

УДК630*43:614.84:519.87(571.122)

МОДЕЛИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ ТУШЕНИЕМ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ НА ТЕРРИТОРИИ ХМАО – ЮГРЫ

С. Ю. Антонов, С. Н. Грицков, В. В. Кулдошина
Сургутский государственный университет
Santonov1971@mail.ru

Авторами проанализированы современные подходы к разработке системы поддержки принятия решений при тушении лесных пожаров на территории ХМАО – Югры, которая позволит моделировать не только процесс их протекания, но и прогнозировать вероятность их возникновения, а также провести оценку материальных, экологических и социально-организационных последствий от потенциальных пожаров. Установлено, что в общем случае управление процессом тушения лесного пожара можно рассматривать как управление сложной организационной системой, которое состоит из этапов сбора информации, принятия (выработка и выбор) решения, а также реализации принятого решения. Эти этапы циклически повторяются, при этом на каждом следующем шаге оценивается качество процесса управления на предыдущем шаге.

Ключевые слова: лесной пожар, математическое и имитационное моделирование, управление процессом тушения лесного пожара, система поддержки принятия решений, методы принятия управленческих решений, критерии управления.

MODELING AND MANAGEMENT OF FOREST FIRES IN THE TERRITORY OF KhMAO – UGRA

S. Yu. Antonov, S. N. Gritskov, V. V. Kuldoshina
Surgut State University
Santonov1971@mail.ru

The authors analyze modern approaches to the development of a decision support system for forest firefighting in the territory of KhMAO – Ugra. This system will allow modeling not only the process of fires behavior but also to predict the probability of their occurrence, as well as to assess the material, environmental and social-organizational consequences of potential fires. It is established that in general a forest fire extinguishing process control can be considered as management of complex organizational system which consists of collecting information, making a decision, and also an implementation of this decision. These steps are repeated in a cycle, and each next step evaluates the quality of the management process in the previous step.

Keywords: forest fire, mathematical and simulation modeling, forest fire extinguishing process control, decision support system, management decision support system, control measure.

Введение. Лесной пожар (далее – ЛП) – стихийное, неуправляемое распространение огня по лесным массивам. Лесные пожары наносят огромный и часто непоправимый ущерб природно-экологическим и материальным ресурсам. Одной из главных причин этого положения является отсутствие полноценного моделирующего аппарата развития и распространения лесных пожаров, что сдерживает не только создание новых высокоэффективных мер борьбы с ними, но и препятствует оперативному определению оптимальных направлений для использования современных организационных способов и технических средств их тушения [1].

На территории ХМАО – Югры ежегодно они охватывают до 50 тыс. га лесной площади [2], в т. ч. лесных молодняков и так называемой нелесной площади (болот, отгонных пастбищ, сенокосов, кустарников и др.). Общая площадь лесного фонда ХМАО – Югры со-

ставляет 49 млн 169 тыс. га (по данным Лесного плана ХМАО – Югры). По природной пожарной опасности леса делятся на 5 классов: 1 класс – 3 088 тыс. га; 2 класс – 1806 тыс. га; 3 класс – 4 233 тыс. га; 4 класс – 15 092 тыс. га; 5 класс – 24 721 тыс. га. Высокая пожарная опасность (1–2 классы) существует во всех административных районах, но в первую очередь:

- в сосновых борах Белоярского и Березовского районов;
- в молодняках Кондинского и Ханты-Мансийского районов;
- в хвойных лесах Советского района;
- по берегам рек на севере Сургутского района;
- на севере Нижневартовского района.

Первый пик лесных пожаров наблюдается при условии сухой и теплой погоды в середине мая – начале июня до появления молодой зелени (преимущественно в Кондинском районе и южной части Ханты-Мансийского района).

Второй, основной, пик приходится обычно на период с конца июня до начала августа (по всей территории автономного округа).

В сентябре, как правило, с началом продолжительных дождей лесные пожары прекращаются. Однако в исключительных случаях, при сухой осени, лесные пожары на территории округа могут отмечаться и в октябре.

Ряд ученых считают [1–3], что одной из главных причин такого неутешительного положения является отсутствие полноценной научной основы (базовой методологии) как для качественного, так и количественного анализа причин возникновения лесных пожаров, прогнозирования возникновения и последствий распространения эффективных технологий их тушения. Все это сдерживает не только создание новых высокоэффективных методов и средств борьбы с лесными пожарами, но и усложняет задачи оперативного определения оптимальных направлений использования имеющихся пожарно-спасательных подразделений и их технических средств пожаротушения. Немаловажное значение при этом имеют экономические кризисы, побуждающие к решению более насущных проблем, чем проблемы защиты лесов от пожаров. Как показывает предыдущий опыт [3–4], в борьбе с лесными пожарами большое значение имеет фактор времени. От момента обнаружения лесного пожара до принятия управленческого решения по его тушению должно проходить как можно меньше времени (рис. 1). При этом важнейшей задачей является организация и эффективное использование имеющихся сил и средств пожаротушения [5].

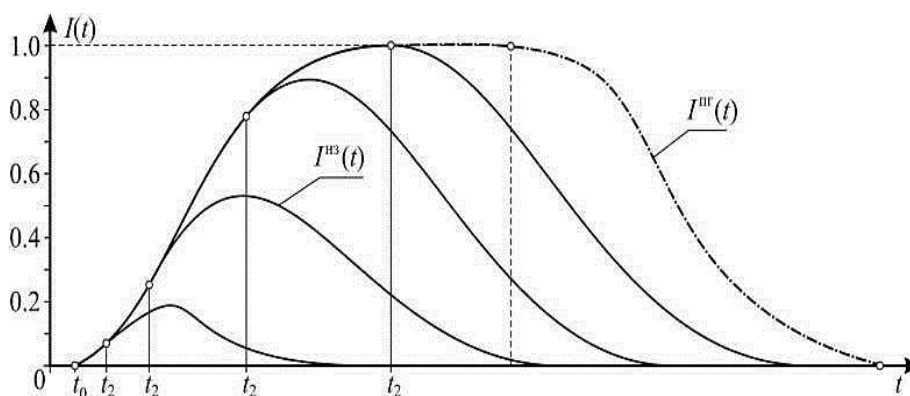


Рис. 1. Схема причинение убытков в зависимости от начала тушения ЛП [5]:

t_0 – возникновения ЛП; t_2 – начала тушения ЛП; $I^{III}(t)$ – интенсивность процесса горения лесных горючих материалов; $I^{IV}(t)$ – интенсивность поступления и отвода противопожарных сил и средств

При определении количества сил и средств для тушения лесных пожаров необходимо учитывать интенсивность процесса горения и скорость распространения лесного пожара, а также степень пожарной опасности [4, 6–7].

Моделирование процесса течения лесных пожаров. В связи с тем, что экспериментальное изучение механизмов распространения лесных пожаров является дорогостоящим и не всегда удастся проводить даже частичное физическое моделирование [8], на сегодня представляют интерес теоретические методы исследования [2–4, 6, 8]. В настоящее время существует значительное количество работ по прогнозированию путей распространения лесных пожаров. Одни из них базируются на физике процесса горения, другие – на статистических данных о реальных пожарах [7].

Рассматриваются способы моделирования развития лесных пожаров, которые осуществляются путем аппроксимации функции развития пожара в виде контуров фронта выгорания растительного материала. Суть имиджевой экстраполяции заключается в предвидении изображения кромки выгорания $N + 1$, которое логически следует из данной последовательности изображений предыдущих кромок выгорания N .

При этом считается, что узловыми элементами являются изображения, описанные уравнениями в неявном виде и что на результат экстраполяции можно влиять с помощью специального параметра k . Имиджевая экстраполяция заключается в нахождении значения функции в некоторой точке за пределами доступного интервала определения этой функции по ее значениям в узловых точках интервала [5].

Пусть имеем N уравнений $\{F_i(x, y) = 0\}$, которые являются описанием последовательности узловых кромок выгорания в моменты времени $t = t_i$. Тогда кривую в момент времени $t = t_N$ можно описать уравнением:

$$F_5(x, y) = F_4(x, y) + \left(\begin{array}{l} (F_1(x, y) - F_2(x, y) \cdot 1^k + \\ (F_3(x, y) - F_2(x, y) \cdot 2^k \\ (F_4(x, y) - F_3(x, y) \cdot 3^k \end{array} \right) / (2^k + 3^k),$$

где F_1, F_2, F_3, F_4, F_5 – контуры пожара, полученные в момент времени.

Учет лучевой составляющей доли энергии будет характеризоваться геометрически, т. е. корректировка основывается на контуре кромки выгорания (далее – ККВ) [8], что характеризует взаимное расположение и геометрию поверхностей, участвующих в теплопередаче. Предположим, что фронт выгорания представлен в виде условной «стены» пожара (рис. 2), которая состоит из 2 типов ячеек. Ячейку В будем считать излучателем, а ячейку А – приемником.

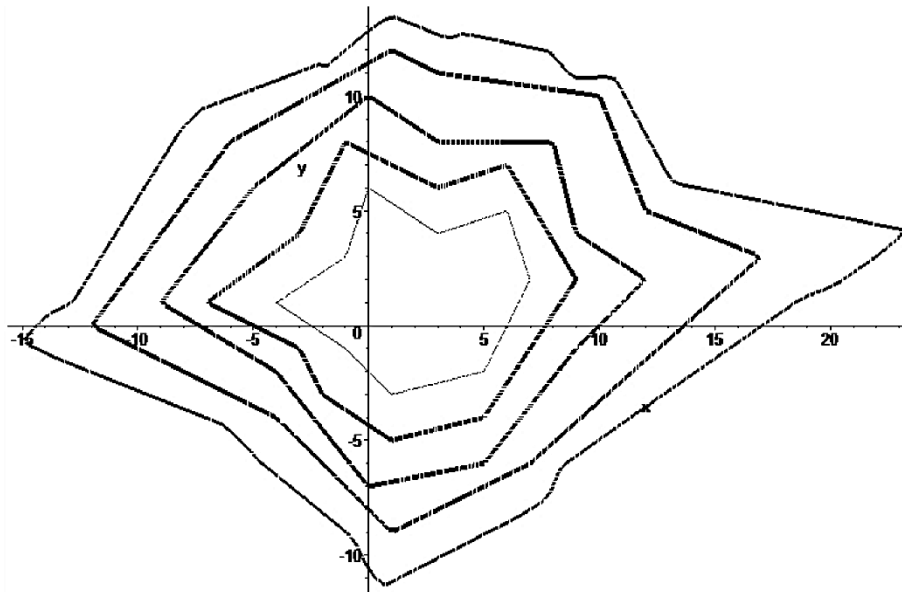


Рис. 2. Пример построения контура с помощью линейной имиджевой экстраполяции

Для расчета локальных угловых коэффициентов излучения между эллипсом и прямоугольником воспользуемся RP – уравнением эллипса [4]. Ниже приведены параметрические уравнения:

$$\begin{aligned}y(t) &= a \cdot \cos(t) + q, \\z(t) &= b \cdot \sin(t) + p,\end{aligned}$$

где p и q – декартовы координаты.

Далее приведены радиально-параллельные проекции этого эллипса в виде параметрических уравнений:

$$Z_{RP} = \frac{z(t)}{\sqrt{x(t)^2 + y(t)^2 + z(t)^2}} \quad Y_{RP} = \frac{y(t)}{\sqrt{x(t)^2 + y(t)^2 + z(t)^2}}.$$

Тогда локальный ККВ будет равен:

$$F_{A-dB} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} (Z_{RP} Y_{RP} - Z_{RP} Y_{RP}) dt.$$

Чтобы сделать корректировки экстраполяции результатов развития контура пожара на предмет лучевой энергии, сначала необходимо разбить линии контура пожара на участки.

Успешность использования статистических моделей ограничена условиями, подобными тем, при которых происходили реальные пожары. Физико-математические же модели универсальны, поскольку учитывают любые природные условия. Ранее для исследования процесса течения лесных пожаров в основном использовались регрессионный анализ и статистические методы обработки экспериментальных данных [7–8]. Однако регрессионные модели, полученные по результатам пассивных экспериментов, описывают результаты только определенной серии опытов соответствующего эксперимента, т. е. не дают возможности выявить закономерности влияния отдельных факторов на исследуемый объект. Поэтому одним из перспективных направлений исследования многостадийных процессов тушения лесных пожаров является имитационное моделирование [5–6], которое базируется на физико-математических моделях процесса горения лесных горючих материалов (далее – ЛГМ), поскольку оно позволяет последовательно воспроизводить те события, которые должны происходить в физической системе в течение определенного промежутка времени с учетом штатных и внештатных ситуаций.

Попытки построения физико-математических моделей процесса распространения лесных пожаров (точнее, их основных элементов) уже предпринимались давно [4]. При этом за прогнозируемую научную основу, как правило, брались сложные математические модели газодинамики реагирующей среды [1–2, 4], что дало возможность моделировать как низовые, так и верховые лесные пожары.

В то же время такие модели не всегда применимы при практическом их использовании при условии неполно представленных (чаще всего, полного отсутствия) характеристик ЛГМ в реальных лесных массивах. Для моделирования процесса течения лесных пожаров на сегодня широко используется схема, которая использует классические шаблоны проектирования MVC (Model-View-Controller) [3–4]. Поведение, т. е. логическая часть шаблона проектирования MVC (уровень поведения) стекла, дается из четырех основных блоков, каждый из которых направлен на решение одной из задач:

- прогнозирования причин возникновения ЛП, где осуществляется расчет пожарной опасности;
- прогнозирование путей распространения ЛП;
- оценка ущерба от ЛП;
- поддержка принятия управленческого решения для предупреждения и тушения ЛП.

Блок прогнозирования причин возникновения лесных пожаров состоит из двух подзадач: долгосрочное и краткосрочное прогнозирование. Результаты долгосрочного прогнозирования причин возникновения лесных пожаров являются входными данными для разработки стратегии их предупреждения. Результаты краткосрочного прогнозирования используются при построении оперативных планов тушения лесных пожаров. Под уровнем представления в схеме MVC понимается электронная карта, которая предоставляется руководителю тушения ЛП для визуального ознакомления с особенностями местности. Карта имеет послойную структуру и состоит из основных (статических) и дополнительных (динамических) слоев. Статические слои обычно отражают характеристику местности, на которой могут возникать пожары. К таким слоям относятся участки леса (отражающие слои хвойных пород, лесного молодняка или подстилки и т. д.), почвы, водные источники (которые показывают озера, болота, реки и т. д.), подъездные пути (дороги и тропинки, которые отражают как в плане, так и с учетом набора высоты/спуска) и т. д. Динамические слои отображают данные. Это такие слои как картографическая схема распределения пожарной опасности (заранее рассчитывается в блоке прогнозирования причин возникновения лесного пожара), динамика лесного пожара (определяется в блоке прогнозирования путей распространения лесных пожаров), а также системы поддержки принятия решений. Кроме этого, на динамическом слое визуально отображаются штаб тушения лесного пожара, личный состав пожарно-спасательных подразделений (ПСП), а также места размещения технических средств пожаротушения, количество и состав которых определяются в соответствующем блоке.

Модель – одна из трех составляющих шаблона проектирования MVC (уровень данных), которая описывает состояние пространственных данных на момент обнаружения лесного пожара, состоит из двух связанных частей: картографической и атрибутивной. Картографические данные описывают позиционные характеристики участков местности (векторных объектов – топографию и инфраструктуру). Атрибутивные данные задают характеристики векторных объектов – динамику перемещения противопожарных сил и средств, а также метеорологические, лесорастительные и гидрологические условия.

Структура системы поддержки принятия решений при тушении лесных пожаров дает возможность моделировать не только процесс их протекания, но и спрогнозировать вероятность их возникновения, а также провести оценку материальных, экологических и социально-организационных последствий от возможных пожаров с целью проведения мероприятий для их предупреждения и ликвидации.

Методы принятия управленческих решений при тушении лесных пожаров. В общем случае управление процессом тушения лесного пожара можно рассматривать как управление сложными организационными системами [2, 5, 8], которое состоит из таких этапов: сбор информации, принятие (выработка и выбор) решения, реализация принятого решения. Для оценки качества процесса управления за критерий, как правило, принимают степень до достижения поставленной цели [6]: минимальную продолжительность процесса тушения ЛП, минимальные убытки от ЛП (материальные, экологические, социально-организационные).

Выводы:

1. Установлено, что одной из основных причин возникновения лесных пожаров является отсутствие анализа, прогнозирования появления и последствий распространения эффективных технологий их тушения. Все это сдерживает не только создание новых высокоэффективных методов и средств борьбы с лесными пожарами, но и значительно усложняет задачи оперативного определения оптимальных направлений использования имеющихся пожарно-спасательных подразделений и их технических средств пожаротушения.

2. Проанализированы современные подходы к разработке системы поддержки принятия решений при тушении лесных пожаров, которая позволяет моделировать не только процесс их протекания, но и прогнозировать вероятность их возникновения, а также провести

оценку материальных, экологических и социально-организационных последствий от потенциальных пожаров с целью проведения мероприятий по их предупреждению и ликвидации.

3. Установлено, что в общем случае управление процессом тушения лесного пожара можно рассматривать как управление сложной организационной системой, которое состоит из этапов сбора информации, принятия (выработка и выбор) решения, реализации принятого решения.

Литература

1. Гришин А. М. Математическое моделирование лесных пожаров и новые способы борьбы с ними. Новосибирск : Наука : Сиб. отд-ние, 1992. 408 с.
2. Антонов С. Ю., Исаков Г. Н. Динамика лесных пожаров и их экологических последствий на территории ХМАО – Югры // Экология и безопасность жизнедеятельности промышленно-транспортных комплексов ЕLPIT 2015 : сб. тр. V Междунар. экол. конгресса (VII Междунар. науч.-тех. конф.). Самара : Самар. науч. центр РАН, 2015. С. 10–13.
3. Зигель Р., Хауэл Дж. Теплообмен излучением / пер. с англ. М. : Мир, 2015. 19 с.
4. Stoll A. M., Greene L. C. Relationship between pain and tissue damage due to thermal radiation // Journal of Applied Physiology. 1959. Vol. 14, № 3. P. 373–382.
5. Онучин А. А., Соколов В. А. О принципах экосистемного управления лесами // Лесная таксация и лесоустройство. 2005. № 1 (34). С. 78–85.
6. Воробьев Ю. Л., Акимов В. А., Соколов Ю. И. Лесные пожары в РФ (состояние и последствия) // Технологии гражданской безопасности. 2016. № 4 (10). С. 12–22.
7. Долгов А. А., Сумина Е. Н., Цомаева Д. С. Методология оценки лесопожарных рисков : материалы Междунар. науч.-практич. конф. М. : Моск. гос. ун-т природообустройства, 2008. С. 12–21.
8. Писаренко А. И., Страхов В. В. Какая лесная политика нужна России? // Лесное хозяйство. 2016. № 2. С. 2–5.