

МОДЕЛИ ДИНАМИКИ ОБЛАСТЕЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ В УСЛОВИЯХ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Ю.А. Абрамов, А.Е. Басманов, А.А. Тарасенко, Р.И. Шевченко

Некоторые чрезвычайные ситуации, различающиеся по своей природе и по действию поражающих факторов, могут быть объединены на основании ряда формальных признаков, таких как: наличие физической границы области ЧС; распространение границы по поверхности земли (воды); значительная площадь и периметр; существенная продолжительность действия поражающих факторов; пространственно-временная динамика области; возможность управления (локализация области) активными и пассивными методами. К таким ЧС можно отнести ландшафтные, в том числе, - лесные пожары, и разливы нефтепродуктов по поверхности воды. Данные виды ЧС допускают сходное математическое описание процесса локализации.

Масштабность оперативно-технических мероприятий, связанная с проведением локализационных работ, значительный ущерб, наносимый данными видами ЧС, и ограниченность мобилизационных возможностей сил реагирования требуют создания моделей, описывающих процесс оптимальной локализации.

Создание такой модели возможно при условии использования модели динамики области ЧС. Поскольку при этом природная среда, в которой развиваются ЧС, подвержена существенным вариациям, то необходимо, задавая параметры среды, располагать моделями влияния факторов на характеристики области ЧС.

Известно [1], что на динамику контура природного пожара оказывают влияние ландшафтно-метеорологические условия – рельеф, направление и сила ветра, пространственное распределение свойств растительного горючего материала - запаса, влажности, теплотворной способности и т.д. На динамику разливов нефтепродуктов оказывают определяющее значение направление и скорость течения, а также, - направление и скорость ветра.

Существует большое количество частных моделей, описывающих отдельные аспекты динамики областей ЧС, при этом входные параметры данных моделей, как правило, не связаны с реальными природными условиями. В связи с этим данные модели являются достаточно абстрактными и не представляют практической ценности.

В работе предложен способ получения модели рельефа местности, позволяющий на основе векторизации обычных «твердых» карт линий уровня получать аппроксимацию поверхности рельефа $Z(x, y)$ в виде [2]

$$Z(x, y) = \sum_{s=0}^{S-1} \sum_{t=0}^{T-1} Z_{st}(x, y) (\eta(x - x_s) - \eta(x - x_{s+1})) (\eta(y - y_t) - \eta(y - y_{t+1})), \quad (1)$$

где $\eta(x), \eta(y)$ - функции Хэвисайда; S, T - количество узлов интерполяции по абсциссе и ординате; x_s, y_t - значения абсциссы и ординаты векторизированных линий уровня в узлах регулярной решетки ($s = 0..S; t = 0..T$); $Z_{st}(x, y)$ - бикубические сплайны

$$Z_{st}(x, y) = \sum_{u=1}^4 \sum_{v=1}^4 a_{uv}^{st} (x - x_s)^{v-1} (y - y_t)^{u-1}, \quad (2)$$

коэффициенты которых a_{uv}^{st} получены из условий гладкой сшивки $Z_{st}(x, y)$.

Модель отлична от традиционного линейного триангуляционного представления, используемого в ГИС, поскольку позволяет получить всюду гладкую поверхность рельефа и не допускает наличие нефизичных изломов на триангуляционных ребрах.

Другие картографируемые параметры – границы объектов, позволяют построить модель пространственного распределения физических свойств $F_{\Omega}^j(x, y)$ (влажности, теплотворной способности, запаса горючего материала и т.д., всего $j = 1..J$ характеристик) элементов ландшафта (лесных выделов, водоемов, населенных пунктов, дорог, др.), заданных в виде I полигонов $\Omega_i \left| \bigcup_{i=1}^I \Omega_i = \Omega \right.$ с замкнутыми границами $\tilde{\Omega}_i(x, y) = 0$

$$F_{\Omega}^j(x, y) = \sum_{i=1}^I F_{\Omega_i}^j(Z(x, y)) \cdot \begin{cases} 1, & \text{если } \tilde{\Omega}_i(x, y) < 0; \\ 0, & \text{если } \tilde{\Omega}_i(x, y) > 0, \end{cases} \quad (3)$$

где Ω - вся картографируемая область.

Использование данной модели не приводит к потере точности задания геометрических границ объектов, как это происходит в случае ячеистых ГИС, а физические параметры $F_{\Omega_i}^j(Z(x, y))$ внутри границ полигонов допускают функциональные задания (в зависимости от свойств других факторов, например, рельефа), что также не характерно для современных ГИС.

Располагая моделью рельефа, можно получить [3] упрощенную стационарную модель локальных воздушных течений $\vec{V}_\ell(x, y, z)$ в приземном слое. Модель построена в предположении о потенциальном характере воздушных течений на основе решения уравнения Лапласа относительно потенциала скорости ветра $\Phi(x, y, z)$

$$\Delta \Phi(x, y, z) = 0, \quad (4)$$

с граничными условиями непротекания на поверхности рельефа

$$\frac{\partial\Phi(x, y, z)}{\partial x} \frac{\partial Z(x, y)}{\partial x} + \frac{\partial\Phi(x, y, z)}{\partial y} \frac{\partial Z(x, y)}{\partial y} - \frac{\partial\Phi(x, y, z)}{\partial z} = 0, \quad (5)$$

и на гранях пространственного параллелепипеда в виде равенства скорости локального ветра известной скорости метеорологического ветра $V_f(x, y, 0)$.

С привлечением модели радиационного баланса создана динамическая модель влажности растительного покрова на основании использования результатов, получаемых методами дистанционного зондирования.

Предложена модель влияния параметров рельефа на скорость распространения кромки ландшафтного пожара. Модель позволяет определить скорость распространения кромки в любом произвольном направлении на поверхности реального рельефа.

Данный комплекс моделей позволяет создать [4] итерационную модель динамики области ЧС в конкретных природных условиях. Модель строится с учетом локальных свойств природной среды, что позволяет получать параметры контура (форму, периметр, площадь) в произвольный момент времени. Модель базируется на гипотезе точечного источника и использует известный физический принцип Гюйгенса [1].

Таким образом, предложенный комплекс моделей имеет прикладную направленность и может быть использован при создании программного продукта, предназначенного для использования штабом пожаротушения.

Информация о контуре ЧС, совместно с информацией о возможностях сил реагирования, является базовой при выработке управленческих решений по ликвидации чрезвычайной ситуации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Доррер Г.А. Математические модели динамики лесных пожаров. – М.: Лесная промышленность, 1979. – 161 с.
2. Абрамов Ю.А., Тарасенко А.А. Формирование априорной информации для системы ликвидации последствий чрезвычайной ситуации // Проблемы надзвичайних ситуацій. Зб. наук. пр. АЦЗ України. Вип. 6.– Харків: УЦЗУ, 2007. – С. 11-22.
3. Абрамов Ю.А., Тарасенко А.А. Математическая модель локальных воздушных течений над поверхностью рельефа // Науковий вісник будівництва. Вип. 45.– Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2008. – С. 132-139.
4. Тарасенко А.А., Абрамов Ю.А. Моделирование пространственной динамики природной чрезвычайной ситуации // Проблемы надзвичайних ситуацій. Зб. наук. пр. АЦЗ України. Вип. 5.– Харків: УЦЗУ, 2007. – С. 3-8.