Юрьевна*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск*

E-mail: koralsasha96@gmail.com

## MATHEMATICAL MODELING OF THE SPREAD OF TOP FOREST FIRE

*Korzhova Aleksandra Yuryevna*

*National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk*

**Аннотация:** В статье приведено теоретическое исследование распространения верхового лесного пожара. Для решения задачи были использованы нестационарные двумерные уравнения сохранения, которые можно решить численно, входные условия которых, характерны для крупных лесных пожаров. Используется система дифференциальных уравнений и их частных производных с соответствующими начальными и граничными условиями, решение дискретного аналога было получено с помощью метода контрольного объема.

**Abstract:** The article presents a theoretical study of the spread of horse forest fire. To solve the problem, non-stationary two-dimensional conservation equations were used, which can be solved numerically, and the input conditions are characteristic of large forest fires. A system of differential equations and their partial derivatives with the corresponding initial and boundary conditions is used. A discrete analogue was obtained using the control volume method.

**Ключевые слова:** математическое моделирование; населенные пункты; лесной пожар; численный метод уравнение; конечный объем.

**Keywords:** mathematical modeling; settlements; forest fire; numerical method; equation; finite volume.

Леса являются национальным богатством на планете. Общая площадь лесов составляет почти третью часть всей суши, а это почти 38,2 млн. км<sup>2</sup>. Ежегодно на территории лесного фонда Российской Федерации регистрируются от 15 до 37 тыс. пожаров в лесных массивах, они охватывают огромные площади. Лесные пожары являются одной из актуальных проблем в России на сегодняшний день. Эти опасные стихийные бедствия, создают угрозу для здоровья и жизни людей их материальных ресурсов, приносят огромный ущерб, негативно воздействуя на здания и сооружения, находящиеся вблизи жилых районов их возникновения и развития, представляют собой проблему для ведения лесного хозяйства [1]. В экологии и экономической сфере проблема возникновения и распространения лесных пожаров занимает одно из первых мест среди стихийных катастроф. Лесные пожары загрязняют атмосферный воздух продуктами пиролиза ЛГМ и углекислым газом, что пагубно влияет на окружающую среду. Площади, пройденные лесными пожарами, подлежат долгому восстановлению, после прохождения этих стихийных бедствий значительно ухудшаются свойства древесины [2].

Верховые лесные пожары являются наиболее опасным и угрожающим видом, при верховых пожарах выгорает большая часть площади лесных массивов. Чтобы потушить верховой лесной пожар требуется большое количество материальных ресурсов, а в некоторых случаях тушение невозможно и часто не эффективно. Поэтому изучение данного

вида пожаров является актуальным и его воздействие на окружающие объекты, в частности населенные пункты, расположенные вблизи лесных массивов. Следует увеличить пожароустойчивость лесов, а при возникновении пожара немедленно реагировать на него и устранять, не дав погубить большие площади леса [3].

Экспериментальные методы исследования лесных пожаров обычно требуют больших финансовых затрат. Поэтому мы рассмотрим теоретические методы исследования. С помощью метода математического моделирования, есть возможность, описать наиболее важные характеристики леса, условия распространения лесных пожаров и приземного слоя атмосферы. Но стоит учесть, что решение полной модели невозможно, поэтому были использованы упрощения для решения поставленной задачи [4].

Предположим, что на напочвенном покрове имеется область с повышенной температурой, очаг низового пожара, который имеет определенные размеры, на заданной высоте, над пологом леса, имеется определенная скорость ветра, с которой происходит распространения очага горения, таким образом, из низового лесного пожара переходит в верховой. Под воздействием очага горения происходит инертный прогрев ЛГМ в пологе лесного массива, испаряется влага, и происходит пиролиз с выделением конденсированных и летучих продуктов, которые постепенно воспламеняются. Под действием ветра фронт горения перемещается по пологу леса [5]. Рассмотрим схематично область рассматриваемого процесса, представленную на рисунке 1.

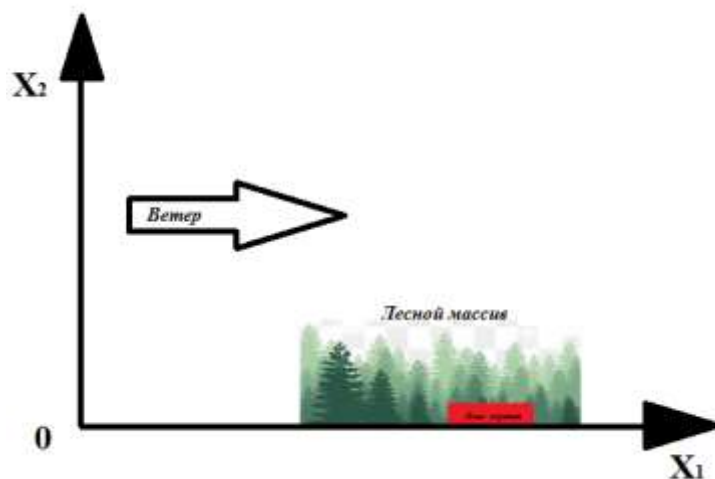


Рисунок 1 – Схема распространения лесного пожара

Предполагается, что:

- 1) течение турбулентное, при этом молекулярным переносом можно пренебречь;
- 2) значение плотности газовой фазы не зависит от давления;
- 3) имеет место локально-термодинамическое равновесие;
- 4) задаем скорость ветра над пологом лесного массива;
- 5) учитываем многофазность среды, состоящей из частиц конденсированной и газовой фазы (кислород, газообразные горючие продукты пиролиза и инертные компоненты) [6].

Поставленная задача была решена с помощью метода контрольного объема. Основным смысл данного метода легко понятен и поддается прямому физическому разъяснению. Данный метод проходит в несколько этапов. В первую очередь исследуемую область разбиваем на определенное количество непересекающихся контрольных объемов, так, чтобы каждая узловая точка находилась только в одном конечном объеме. На втором этапе интегрируем дифференциальные уравнения по каждому контрольному объему. В данный

метод заложено более точное интегральное сохранение таких величин, как энергия, масса и количество движения на любой группе контрольных объемов. Эту особенность можно продемонстрировать при разном количестве узловых точек [7].

Результаты математического моделирования представлены ниже. В исследуемой области с заданными координатами высоты 50 метров и длины 200 м, задаем лесной массив высотой 5 метров и длиной 100 метров. Получены распределения полей температуры, скорости и концентрации. В программе MATLAB визуализируем полученные результаты и строим графики. На рисунке 2, 3 приведены результаты распространения верхового лесного пожара при скоростях ветра 6 м/с, 10 м/с в разный момент времени. Переставленными числами 1 – 4; 2 – 3; 3 – 2; 4 – 1,5; 5 – 1,2 являются значения изотерм безразмерной температуры, которая определяется как:

$$T = \frac{T}{T_e}, T_e = 300\text{K}.$$

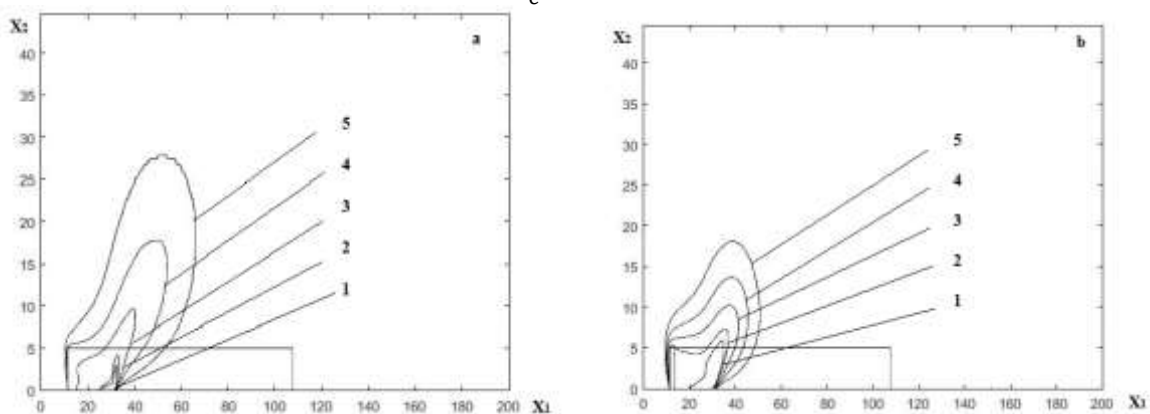


Рисунок 2 – Распространение лесного пожара при скорости ветра 6 м/с в момент времени а)10, б)15 сек

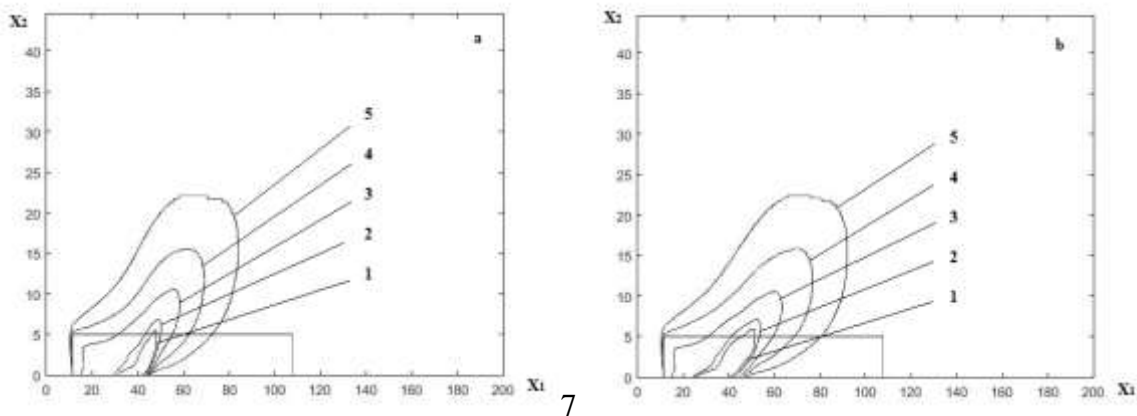


Рисунок 3 – Распространение лесного пожара при скорости ветра 10 м/с в момент времени а)10, б)15 сек

На основании изменений распределений изолиний можно сделать вывод о перемещении фронта пожара по направлению ветра, с течением времени очаг горения лесного пожара увеличивается. Под воздействием низового пожара, формулируется область горения, которая в дальнейшем распространяется по всему лесному массиву.

На рисунке 4 на основе полученных результатов приведен график зависимости, скорости распространения фронта пожара от скорости ветра 6,8,10 м/с и запаса лесных горючих материалов.

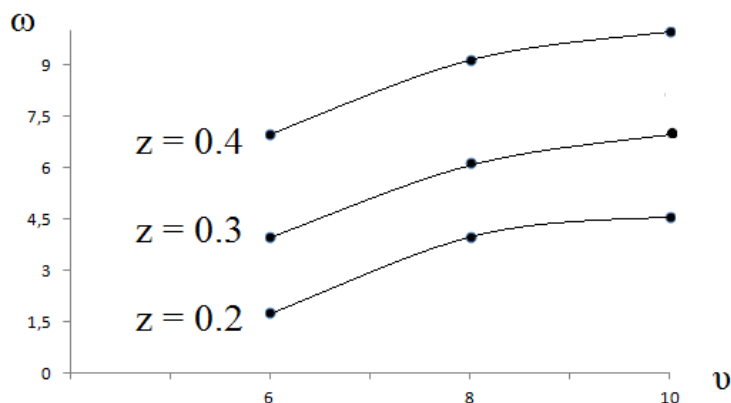


Рисунок 4 – График распределения запаса лесных горючих материалов

Из графика видно, что скорость распространения фронта пожара зависит от запаса лесных горючих материалов, таким образом, чем больше запас лесных горючих материалов, тем скорость распространения фронта лесного пожара больше. К лесным горючим материалам можно отнести мхи, лишайники, опавшую хвою, лесную подстилку и т.д.

#### Заключение

В данной работе была разработана математическая модель распространения фронта верхового лесного пожара, было проведено численное решение задачи о зажигании полога леса от низового лесного пожара. Были проведены многочисленные расчеты по описанию воздействия верховых лесных пожаров. Получен анализ данных и были визуализированы результаты расчетов с помощью ПО MATLAB.

#### Список литературы

1. Фрянова К.О., Перминов В.А. Воздействие лесных пожаров на здания и сооружения / Инженерно-технический журнал №7 – 2017. – С.15–22.
2. Федеральное агентство лесного хозяйства [Электронный ресурс] / URL: [http://rosleshoz.gov.ru/activity/forest\\_security\\_and\\_protection/fires/docs](http://rosleshoz.gov.ru/activity/forest_security_and_protection/fires/docs), свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. Дата обращения: 11.03.2018 г.
3. Официальный сайт ФБУ "Авиалесоохрана". [Электронный ресурс/ URL: <https://aviales.ru/>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. Дата обращения: 11.03.2018 г.
4. Перминов В. А. Математическое моделирование возникновения верховых и массовых лесных пожаров / Вестник Томского Государственного Университета – 2010. – 283 с.
5. Гришин А.М., Зятнин В.И., Перминов В.А. Экспериментальное исследование перехода низового лесного пожара в верховой // ВИНТИ – 1991. – № 982-91 – С.22.
6. Гришин А.М. Анализ действия лесных и степных пожаров на города и поселки и новая детерминированно-вероятностная модель прогноза пожарной опасности в населенных пунктах // Вестник Томского Государственного Университета. – 2009. – №1(6). – С. 41-48.
7. Патанкар С.В. Численные метода решения задач теплообмена и динамики жидкости, – 1984. – С.46– 89 .