

СТРУКТУРА И ПРИНЦИПЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ НА БАЗЕ НОВЫХ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Ходаков В.Е., Граб М.В., Ляшенко Е.Н.

Постановка задачи. Для успешной борьбы с пожарами очень важно уметь прогнозировать их динамику. До недавнего времени это могли делать только специалисты на основе своего многолетнего опыта. С появлением новых прогрессивных геоинформационных технологий появилась возможность автоматизации расчетов динамики пожара с учетом особенностей конкретной местности и погодных условий, а также наглядного представления результатов расчетов на электронных картах. Геоинформационная система (ГИС) представляет собой программно-аппаратный комплекс, способный вводить, хранить, обновлять, манипулировать, анализировать и выводить все виды географически привязанной информации. Другими словами, ГИС – это системы, обладающие мощными средствами и инструментарием для построения не только векторных карт местности на основе растровых изображений, но и визуального отображения на них различных явлений техногенного и природного характера.

Стремительные темпы развития геоинформационных систем в мире, безусловно, привели к их широкому внедрению и в Украине. На сегодняшний день на рынке ПО ГИС представлено множество новых версий известных программных продуктов, таких как ARC/INFO, ERDAS IMAGINE, IMAGINE VIRTUALGIS, ARCVIEW GIS, MAP/INFO PROFESSIONAL и т.д.

Таким образом, представляет практический и научный интерес разработка эффективной прикладной ГИС, способной не только прогнозировать распространение лесного пожара, но и осуществлять поддержку принятия решений во время его ликвидации. Эта прикладная система должна быть:

- универсальной и не зависимой от специфических природных условий, в которых имеет место реальный лесной пожар;
- автоматизированной и требующей минимального участия экспертного контроля за процессом;
- простой в использовании;
- способной адекватно прогнозировать закономерности распространения лесного пожара.

Анализ существующих прикладных систем. В настоящее время значительное внимание уделяется вопросам мониторинга лесных пожаров. Так в Канаде, Канадским Центром Дистанционного Зондирования и Канадской Службой Леса была разработана система мониторинга, картографирования и моделирования пожаров FireM3 [3]. Эта система использует данные спутника NOAA AVHRR для обнаружения горячих точек пожаров и наблюдения за их изменениями с помощью датчиков AVHRR, SPOT VEGETATION и HRV, а также Landsat Thematic Mapper для картографирования прогоревших территорий в конце сезона пожаров. При моделировании используются данные наземных наблюдений о погоде и типах топлива, а также информация о смоделированной и наблюдаемой динамике огня для оценки эмиссии аэрозолей и парникового газа.

Европейским объединенным центром исследований, Ispra, Италия, разработана так называемая Всемирная Сеть Пожаров [3]. Она состоит из сети приемных станций, а также специализированного программного обеспечения для обнаружения расположения горячих точек и картографирования прогоревшей области. Это обеспечивает механизм создания

системы глобального мониторинга пожаров в форме звеньев, соединяющих узловые пункты.

Компания Space Imaging в составе интегрированного набора своего программного обеспечения, предлагает специальный пакет EcoDSS, разработанный совместными усилиями нескольких фирм и организаций. В него включен ряд прикладных модулей, в том числе приложение по отслеживанию лесных пожаров. Это приложение основано на программной платформе ESRI и обеспечивает прямой обмен данными между базой геоданных ArcGIS и программой FARSITE – симулятором динамики пожара. Через интерфейс пользователя можно задать параметры сценария пожара и переслать пространственные и табличные данные вместе с входными параметрами из ArcGIS в модель пожара FARSITE. После завершения расчетов результаты моделирования пересылаются в базу геоданных ArcGIS, а выходные тематические слои автоматически добавляются в окно приложения ArcMap.

Все эти системы, безусловно, эффективны, однако они не удовлетворяют всем поставленным выше требованиям. В настоящее время, для своевременного предупреждения и ликвидации лесных пожаров необходимы системы, способные осуществлять не только мониторинг пожаров, но и поддержку принятия решений во время их ликвидации.

Цель статьи. Целью статьи является описание структуры и принципов функционирования прикладной ГИС, сочетающей в себе подсистему мониторинга лесных пожаров и подсистему формирования оптимальных планов тушения. Система разрабатывается на кафедре информационных технологий Херсонского национального технического университета.

Структура системы. Структура системы моделирования лесных пожаров приведена на рисунке 1.

Система состоит из двух подсистем:

- подсистемы мониторинга лесных пожаров;
- подсистемы формирования оптимальных планов тушения.

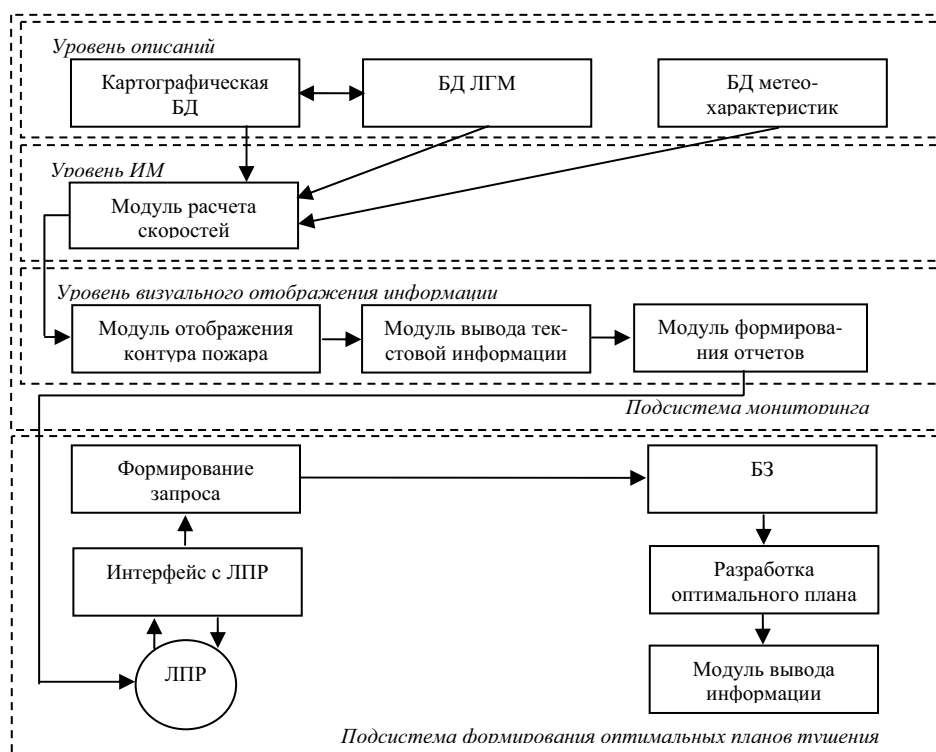


Рис.1 Общая структура системы

На рис. 1 БД – база данных; БЗ – база знаний; ЛГМ – лесной горючий материал; ЛПР – лицо, принимающее решение.

Подсистема мониторинга прикладной ГИС оперирует данными, входящими в состав трех основных баз: картографической базы данных в векторном формате, базы данных, содержащей характеристики лесных горючих материалов (ЛГМ) и базы данных, содержащей метеорологические характеристики. В картографической базе данных основной единицей хранения географической информации является полигон – плоская замкнутая фигура, состоящая из вершин, соединенных прямыми линиями. Полигон очерчивает границы участков с однородной растительностью на векторной карте. Следует отметить, что каждая единица информации из картографической базы данных геокодирована, т.е. привязана к соответствующей записи из базы данных ЛГМ. Таким образом, для каждого полигона определены характеристики лесных горючих материалов. Это позволяет пользователю произвольно выбирать на карте источник пожара и осуществлять моделирование именно из выбранной точки. После выбора источника пожара данные о координатах выбранного участка и характеристиках ЛГМ поступают в уровень имитационного моделирования. Этот уровень является основным звеном подсистемы, так как именно здесь производится расчет скоростей продвижения фронта лесного пожара по всем направлениям.

Далее управление передается на уровень визуального отображения информации, где на основе данных, полученных из предыдущего уровня, на карте визуально отображается контур пожара и формируется отчетность.

В подсистеме формирования оптимальных планов тушения пожара лицо, принимающее решения, через свой интерфейс подает запрос к базе знаний. Решение формируется на основе существующих планов тушения пожара, исходя из описания признаков (направление ветра, температура воздуха, влажность воздуха и т.д.). Посредством поиска в базе знаний существующих планов, подсистема восстанавливает набор планов, которые в подобном контексте работали успешно.

После этого ЛПР, через интерфейс с ЛПР, получает ответ на свой запрос: рекомендацию по локализации и ликвидации пожара.

Математический аппарат. Рассмотрим математический аппарат, на котором основана математическая модель распространения пожара. В основу расчета скорости распространения огня нами взята экспериментально–аналитическая модель Р. Ротермела [2].

Данная модель имеет определенные преимущества по сравнению с иными моделями: небольшое количество входных данных, реальная возможность измерения входных параметров, сравнительная простота расчетов, универсальность использования модели, наглядность полученных результатов.

Кроме того, модель Р. Ротермела была включена в Национальную систему определения пожарной опасности США, где прошла проверку в течение многих лет. А высокая точность и универсальность модели делает ее важным инструментом при решении многих прикладных задач.

Для реализации модели необходимо классифицировать различные виды растительности. Мы ограничимся классификацией по величине характерного размера частиц. Все горючие материалы разделим на две категории: отмершая растительность и живая растительность. Отмершую растительность в свою очередь разделим на размерные классы, определяющие диапазон изменения характерных размеров частиц. При этом частицы с диаметром до 6 мм отнесем к первому размерному классу, от 6 до 24 мм – ко второму, от 24 до 72 мм – к третьему. Итак, будем рассматривать лесную территорию в виде горизонтального слоя горючих материалов, представляющего собой смесь частиц горючего из двух категорий, причем в i -ой категории содержится n_i размерных классов ($i=1,2$).

Ограничением модели Ротермела является то, что она позволяет рассчитывать величину наибольшей скорости – скорости в направлении наиболее быстрого распространения огня, и не отвечает на вопрос о величинах скоростей в других направлениях. Поэтому авторами статьи предлагается дополнить модель специальной функцией – индикатрисой распространения, учитывающей зависимость скорости от угла, образованного направлением распространения и ветром.

Известно, что нормаль к контуру может образовывать с неким направлением ветра произвольный угол α .

$$\alpha = \arccos \frac{\omega \mathcal{G}_n}{|\omega| |\mathcal{G}_n|}, \quad (1)$$

где ω - вектор скорости ветра, $|\omega|$ - величина скорости ветра. Аналогично обстоит дело с учетом влияния уклона местности. С наибольшей скоростью огонь распространяется вверх по склону в направлении наиболее крутого подъема, с наименьшей – в противоположном направлении. Таким образом, если s - вектор градиента (т.е. наиболее крутого подъема) местности, то скорость распространения огня зависит от угла

$$\gamma = \arccos \frac{s \mathcal{G}_n}{|s| |\mathcal{G}_n|}, \quad (2)$$

где $s = |s|$ - величина уклона местности. Ветер и склон влияют на распространение пожара как самостоятельно, так и во взаимодействии. Эти факторы будем учитывать отдельно с помощью специальных множителей, которые называются индикатрисами.

Рассмотрим задание нормальных скоростей.

В этом случае упомянутые множители являются функциями углов α и γ и величин ω и s . Будем называть их индикатрисами нормальной скорости и обозначать следующим образом: $\chi_{\text{нв}} = \chi_{\text{нв}}(\alpha, \omega)$ - индикатриса нормальной скорости для ветра; $\chi_{\text{нс}} = \chi_{\text{нс}}(\gamma, s)$ - индикатриса нормальной скорости для склона.

С учетом сказанного величина нормальной скорости контура будет представлена в виде $\mathcal{V}_n(\alpha, \gamma, \omega, s) = \mathcal{V}_0(\omega, s) \times \chi_{\text{нв}}(\alpha, \omega) \chi_{\text{нс}}(\gamma, s)$, где $\mathcal{V}_0(\omega, s)$ - скорость движения фронта пламени в направлении ветра и вверх по склону, т.е. для случая, когда направление ветра совпадает с наибольшей крутизной склона. Эта скорость определяется моделью Ротермела.

Следует иметь в виду, что функции χ_n зависят не только от α и γ, ω и s , но и от характеристик горючего (влажности, пористости и др.). Однако, несмотря на слабую изученность этих зависимостей, все же ясно, что наиболее сильное влияние на пространственный характер распространения огня оказывают именно перечисленные параметры.

Так как в своей работе мы рассматриваем горизонтальный слой горючего материала, т.е. $s = 0$, то использоваться будет только одна индикатриса - индикатриса ветра. Обозначим ее просто $\chi_n(\alpha, \omega)$ и $\chi_n(\alpha)$, если ветер можно считать постоянным. Однако следует иметь в виду, что все полученные ниже результаты легко обобщаются на случай $s \neq 0$.

Индикатриса ветра обладает следующими свойствами:

1. $\chi(0, \omega) = 1$;
2. $\chi(\alpha, \omega) \leq 1$ при $\omega > 0, \alpha \neq 0$;
3. $\chi(\alpha, \omega) = \chi(-\alpha, \omega)$ при $0 \leq \alpha \leq \pi$;
4. $\chi_n(\alpha, 0) \equiv 1$ при $-\pi \leq \alpha \leq \pi$.

Первые два свойства говорят о том, что индикатриса максимальна в направлении ветра, а для других направлений она убывает. Третье свойство определяет симметричность индикатрисы относительно направления ветра. Четвертое свойство

определяет условие распространения для безветренной погоды: горение распространяется во все стороны с одинаковой скоростью.

Дополнение модели этой функцией позволило находить скорость распространения огня в каждой точке контура пожара. Таким образом, использование индикатрис позволяет находить скорости распространения огня в любых направлениях и описывать контуры пожаров сложной формы.

Результаты моделирования. Разрабатываемая прикладная система базируется на географической информационной системе MAPINFO PROFESSIONAL [9]. Это мощная система географического анализа, с помощью которой можно вводить, хранить, обновлять, манипулировать, анализировать и выводить все виды географически привязанной информации. Кроме того, ГИС MAPINFO PROFESSIONAL работает на платформах PC (Windows 3.x/95/98/NT), PowerPC (MacOS), Alpha, RISC (Unix), что позволяет переносить файлы данных с платформы на платформу без конвертации, тем самым, расширяя круг пользователей.

В качестве объекта моделирования выбрана часть Ивановского лесничества Херсонской области. На основе моделей, описанных выше, были проведены экспериментальные расчеты и смоделирована область пожара (рис. 2).

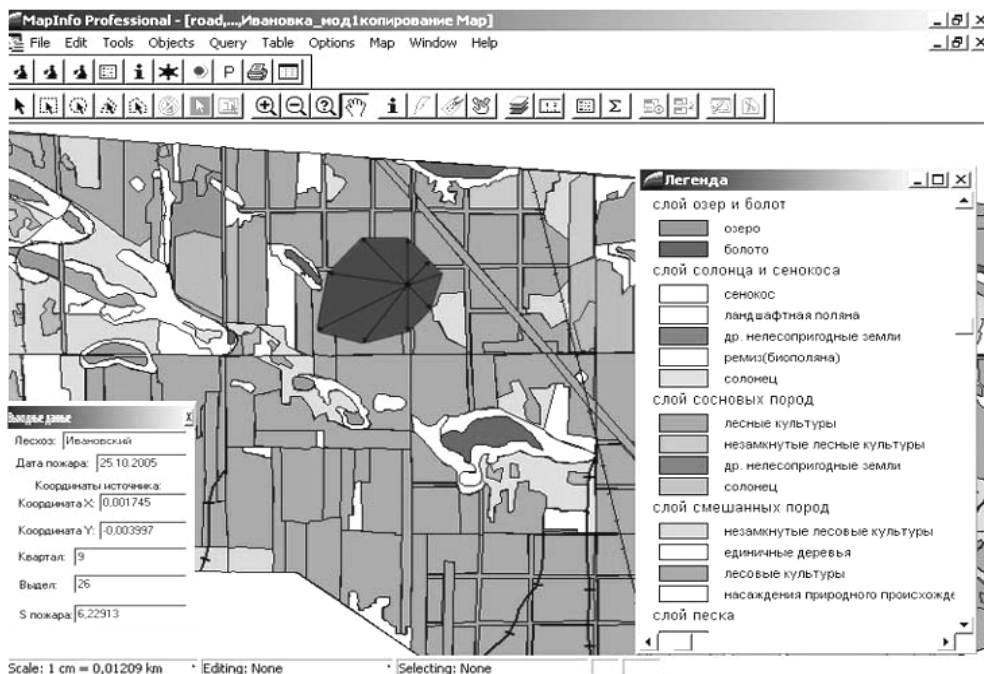


Рис.2 Моделирование распространения лесного пожара

В результате моделирования получили контур пожара, геометрическая форма которого представлена на рис. 3:

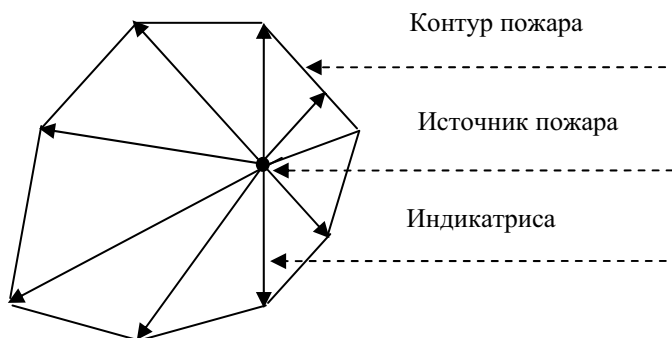


Рис.3 Геометрическая форма пожара

Проведенные вычислительные эксперименты показали, что рассматриваемая нами модель правильно отражает основные характерные особенности пожара. Модель допускает дальнейшее усовершенствование, что и предполагается осуществить в дальнейшем.

Вывод. Данная ГИС может найти широкое применение в лесохозяйственной промышленности для охраны лесов и поддержки принятия решений во время ликвидации лесных пожаров. Она поможет не только хранить и обрабатывать данные, но и преумножить опыт специалистов. Кроме того, программа позволит ускорить процесс документирования пожаров и проведения тщательного анализа, как каждой отдельной ситуации, так и набора ситуаций в целом.

Также ГИС позволит принимать организационные и технические меры для уменьшения риска пожара, материальных и людских потерь.

Description of the structure and principle of the operation decision support system is offered in article during liquidation of the wildfires. The System consists of two subsystems: subsystems of the monitoring the wildfires and subsystems of the shaping optimum plan stewings. At development of this system were used new geoinformation technologies.

1. Волков А. М., Ломнев В. С., 1989. Классификация способов извлечения опытов экспертов // Известия АН СССР. Техническая кибернетика. № 5.
2. Доррер Г.А. Математические модели динамики лесных пожаров. М.: Лесн. пром-сть, 1979, 161 с.
3. Интегрированный ДЗЗ-ГИС подход к мониторингу, картографированию и моделированию лесных пожаров во всемирных естественных лесах / Ахерн Ф. Дж., Ли З., Чичагов А., Ли Б., Грегор Дж-М., Пиннок С. // Девственные леса мира и их роль в глобальных процессах: Международная конференция, Хабаровск , 15-20 авг., 1999. Тезисы докладов. - Хабаровск, 1999 - С. 69 .
4. Корнеев Д.Г. Математическое моделирование развития лесного пожара // Электронное моделирование. – 1999. – 21, № 3. – с. 84 - 94.
5. Коровин Г.Н. Особенности расчета периметров низовых лесных пожаров. – “Сборник науч.- исслед. работ по лесному хозяйству”, вып. 9, 1967, с. 330 - 345.
6. Нестеров В.Г. Горимость леса и методы ее определения. М., Гослесбумиздат, 1949. – 74 с.
7. Ходаков В.Е., Граб М.В. Моделирование распространения лесного пожара // Вестник Херсонского государственного технического университета. – 2002. - № 1(14). - С. 312-315
8. Ходаков В.Е., Граб М.В. Моделирование распространения лесных пожаров // Вестник Херсонского государственного технического университета. – 2003. - № 2(18). - С. 33-41
9. Цветков В.Я. Геоинформационные системы и технологии. – М.: “Финансы и статистика”, 1998. – 288 с.