

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ФРОНТА ВЕРХОВОГО ЛЕСНОГО ПОЖАРА С ПРОТИВОПОЖАРНЫМИ РАЗРЫВАМИ В СОПРЯЖЕННОЙ ПОСТАНОВКЕ

М.В. Иванова

*Томский политехнический университет, г. Томск
Научный руководитель: Перминов В.А, д.т.н, профессор кафедры экологии
и безопасности жизнедеятельности*

В России, а особенно в Сибири лес играет важную роль, влияя на многие сферы жизни. Ежегодно по стране возникают более 18 тыс. пожаров, причем большая часть (80 %) – по вине человека [1]. При этом верховые пожары являются наиболее опасными из-за большой скорости (до 50000 м/ч при беглом пожаре). При пожарах наносится ущерб инфраструктуре, лесным угодьям, животному и растительному миру, возможны человеческие жертвы. Актуальность проблемы лесных пожаров несомненна.

Одним из способов решения данной проблемы является математическое моделирование пожара, то есть, создание математических моделей. Подобные модели используются для составления прогнозов поведения реальных лесных пожаров, для разработки мер по предупреждению и устранению пожаров в случае их возникновения. Достоинствами такого метода является относительная дешевизна, отсутствие влияния на окружающую среду, возможность работы с различными параметрами. Недостатки же заключаются в необходимости либо значительно упрощать задачи, либо использовать огромные вычислительные мощности.

Объектом исследования являются лесные пожары. Предмет исследования – математическое моделирование возникновения и распространения верхового лесного пожара при наличии и в отсутствии разрывов в сопряженной постановке.

Постановка задачи

Математическая постановка задачи получена на основе общей математической модели пожаров [3].

Пусть очаг зажигания имеет конечные размеры, причем начало системы координат X, Y, Z связано с центром очага. Ось OZ направлена вертикально вверх, а оси OX и OY – параллельно земной поверхности. Ось OX направлена параллельно направлению ветра (рис. 1).

Основные допущения, принятые при выводе системы уравнений начальных и граничных условий.

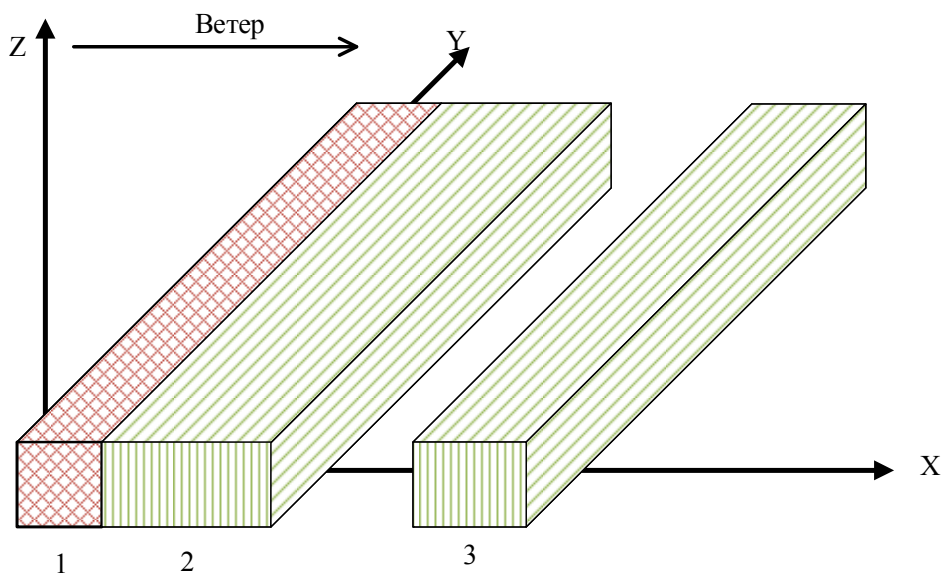


Рис. 1. Система координат с очагом зажигания в центре:
1 – очаг зажигания; 2 и 3 – лесной массив

Ветер направлен вдоль оси Ox , течение носит развитый турбулентный характер, и молекулярным переносом пренебрегаем по сравнению с турбулентным; полог леса предполагается недеформируемой пористо-дисперсной средой; среда в пологе леса считается двухтемпературной, т. к. различаются температура газовой и конденсированной фазы; среда находится в локальном термодинамическом равновесии; рассматривается так называемый продуваемый лесной массив, когда объемной долей конденсированной фазы лесных горючих материалов (ЛГМ), состоящей из сухого органического вещества, воды в жидкокапельном состоянии и золы можно пренебречь по сравнению с объемной долей газовой фазы, включающей в себя компоненты воздуха и газообразные продукты пиролиза и горения; плотность газовой фазы не зависит от давления, т. к. скорость течения мала по сравнению со скоростью звука; для описания процесса переноса энергии излучением используется диффузионное приближение.

В области высоты h , расположенной выше уровня шероховатости Z_0 и ниже уровня верхней границы полога леса в плоскости XZ , имеем уравнения, выражающие законы сохранения для многофазной многокомпонентной сплошной реагирующей среды. Для приземного слоя атмосферы при $z \geq h$ система уравнений и начальные и граничные условия взяты из [3]. В целом, указанная система уравнений является обобщением известной системы уравнений Рейнольдса для турбулентных течений однофазной инертной жидкости и в то же время представляет собой

частный случай математической модели лесных пожаров, предложенной в [3].

Взаимодействие процессов горения в нижних и верхних ярусах леса в данной модели учитывается через граничные условия

Методика решения и результаты

Для численного интегрирования исходного системы уравнений используется метод контрольного объема. Расчетную область разбиваем на некоторое число непересекающихся контрольных объемов. Затем исходную систему уравнений интегрируем по каждому контрольному объему. В результате получается система алгебраических уравнений, которая решалась с помощью метода SIP [3].

Тестовые проверки программы расчета осуществлялись путем сравнения с аналитическими решениями, а также с известными численными решениями задач теории горения. Кроме того, для оценки точности используемых разностных схем и проверки правильности работы программы в целом использовался метод априори задаваемых аналитических решений, состоящий в том, что в используемые уравнения подставлялись аналитические выражения искомым функций, вычислялась неувязка уравнений, которая затем трактовалась как фиктивный источник в каждом уравнении. Затем значения функций восстанавливались. Точность восстановления этих функций составляла не менее 0,5 %. Устойчивость и точность полученных решений проверялась также уменьшением шагов по времени и пространству. В серийных расчетах использовался алгоритм автоматического выбора шага по времени.

Критический разрыв определялся при помощи программы wind2, для визуализации использовалась программа MATLAB. Проводились расчеты со следующими параметрами: скорость ветра: 3–7 м/с, влагосодержание: 0.2–0,8, запас ЛГМ: 0.5.

В результате расчетов получены значения скорости распространения пожара, а также поля температур, концентраций кислорода и летучих продуктов пиролиза.

На рис. 2 изображена зависимость размеров критического разрыва от скорости ветра. С увеличением скорости ветра пропорционально увеличиваются размеры противопожарного разрыва. Также с увеличением влагосодержания уменьшается горимость леса, соответственно, уменьшается необходимый разрыв. При невысокой скорости ветра (3–4 м/с) и высокой влажности (80 %) горение не происходит.

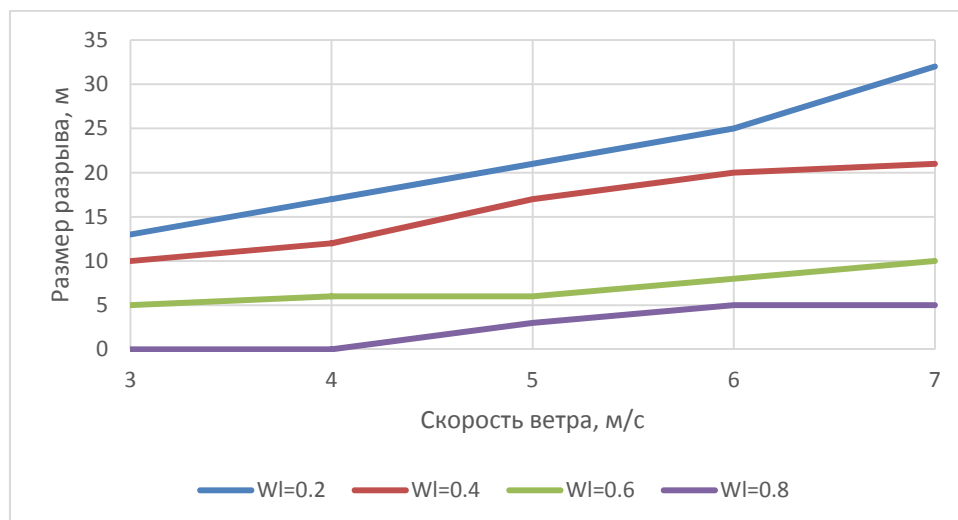


Рис. 2. Зависимость величины разрыва от скорости ветра

Вывод

В данной работе было исследовано влияние скорости ветра на скорость распространения верховых лесных пожаров и возможность преодоления противопожарного разрыва. Была изучена программа математического моделирования лесных пожаров «wind2», с помощью данной программы получены данные, а на основе этих данных с помощью программы «MATLAB» были построены графики распространения лесных пожаров.

Список информационных источников

1. Федеральное агентство лесного хозяйства [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.rosleshoz.gov.ru/forest_fires/info/644. 05.05.2016 г
2. Ходаков В.Е., Жарикова М.В. Лесные пожары: методы исследования. – Херсон: Гринь Д.С., 2011. – 470 с.
3. Гришин А.М. О математическом моделировании природных пожаров и катастроф // Вестник Томского Государственного университета. Математика и механика. –2008. –№2. –С.105–113.
4. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.70.mchs.gov.ru/pressroom/news/item/687576/> 05.05.2016