

А.О. Семенов, В.А. Смирнов, Д.В. Тараканов, Д.А. Черепанов
(Ивановский институт ГПС МЧС России;
e-mail: den-pgs@rambler.ru)

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ВЫБОРА ВАРИАНТОВ РЕШЕНИЙ ПО РАССТАНОВКЕ ПОЖАРНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

При поддержке Министерства образования и науки РФ (ГК № 13 G25.31.0077) разработана математическая модель для решения задач по расстановке сил и средств пожарных подразделений при тушении лесных пожаров.

Ключевые слова: лесной пожар, выбор вариантов, оптимизация.

A.O. Semenov, V.A. Smirnov, D.V. Tarakanov, D.A. Cherepanov MATHEMATICAL MODEL FOR CHOICE OF OPTIONS FOR THE INSTALLATION OF FIRE DIVISIONS IN THE ELIMINATION OF FOREST FIRES

With support of Ministry of Education and Science of Russian Federation (GK № 13 G25.31.0077) developed a mathematical model for solving problems on the balance of forces and means of fire brigade to extinguish forest fires.

Key words: forest fire, choice of options, optimization.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 18 марта 2011 г.

Введение

Чрезвычайная ситуация (ЧС), сложившаяся в результате лесных пожаров на Европейской части России летом 2010 года, со всей остротой показала важность проблемы борьбы с лесными пожарами.

Одним из решений, позволяющих снизить материальные потери от лесных пожаров, является разработка программно-аппаратного комплекса, обеспечивающего информационную и методическую поддержку руководителей структурных подразделений МЧС России при организации тушения лесных пожаров.

Анализ функционирования системы управления в условиях ЧС, проведенный в Институте проблем управления им. Трапезникова, показал, что такая система должна функционировать в следующих четырех режимах: режим повседневной деятельности, режим повышенной готовности, чрезвычайный режим, постчрезвычайный режим [1, 2]. В данной статье авторы ограничиваются режимом повышенной готовности, который предусматривает планирование мер противодействия развитию лесного пожара.

Планирование мероприятий по ликвидации лесных пожаров необходимо осуществлять на основе целевого и сценарного подходов. При разработке сценариев в рамках тактических и оперативных планов ликвидации лесных пожаров необходимо учитывать особенности их возникновения и развития. Формализованное понятие сценария развития ЧС и разработанные методы его исполь-

зования для моделирования параметров развития обстановки в ЧС позволяют формировать базовые (наиболее вероятные) сценарии развития ЧС [1].

Сложность и новизна возникающих принципиально новых задач принятия решений при ликвидации лесных пожаров, а также быстрый темп их появления повышают степень неопределенности при управлении пожарными подразделениями при ликвидации лесных пожаров. Эти задачи обладают содержательными характеристиками задач перспективного планирования, однако должны решаться в оперативном режиме, поэтому для их решения необходимы автоматизированные комплексы, позволяющие прогнозировать и использовать в процессе принятия решений основные характеристики развития лесных пожаров.

В рамках научно-практического направления повышения эффективности управления пожарными подразделениями при ликвидации лесных пожаров в Ивановском институте ГПС МЧС России разработан компьютерный комплекс "Горение леса", позволяющий прогнозировать параметры развития лесных пожаров. Однако модель для выбора решений по использованию пожарных подразделений при ликвидации лесных пожаров находится за пределами разработанного компьютерного комплекса. Поэтому возникла задача построения интегрированной математической модели, в которой информация о сценариях развития лесного пожара была бы объединена с математической моделью для выбора вариантов использования пожарных подразделений.

Целью проведённой авторами работы была разработка комплексной математической модели, позволяющей на основе информации об относительной важности задач, решаемых на участках тушения лесного пожара, рационально использовать силы и средства пожарных подразделений.

1. Формальная постановка задачи

Анализ проблемы эффективного управления в условиях ЧС показал, что имеется явный разрыв в формализованном описании этапов целеполагания и формирования конкретных наиболее вероятных сценариев развития ЧС [1]. В качестве недостающего необходимого промежуточного звена для принятия эффективных решений по использованию сил и средств пожарных подразделений при ликвидации лесных пожаров был разработан компьютерный комплекс "Горение леса", в котором методом конечноразностной сетки реализована математическая модель развития пожара леса, включающая в себя уравнения конвекции и тепломассопереноса в пространственно-временных координатах (рис. 1)

Применение компьютерного комплекса в качестве источника информации о параметрах развития лесного пожара позволяет:

- автоматизировано формировать сценарии развития лесного пожара;
- получать варианты использования сил и средств пожарных подразделений $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$;
- формировать векторный критерий для оценки предпочтительности вариантов $f = (f_1, f_2, \dots, f_m)$.

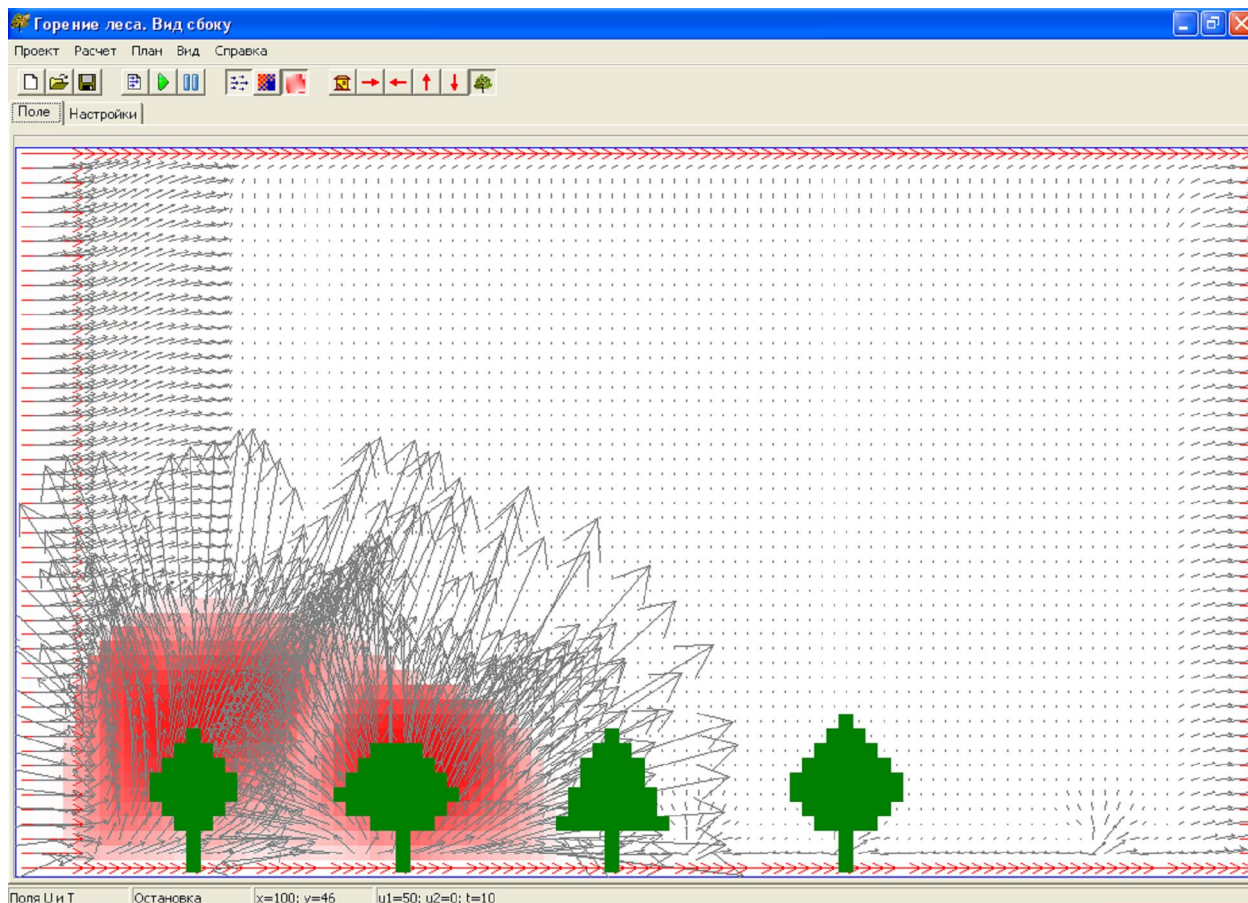


Рис. 1. Интерфейс компьютерного комплекса "Горение леса"

Каждая компонента векторного критерия f_i оценивает результативность действий пожарных подразделений на i -ом участке тушения лесного пожара и задается кортежем:

$$f_i = \langle v_p, Q, V_{ликв}, N_{л/с}, N_{ств}, N_{ПА} \rangle, \quad (1.1)$$

где v_p – линейная скорость распространения лесного пожара, м/мин;

Q – расход огнетушащего вещества, подаваемого пожарными подразделениями, л/мин;

$V_{ликв}$ – линейная прогнозируемая скорость ликвидации лесного пожара, м/мин;

$N_{л/с}$ – количество личного состава пожарных подразделений, работающих при тушении лесного пожара;

$N_{ств}$ – количество задействованных на участке тушения пожара приборов подачи огнетушащего вещества;

$N_{ПА}$ – количество пожарных автомобилей.

Вектор $f(x_i) = (f_1(x_i), f_2(x_i), \dots, f_m(x_i))$ является многомерной оценкой варианта решения x_i .

Для решения задачи выбора варианта с максимальными значениями компонент многомерной оценки априорно необходимо пользоваться методами многокритериальной оптимизации.

2. Математическая модель для выбора вариантов решений на основе многокритериальной оптимизации

В многокритериальной оптимизации считается, что наилучшее решение содержится среди множества Парето, которое задается следующим выражением:

$P(X) = \{x^* \in X \mid \text{не существует такого } x \in X, \text{ при котором } f(x) \geq f(x^*)\}$, (2.1)
где $P(X)$ – множество Парето для задачи с множеством решений X и векторным критерием f ;

x^* – фиксированный вариант из множества X .

Во многих практических случаях данное множество содержит большое количество вариантов решений, поэтому в многокритериальной оптимизации поставлена проблема сужения множества Парето [3, 4].

Для решения данной проблемы в рамках разрабатываемой модели воспользуемся подходом скаляризации многокритериальной задачи. Данный подход включает в себя два этапа:

- 1 – выявления предпочтений лица, принимающего решения (ЛПР);
- 2 – построение обобщенного критерия предпочтительности вариантов управленческих решений.

Обобщенный критерий, как правило, представляется в аддитивной форме, но так как основным параметром для оценки результативности вариантов решений при ликвидации лесных пожаров является направление, скорость распространения и получаемая на основе этих параметров площадь лесного пожара, то в нашем случае в качестве вида обобщенного критерия будет использована мультипликативная функция:

$$F = \prod_{s=1}^m f_s^{\omega_s}, \quad (2.2)$$

где F – обобщенный критерий оценки предпочтительности вариантов решений;

ω_s – весовой коэффициент важности частного критерия f_s , причём $\sum_{s=1}^m \omega_s = 1$.

Весовые коэффициенты важности критериев предлагается вычислять на основе нормированных коэффициентов относительной важности, математическое и логическое обоснование которых произведено Ногиным В.Д. [5].

Рассмотрим нормированный коэффициент относительной важности (θ_{ij}) критериев f_i и f_j . Коэффициент относительной важности принимает значения из интервала (0, 1). Этот коэффициент показывает долю потери по менее важному критерию, на которую согласно пойти ЛПР, в сравнении с суммой потери и прибавками по более важному критерию. В том случае, если θ_{ij} близок к единице, то это означает, что ЛПР за небольшую прибавку по более важному i -му критерию готово платить довольно большой потерей по менее важному j -му критерию. В случае, когда этот коэффициент близок к нулю, ЛПР согласно пойти на потери по менее важному критерию лишь при условии получения существенной прибавки по более важному критерию. Если же $\theta_{ij} = 0,5$, то ЛПР

готово согласиться на определенную прибавку по более важному критерию за счёт потери по менее важному критерию при условии, что величина потери в точности совпадает с величиной прибавки [5].

Таким образом, для выявления предпочтений ЛПР предлагается следующий способ [6].

Обозначим A группу наиболее важных критериев. В группу A входят критерии с номерами i , принадлежащими подмножеству номеров векторного критерия I_A , тогда a – количество критериев, входящих в группу A .

В группу A должны входить критерии оценки действий пожарных подразделений, работающих на решающем направлении тушения лесного пожара.

Обозначим B группу наименее важных критериев. В группу B входят критерии с номерами j , принадлежащими подмножеству номеров векторного критерия I_B , тогда b – количество критериев, входящих в группу B .

В группу B должны входить критерии оценки действий пожарных подразделений, работающих на участках тушения пожара, где решаются второстепенные задачи.

Для подмножеств номеров компонент векторного критерия I_A и I_B должны выполняться следующие соотношения:

1) $I_A \neq \emptyset$, $I_B \neq \emptyset$ означают, что в группу A и в группу B должно входить не менее одного критерия.

2) $I_A \cap I_B = \emptyset$ означают, что один и тот же критерий не может одновременно принадлежать группе A и группе B .

3) $I_A \cup I_B = I$ означают, что каждому из критериев должна быть определена группа важности.

После этого выявляется набор нормированных коэффициентов относительной важности критериев θ_{ij} для всех $i \in I_A$, $j \in I_B$.

Коэффициенты ω_s вычисляются по формулам:

- для каждого критерия с номером $i \in I_A$ (группа A):

$$\omega_i = \frac{1 + \Theta_i}{a \cdot (1 + b)}, \quad (2.3)$$

где $\Theta_i = \sum_j \theta_{ij}$, $\forall j \in I_B$;

- для каждого критерия с номером $j \in I_B$ (группа B):

$$\omega_j = \frac{a - \Theta_j}{a \cdot (1 + b)}, \quad (2.4)$$

где $\Theta_j = \sum_i \theta_{ij}$, $\forall i \in I_A$.

Оптимальным можно считать вариант решения, удовлетворяющий выражению:

$$\text{Opt}(x^*) = \{x^* \in P(X) \mid \text{не существует такого } x \in P(X), \text{ при котором } F(x) > F(x^*)\}. \quad (2.5)$$

Данное математическое выражение позволяет осуществить многокритериальную оптимизацию на конечном множестве вариантов решений. Поэтому при реализации многокритериальной оптимизации необходимо рассматривать конечное множество базовых сценариев развития лесных пожаров.

Заключение

Разработанный математический аппарат позволяет построить интегрированный автоматизированный комплекс, включающий прикладные программы организационного управления мероприятиями по ликвидации лесных пожаров, возникающих на региональных уровнях. Применение разработанного аппарата позволит повысить оперативность процессов моделирования сценариев развития лесных пожаров, а также сконцентрировать силы и средства пожарных подразделений на наиболее опасных направлениях развития возникшего лесного пожара.

Автоматизация процессов принятия решений при ликвидации лесных пожаров повышает качество превентивных и оперативных планов противодействия лесным пожарам, что, в свою очередь, существенно снижает общие конечные потери и ущерб от их возникновения и развития.

Литература

1. **Кузнецов О.П.** Интеллектуализация поддержки управляющих решений и создание интеллектуальных систем // Проблемы управления, 2009, № 3.1. С. 64-72.
2. **Кульба В.В., Косяченко С.А., Лебедев В.Н.** Автоматизированные информационно-управляющие системы социально-экономических и организационных структур // Проблемы управления, 2009, № 3.1. С. 73-86.
3. **Ногин В.Д.** Проблема сужения множества Парето: подходы к решению // Искусственный интеллект и принятие решений, 2008, № 1. С. 98-112.
4. **Подиновский В.В., Ногин В.Д.** Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. 256 с.
5. **Ногин В.Д.** Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. 144 с.
6. **Теребнев В.В., Семенов А.О., Смирнов В.А., Тараканов Д.В.** Анализ и поддержка принятия решений при тушении пожаров // Пожаровзрывобезопасность, 2010, № 5. С. 10-17.