

# Имитационное моделирование процесса распространения лесного пожара по неоднородному слою горючего материала

Лепп Н. Э., Ушанов С. В.

Сибирский государственный технологический университет, г. Красноярск;

Случайный характер процесса распространения огня в лесу, обусловленный влиянием множества факторов, отмечался в работах [1-3] и др. Первые попытки моделирования его по методу Монте-Карло были предприняты в работах [4,5]. Однако количественное описание вероятностных характеристик процесса распространения не было получено.

Эффект увеличения средней скорости движения фронта за счет влияния важнейшего фактора-скорости ветра, показан в [6]. Подобный эффект проявляется еще сильнее при учете случайного распределения свойств горючего [3]. Важное практическое значение имеет оценка влияния неоднородности слоя лесных горючих материалов (ЛГМ) на скорость распространения, динамику и интегральные характеристики развития кромки лесного пожара (ЛП) [2,3].

В данной работе рассматривается задача моделирования случайного поля скорости распространения кромки пожара по неоднородному слою ЛГМ на основе модифицированной модели Р. Ротермела [6]. Каждый из наиболее значимых параметров, характеризующих теплофизические свойства слоя ЛГМ (глубина слоя, запас горючего материала, теплотворная способность материала, влагосодержание), формируется как отдельное случайное поле (СП) на плоскости с заданными характеристиками. Численное моделирование поля проводится по авторегрессионной схеме [7].

Алгоритм расчета входных параметров модели:

$$\begin{aligned}z_{00} &= \sigma \cdot \xi_{00} \\z_{i0} &= \rho_1 x_{i-1,0} + \sigma \sqrt{1 - \rho_1^2} \cdot \xi_{i0}, \quad j \geq 1, \\z_{0j} &= \rho_2 x_{0,j-1} + \sigma \sqrt{1 - \rho_2^2} \cdot \xi_{0j}, \quad i \geq 1, \\z_{ij} &= \rho_1 x_{i-1,j} + \rho_2 x_{i,j-1} - \rho_1 \rho_2 + \sigma \sqrt{(1 - \rho_1^2)(1 - \rho_2^2)} \cdot \xi_{ij} \quad i, j \geq 1, \\x_{ij} &= \begin{cases} z_{i,j}, & x_{ij} \in [x_{min}, x_{max}], \\ x_{min}, & z_{ij} < x_{min}, \\ x_{max}, & z_{ij} < x_{max}. \end{cases}\end{aligned}$$

Здесь  $\xi_{ij}$  двумерное СП гауссовских случайных величин с нулевым математическим ожиданием и единичной дисперсией,  $x_{ij}$  двумерное СП значений входного параметра,  $x_{min}, x_{max}$  его минимальное и максимальное значение,  $\sigma^2$ - заданное значение дисперсии,  $\rho_1$  и  $\rho_2$  - коэффициенты корреляции соседних элементов поля по столбцу и строке соответственно.

Заданные вероятностные характеристики генерируемого поля (математическое ожидание  $M_{zad}$  и дисперсия  $D_{zad}$ ) определяются решением системы [4]:

$$\begin{cases} N_{zad} = M(\mu, \sigma) = \mu - (\lambda_2 - \lambda_1)\sigma, \\ D_{zad} = D(\mu, \sigma) = (1 + \lambda_1 \xi_1 - \lambda_2 \xi_2 - (\lambda_2 - \lambda_1)^2)\sigma^2. \end{cases}$$

где  $\mu, \sigma$ , - искомые параметры нормального распределения;  $a_1 < a_2$  точки усе-  
 чения,  $\varphi(x)$  - плотность вероятностей стандартного нормального распределения  
 $N(0, 1)$ ,  $\Phi(x)$ - функция Лапласа,

$$\lambda_1 \frac{\varphi(\xi_1)}{\Phi(\xi_2) - \Phi(\xi_1)}, \quad \lambda_2 \frac{\varphi(\xi_2)}{\Phi(\xi_2) - \Phi(\xi_1)},$$

$$\xi_1 = \frac{a_1 - \mu}{\sigma}, \quad \xi_2 = \frac{a_2 - \mu}{\sigma}.$$

Расчеты процесса распространения выполнены в системе MathCad волновым  
 алгоритмом Ли на шаблоне из 32 точек на квадратной решетке  $300 \times 300$ .

На рисунке 1 представлены результаты вычислительных экспериментов, соот-  
 ветствующих моделированию распространения низового лесного пожара при вари-  
 ации запаса ЛГМ и глубины слоя горючего для наиболее горимого соснового лишай-  
 никového леса (запас горючих материалов  $\omega = 1,7 \text{ кг/м}^2$ , глубина слоя  $\delta = 0,12 \text{ м}$ ,  
 критическое влагосодержание  $M_x = 0,4$ ) при скорости ветра  $5,5 \text{ м/с}$  по направлению  
 $30^\circ$ , коэффициенты корреляции  $\rho_1 = 0,2, \rho_2 = 0,7$ .

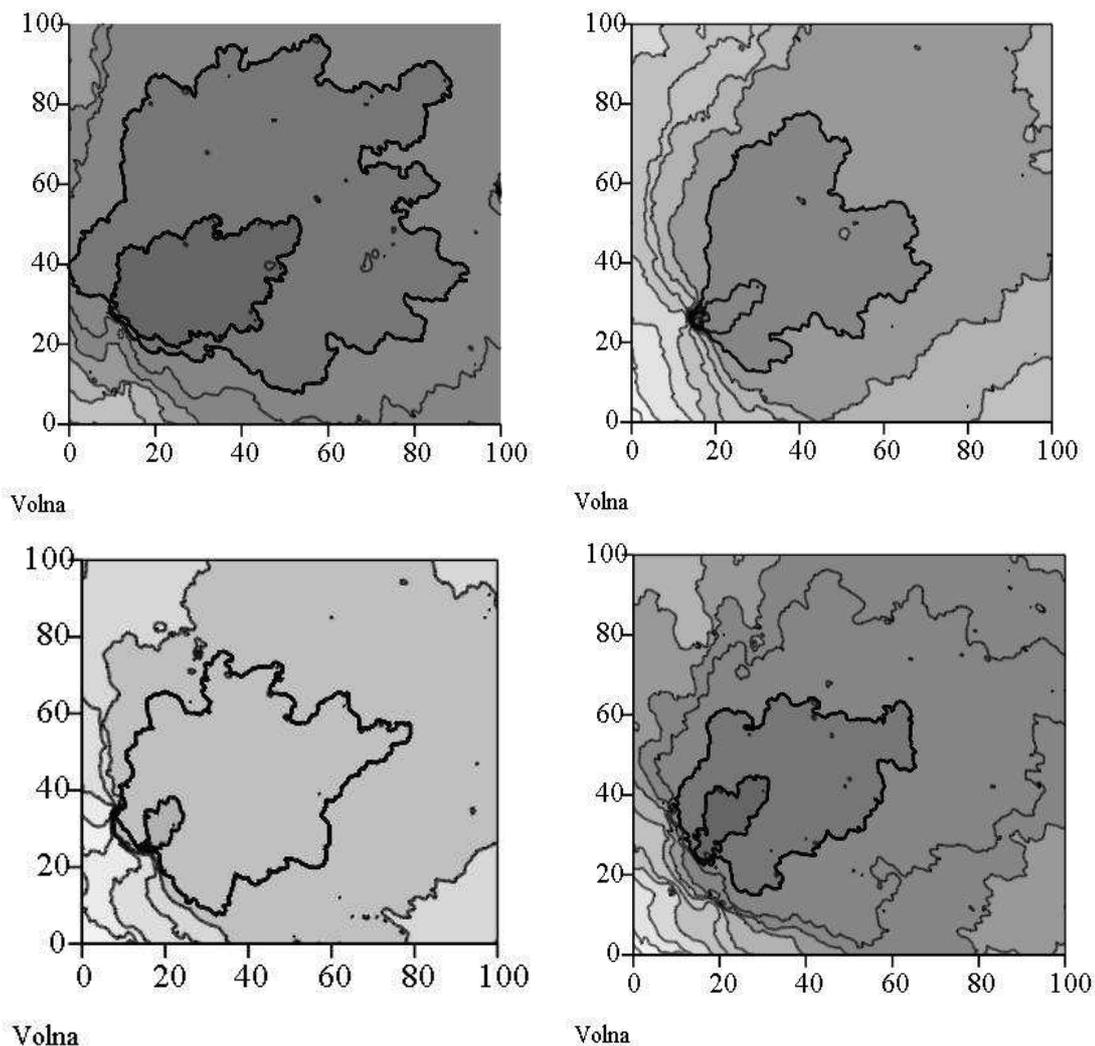


Рис. 1. Реализации процесса распространения ЛП на случайных гауссовских полях  
 скоростей.

Проведенные вычислительные эксперименты показали, что неоднородность слоя ЛГМ оказывает существенное влияние на параметры распространения и конфигурацию горящей кромки. Основной проблемой при моделировании (вычислении) скорости распространения является определение вероятностных характеристик случайных полей входных параметров.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Доррер Г. А.* Динамика лесных пожаров. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008.404с.
2. *Тарасенко А. А.* Влияние пространственных флуктуаций пирологических параметров среды на интегральные характеристики низового лесного пожара и условия его тушения. Автореф. дис.к.т.н.: Харьков. 2004.20с.
3. *Лепп Н. Э., Ушанов С. В., Фадеенков О. В.* Влияние характеристик случайного поля скорости распространения на параметры лесного пожара// Сборник материалов молодых ученых: Труды молодых ученых-участников международной конференции "Современные проблемы математики и механики. Томск: Изд-во ТГУ,2010.С.108-111.
4. *Доррер Г. А.* Оценка статистических характеристик контуров лесных пожаров// Физика горения и взрыва.1978, с2. С. 71 Ц 76.
5. *Kourtz, P. H., O'Regan, W. G.* A model for a small forest fire to simulate burned and burning areas for use in a detection model//Forest Science.-1971.-Vol.17, с2- P.163-169.
6. *Гусев В. Г., Корчунова И. Ю.* О методе расчета скорости распространения лесного низового пожара// Лесные пожары и борьба с ними. Сборник научных трудов. Л.: ЛенНИИЛХ, 1986. С. 31 - 50.
7. *Пригарин С. М.* Методы численного моделирования случайных процессов и полей. Новосибирск: Изд-во ИВМиМГ СО РАН, 2005.259с.
8. *Кобзарь А. И.* Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. М.: ФИЗМАТЛИТ,2006.816с.