

## ВЛИЯНИЕ ПРОТИВОПОЖАРНЫХ РАЗРЫВОВ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

*Белькова Татьяна Анатольевна*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск*

E-mail: belkova\_ta@tpu.ru

*Цогзол Хурэлбаатар*

*Министерство по чрезвычайным ситуациям, г. Улан-Батор (Монголия)*

E-mail: tsogzol283@gmail.com

## THE EFFECT OF THE FIRE BREAKS ON THE SPREAD OF FOREST FIRES

*Belkova Tatyana Anatolyevna*

*National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk*

*Tsokzol Hurelbaatar,*

*Ministry of Emergency Situations, Ulaanbaatar (Mongolia)*

**Аннотация:** в статье описана физическая и математическая постановка задачи о распространении лесного пожара с учетом наличия противопожарных разрывов. В работе использовался метод контрольного объема. Проведено математическое моделирование процесса горения и определен оптимальный размер противопожарной полосы. Определена взаимосвязь между запасом лесного горючего материала и влажностью, скоростью ветра и минимальными размерами противопожарных разрывов для эффективного контроля распространения горения.

**Abstract:** the article describes the physical and mathematical formulation of the problem of the spread of forest fires, taking into account the presence of fire gaps. The control volume method was used in the work. Mathematical modeling of the combustion process was carried out, and the optimal sizes of fire breaks were determined. The relationship between the reserve and moisture content of forest fuel, wind speed and the minimum size of fire breaks for effective control of the spread of combustion is determined.

**Ключевые слова:** лесной пожар; горение; математическое моделирование; противопожарный разрыв; метод контрольного объема.

**Keywords:** forest fire; combustion; mathematical modeling; fire break; control volume method.

Противопожарные разрывы предусмотрены с целью предотвращения распространения огня на соседние объекты в случае возникновения пожара. Под противопожарными разрывами понимают специально созданные противопожарные преграды в лесах в виде просек различной ширины, вдоль которых часто проходят дороги. «Методические указания по предупреждению пожаров и регулированию лесопожарных работ» [1] предусматривают их только в тех случаях, когда существующие естественные и искусственные преграды недостаточны для разделения хвойных лесов, подверженных пожару. Тогда целесообразно устраивать на них дорожные просветы и создавать вдоль этих просветов лесные полосы с преобладанием лиственных пород деревьев. Ширина противопожарного барьера строго не регламентируется. Однако для прекращения низовых пожаров достаточно зазора в несколько метров. Практика борьбы с крупными лесными пожарами показала, что зачастую большие промежутки (100–200 м и более) являются единственным способом локализации пожаров и спасения от лесных пожаров населенных пунктов.

Противопожарные разрывы на территории лесного массива способны эффективно задерживать или полностью останавливать горение. Для эффективной борьбы с лесными пожарами необходимо рассчитать оптимальные размеры противопожарных разрывов, а

также определить параметры, влияющие на распространение и поддержание горения. Для расчета указанных параметров используем метод математического моделирования.

Математическое моделирование распространения лесных пожаров при наличии противопожарных разрывов позволит рассчитать оптимальные размеры полос, и далее учитывать полученные результаты при проектировании разрывов с учетом особенностей горения, состава лесного горючего материала в конкретном регионе и лесном массиве.

Математические модели могут решать широкий круг задач в зависимости от поставленной цели. Для описания процессов теплопереноса при лесных пожарах используются общие законы сохранения массы, импульса и энергии для гетерогенных двухтемпературных сред. Математическая модель для описания распространения верхового лесного пожара получена на основе общей математической модели лесных пожаров, предложенной А.М. Гришиным [2]. В рамках данной постановки задачи лес при пожаре рассматривается как пористо-дисперсная реакционноспособная сплошная среда. Это допущение позволяет использовать методы механики сплошной среды для моделирования изучаемого процесса.

Так как высота деревьев в лесном массиве значительно меньше его протяженности в горизонтальных направлениях, система дифференциальных уравнений, описывающая процесс теплопереноса в трехмерной области может быть проинтегрирована по высоте леса. В результате этого математическая постановка задачи сводится к решению системы уравнений Рейнольдса для турбулентного реакционноспособного течения в лесном массиве. Среда считается двухтемпературной, то есть при описании процессов инертного прогрева, сушки, пиролиза и горения учитываются температуры газовой и конденсированной фаз (см. рисунок 1) [2,3].

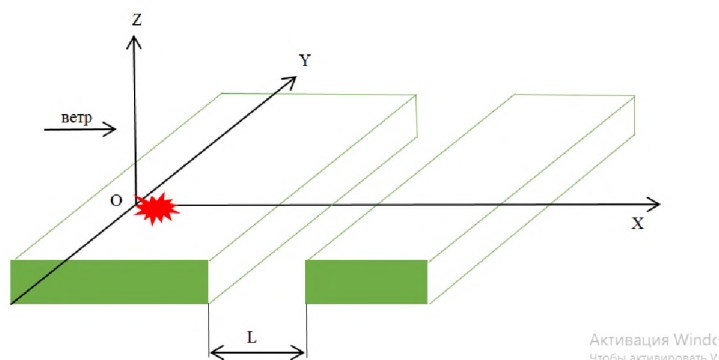


Рисунок 1 – Схема расчетной области

Для численного решения указанной задачи был использован метод контрольного объема. Метод контрольного объема представляет собой численный метод интегрирования уравнений в частных производных [4]. Вычислительная область разделена на множество непересекающихся контрольных объемов, каждый узел содержится в контрольном объеме. Дифференциальное уравнение интегрируется по каждому контрольному объему. Полученные дискретные аналоги для каждого дифференциального уравнения, то есть системы нелинейных алгебраических уравнений, решаются с помощью компьютерной программы. В результате численных расчетов получают распределения полей температуры, концентраций компонентов газовой и конденсированной фаз в различные моменты времени. В местах размещения противопожарных разрывов задается нулевое значение запаса лесных горючих материалов.

В результате расчетов получено распределение контуров температуры, которое соответствует моментам до и после прохождения разрыва при разных скоростях ветра. Численные расчеты проводились при скорости ветра 5 м/с, запасе лесного горючего материала (ЛГМ)  $0.2 \text{ кг/м}^3$  и влагосодержании 0.2 с учетом противопожарных разрывов шириной от 5 до 15 метров [5].

Расчеты проводились при следующих параметрах: запас лесного горючего материала (хвойный лесной массив)  $0.2 \text{ кг/м}^3$ , значения варьировались от  $0.2$  до  $0.6 \text{ кг/м}^3$ , скорость ветра возрастала от  $5$  до  $15 \text{ м/с}$ . Результаты расчетов представлены на рисунке 2.

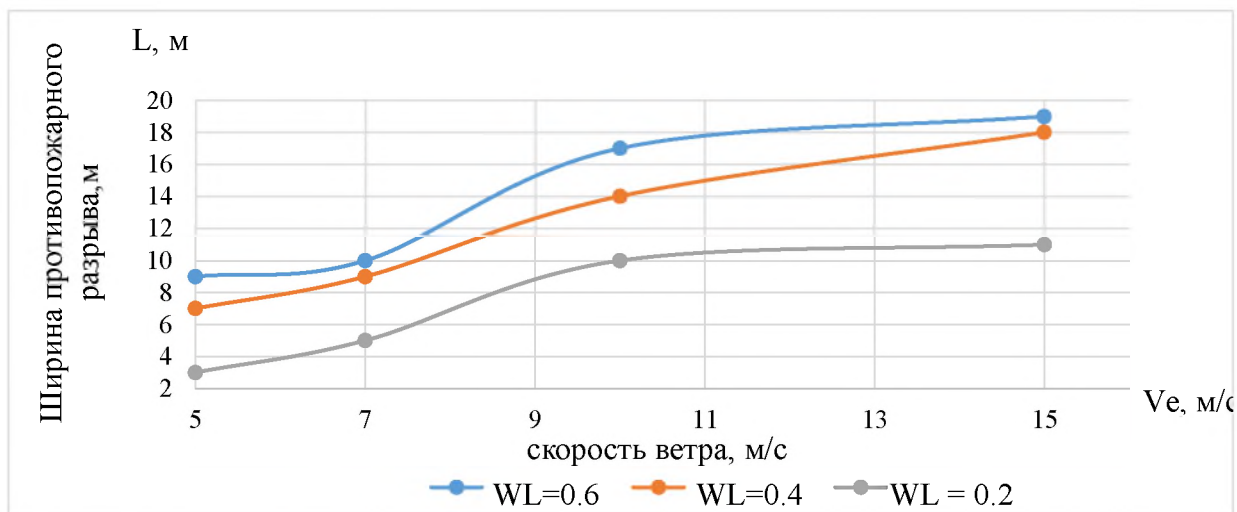


Рисунок 2 – График зависимости ширины противопожарных разрывов от скорости ветра при различном влагосодержании ЛГМ

Далее расчеты производились по следующим параметрам: влагосодержание  $0.2$ , изменение запаса ЛГМ от  $0.2 \text{ кг/м}^3$  до  $0.6 \text{ кг/м}^3$ , скорость ветра была увеличена от  $5$  до  $15 \text{ м/с}$ . Результаты расчетов представлены на рисунке 3.

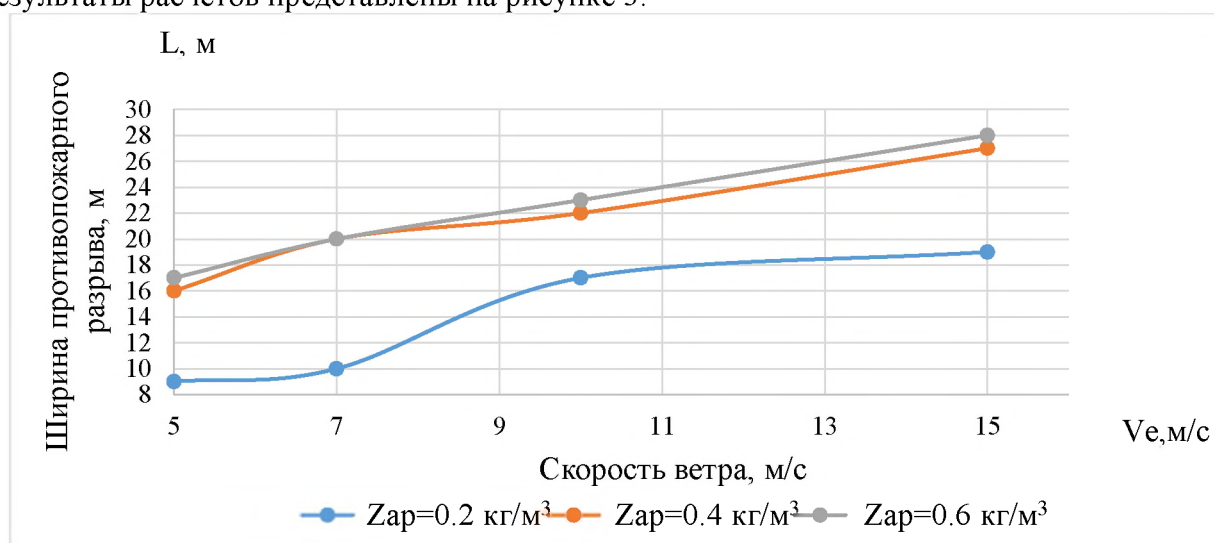


Рисунок 3 – График зависимость ширины противопожарных разрывов от скорости ветра при различных запасах ЛГМ

Также были произведены расчеты оптимального размера противопожарных разрывов в зависимости от запаса ЛГМ и влагосодержания лесного горючего материала и скорости ветра. Результаты расчетов приведены в таблице.

В рамках настоящей статьи были разработаны физическая и математическая постановка задачи о распространении низовых и верховых лесных пожаров при наличии противопожарных разрывов.

Исходя из приведенных данных, можно сделать вывод, что для распространения горения по влажному ЛГМ требуется больше энергии для испарения лишней воды. Из-за разбавления водяным паром перед фронтом горения уменьшенное количество кислорода способствует уменьшению пламени. Увеличение влажности способствует уменьшению глубины горения в слое ЛГМ.

Таблица – Результаты расчетов оптимальных размеров противопожарных разрывов

	Запас ЛГМ, кг/м <sup>3</sup>	Влагосодержание лесного массива		
		0,6	0,4	0,2
Скорость ветра 5 м/с				
Размер противопожарного разрыва, м	0,2	9	7	3
	0,4	16	7	3
	0,6	17	7	4
Скорость ветра 7 м/с				
Размер противопожарного разрыва, м	0,2	10	9	5
	0,4	20	9	5
	0,6	20	10	6
Скорость ветра 10 м/с				
Размер противопожарного разрыва, м	0,2	17	14	10
	0,4	23	12	8
	0,6	23	13	6
Скорость ветра 15 м/с				
Размер противопожарного разрыва, м	0,2	19	18	11
	0,4	27	16	11
	0,6	28	18	14

Расчеты показывают, что с увеличением влагосодержания лесного горючего материала размеры используемых противопожарных разрывов увеличиваются. Также размер противопожарного разрыва должен быть увеличен по мере увеличения скорости ветра.

#### Список литературы

1. Рекомендации по противопожарной профилактике в лесах и регламентации работы лесопожарных служб (утв. заместителем Руководителя Федеральной службы лесного хозяйства России Д.И. Одинцов 17 ноября 1997 года).
2. Гришин, А. М. Математическое моделирование лесных пожаров и новые способы борьбы с ними / А.М. Гришин. – Новосибирск: Наука, 1992. – 407 с.
3. Perminov, V. A. Mathematical Modeling of Crown Forest Fire Spread in the Presence of Fire Breaks and Barriers of Finite Size / V.A. Perminov, V.I. Marzaeva // Combustion, Explosion, and Shock Waves. — 2020. — Vol. 56, 3. — P. 332–343.
4. Патанкар, С. В. Численные метода решения задач теплообмена и динамики жидкости / С.В. Патанкар. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 124с.
5. Хурэлбаатар, Ц. Математическое моделирование возникновения и распространения природных пожаров при наличии противопожарных преград: бакалаврская работа / Ц. Хурэлбаатар; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности (ИШНКБ), Отделение контроля и диагностики (ОКД); науч. рук. В. А. Перминов. – Томск, 2020.
6. Старцева, Д. А. Численное решение задачи об определении размеров противопожарных разрывов при низовых лесных пожарах / Д.А. Старцева // Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле: взгляд в будущее. Сборник научных трудов VIII Международной конференции школьников, студентов, аспирантов, молодых ученых «Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле: взгляд в будущее». – Томск: Изд. НИ ТПУ, 2019. – С. 285–289.