

А.О. Семенов, Д.В. Тараканов
(Ивановский институт ГПС МЧС России;
e-mail: ao-semenov@mail.ru)

АЛГОРИТМ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО ВЫБОРА ВАРИАНТОВ РАССТАНОВКИ СИЛ И СРЕДСТВ ПРИ ТУШЕНИИ ПОЖАРОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Для рационального использования сил и средств пожарных подразделений при тушении пожаров разработан алгоритм, позволяющий с помощью методов имитационного моделирования осуществить многокритериальный выбор наилучшего варианта расстановки сил и средств по участкам тушения пожара.

Ключевые слова: многокритериальная оптимизация, имитационное моделирование, тушение пожаров.

A.O. Semenov, D.V. Tarakanov

ALGORITHM MULTICRITERIA SELECTION OF OPTIONS INSTALLATION OF FORCES AND MEANS IN FIGHTING FIRES WITH APPLICATION OF SIMULATION MODELING

For the rational use forces and means of fire departments in extinguishing fires developed an algorithm which allows using the methods of simulation to carry out multicriteria selection of the best variant of the balance of forces and resources at areas of fire suppression.

Key words: multicriteria optimization, simulation modeling, fire fighting.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 21 марта 2011 г.

Эффективное использование сил и средств при тушении пожаров основывается на грамотной расстановке руководителем тушения пожара (РТП) пожарных подразделений по участкам тушения пожара. Правильный выбор оптимального варианта расстановки сил и средств во многом определяет и саму тактику тушения пожаров. Однако при выборе вариантов расстановки РТП должен учитывать прогнозные оценки их результативности, которые зависят от системы используемых показателей. Прогнозные оценки результативности действий пожарных подразделений на участках тушения пожара в работе [1] предложено получать, используя зависимость:

$$E = \alpha_1 Q + \alpha_2 N_{\text{чел}} + \alpha_3 N_{\text{ств}}, \quad (1)$$

где Q – расход огнетушащего вещества, л/с;

$N_{\text{чел}}$ – количество человек в расчете отделения;

$N_{\text{ств}}$ – количество поданных стволов;

α_i – положительные коэффициенты, определяемые для каждой задачи пожаротушения, $i = 1, 2, 3$.

В этом случае при наличии нескольких участков тушения пожара любой допустимый вариант расстановки сил и средств будет характеризоваться векторной оценкой, каждая компонента которой показывает степень достижения цели на конкретном участке тушения пожара [2, 3]. А сама задача выбора оптимального варианта расстановки сил и средств может быть представлена как задача многокритериальной оптимизации, включающая в себя:

- множество вариантов решений $v^i \in V$; $i = 1, 2, \dots, n$; $n \geq 2$;
- векторный критерий $E_s \in E$; $s = 1, 2, \dots, m$; $m \geq 2$ (каждый критерий количественно оценивает результативность действий пожарных подразделений, работающих на участке тушения пожара с номером s);
- множество векторных оценок $E(V) = E_1(V) \times E_2(V) \times \dots \times E_m(V)$,

где $E_1(V)$ – множество значений оценок вариантов решений $v^i \in V$ по критерию E_1 ;

$E(v^i) = (E_1(v^i), E_2(v^i), \dots, E_m(v^i))$ – векторная оценка варианта v^i из множества $E(V)$;

$E_s(v^i)$ – оценка варианта v^i по критерию E_s .

Для решения такой задачи необходимо выбрать наиболее предпочтительный вариант решения или, по крайней мере, сузить множество альтернативных вариантов.

В работах [4, 5] на основе математической модели, позволяющей обосновано выявлять и учитывать информацию об относительной важности критериев при реализации многокритериальной оптимизации, разработан алгоритм, предполагающий построение совокупности всех "разумных" вариантов. Здесь для формулировки "разумного" варианта используется понятие оптимальности по Парето.

Алгоритм многокритериального выбора вариантов расстановки сил и средств при тушении пожаров

На первом этапе выбора вариантов решений осуществляется построение множества Парето по формуле:

$$P(V) = \{v^* \in V \mid \text{не существует такого } v \in V, \text{ что } E(v) \geq E(v^*)\}. \quad (2)$$

На втором этапе выбора вариантов производится разделение компонент векторного критерия по группам важности.

Пусть $I = \{1, 2, \dots, m\}$ множество номеров критериев E_1, \dots, E_m .

Группа A 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 .

Группа B 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 .

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 как в группу A , так 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.

На третьем этапе выбора вариантов решений выявляется набор нормированных коэффициентов относительной важности критериев θ_{ij} для всех $i \in I_A, j \in I_B$.

На четвертом этапе выбора вариантов решений осуществляется формализация системы предпочтений РТП, выраженной набором положительных параметров ω_s , $s = 1, 2, \dots, m$, характеризующих важность решаемых задач на

участках тушения пожара, причем $\sum_{s=1}^m \omega_s = 1$.

Коэффициенты ω_s вычисляются по формулам:

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

$$\omega_i = \frac{1 + \Theta_i}{a \cdot (1 + b)}, \quad (3)$$

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

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

$$\omega_j = \frac{a - \Theta_j}{a \cdot (1 + b)}, \quad (4)$$

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

На пятом этапе выбора вариантов решений осуществляется построение целевой функции $\Phi(x)$ по формуле:

$$\Phi(x) = \sum_{s=1}^m \omega_s E_s(x). \quad (5)$$

На шестом этапе выбора вариантов решений осуществляется построение множества выбранных вариантов решений $Sel(X)$, которое определяется равенством:

$$Sel(X) = \{v^* \in P(X) \mid \text{не существует такого } v \in P(V), \text{ что } \Phi(v) > \Phi(v^*)\}. \quad (6)$$

Однако с практической точки зрения особенно на этапе предварительного планирования действий, связанных с тушением пожаров, достаточно проблематично указать точную степень превосходства одних критериев выбора над другими (нормированный коэффициент относительной важности критериев), поэтому наиболее удобным для человека способом оценки по важности критериев является указание интервала, которому может принадлежать данный коэффициент.

Таким образом, *задачей* исследования является разработка алгоритма выявления предпочтений РТП с помощью интервального значения нормированного коэффициента относительной важности критериев.

Выбор же конкретного значения коэффициента относительной важности критериев необходимо осуществлять с помощью методов имитационного моделирования. Для этого необходимо решить многокритериальную задачу большое количество раз (100 и более) и произвести выбор такого варианта, у которого вероятность оказаться во множестве выбранных максимальна.

Алгоритм выявления предпочтений РТП с применением имитационного моделирования

Пусть задано, что i -й критерий важнее j -го критерия с нормированным коэффициентом относительной важности θ_{ij} , принимающим значения из интервала $(\theta_{ij}^{Min}, \theta_{ij}^{Max})$.

Рассмотрим ξ – нормально распределенную случайную величину с параметрами $a = 0, \sigma = 1$, и η – такую же случайную величину, независимую от ξ .

Тогда плотность случайной точки с декартовыми координаторы (ξ, η) на плоскости x, y равна произведению плотностей ξ и η :

$$p(x, y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{y^2}{2}} = \frac{1}{2\pi} e^{-(x^2+y^2)/2}. \quad (7)$$

Перейдём к полярным координатам на плоскости: $x = r \cos \theta, y = r \sin \theta$. Пусть ρ, ψ – случайные полярные координаты точки (ξ, η) , $\xi = \rho \cdot \cos \psi$ и $\eta = \rho \cdot \sin \psi$.

Совместная плотность ρ и ψ равна

$$\bar{p}(r, \varphi) = p(x, y) \left| \frac{\partial(x, y)}{\partial(r, \varphi)} \right| = \frac{r}{2\pi} e^{-\frac{r^2}{2}}. \quad (8)$$

Вычислим плотности ρ и ψ :

$$p_1(r) = \int_0^{2\pi} \bar{p}(r, \varphi) d\varphi = r e^{-\frac{r^2}{2}}, \quad (9)$$

$$p_2(r) = \int_0^{\infty} \bar{p}(r, \varphi) dr = \frac{1}{2\pi}. \quad (10)$$

Так как $\bar{p}(r, \varphi) = p_1(r)p_2(\varphi)$, то ρ и ψ независимы и легко моделируются – каждая по своей функции распределения:

$$F_1(r) = 1 - e^{-\frac{r^2}{2}}, \quad (11)$$

$$F_2(\varphi) = \frac{\varphi}{(2\pi)}, \quad (12)$$

где $0 < r < \infty$, $0 < \varphi < 2\pi$.

Из уравнений $F_1(\rho) = 1 - \gamma_1$, $F_2(\psi) = \gamma_2$ получим формулы:

$$\rho = \sqrt{-2 \ln \gamma_1}, \quad \varphi = 2\pi\gamma_2. \quad (13)$$

Окончательные формулы:

$$\xi = \cos 2\pi\gamma_2 \sqrt{-2 \ln \gamma_1}, \quad (14)$$

$$\eta = \sin 2\pi\gamma_2 \sqrt{-2 \ln \gamma_1}. \quad (15)$$

Данные формулы позволяют по двум равномерно распределённым числам γ_1 и γ_2 вычислить два независимых значения нормальной случайной величины с параметрами $a = 0$, $\sigma = 1$. Однако каждая из этих формул имеет вид $\xi = g(\gamma_1, \gamma_2)$.

Исходя из условия, что нормированный коэффициент относительной важности критериев принадлежит интервалу $\theta_{ij} \in (\theta_{ij}^{Min}, \theta_{ij}^{Max})$, получим окончательную формулу для вычисления его конкретного значения:

$$\theta_{ij}^k = \theta_{ij}^{Min} + (\theta_{ij}^{Max} - \theta_{ij}^{Min}) \frac{3\sigma + \cos(2\pi R_k^{(1)}) \sqrt{-2 \cdot \ln(R_k^{(2)})}}{6\sigma}, \quad (16)$$

где $R_k^{(1)}, R_k^{(2)}$ – случайные равномерно распределённые числа на k -ом шаге имитации, причём $R_k^{(1)} \neq R_k^{(2)}$.

Заключение

Предложенный алгоритм многокритериального выбора с применением имитационного моделирования для вычисления значений нормированных коэффициентов относительной важности критериев целесообразно использовать при разработке рекомендаций по рациональному использованию сил и средств на этапе предварительного планирования действий, связанных с тушением пожаров по схеме, предложенной в работе [7]. Данный алгоритм может быть также использован для формализованного описания проблемных ситуаций, возникающих при управлении в ходе тушения пожаров, что является основой формирования опыта тушения пожара, который в дальнейшем может быть использован при проведении пожарно-тактических учений.

Авторам представляется, что развитие алгоритма может быть осуществлено в направлении обоснования выбора нормального закона распределения случайной величины, описывающей события, связанные с получением конкретных значений нормированного коэффициента относительной важности критериев.

Литература

1. **Теребнёв В.В., Бондаренко М.В.** К вопросу о расчётных методах оценки эффективности управления // Материалы XV научно-практической конференции "Проблемы горения и тушения пожаров на рубеже веков" ч. 2. М.: ВНИИПО МВД России, 1999. С. 204-206.

2. **Математическая** модель для выбора вариантов решений по расстановке пожарных подразделений при ликвидации лесных пожаров / Семёнов А.О., Смирнов В.А., Тараканов Д.В., Черепанов Д.А. // Технологии техносферной безопасности: Интернет-журнал. – Вып. 3(37). – 2011. – 6 с. – <http://ipb.mos.ru/ttb/2011-3>. – 0421100050/0045.

3. **Тараканов Д.В.** Метод многокритериальной оптимизации в системе поддержки принятия решений при тушении крупных пожаров // Материалы девятнадцатой научно-технической конференции "Системы безопасности" – СБ-2010. М.: Академия ГПС МЧС России, 2010. – <http://ipb.mos.ru/sb/2010>.

4. **Тараканов Д.В.** Метод модификации векторного критерия в системе поддержки принятия решения при тушении крупного пожара // Технологии техносферной безопасности: Интернет-журнал. – Вып. 2(30). – 2010. – 12 с. – <http://ipb.mos.ru/ttb/2010-2>. – 0421000050/0028.

5. **Семенов А.О., Булгаков В.В., Тараканов Д.В.** Компьютерный модуль системы поддержки принятия решений при тушении крупных пожаров // Технологии техносферной безопасности: Интернет-журнал. – Вып. 1(35). – 2011. – 6 с. – <http://ipb.mos.ru/ttb/2011-1>. – 0421100050/0003.

6. **Партыка Т.Л., Попов И.И.** Математические методы: учебник. 2-е изд., испр. и доп. М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2007. 464 с.

7. **Тараканов Д.В.** Подготовка управленческих решений при предварительном планировании тушения пожара // Материалы V Международной науч.-практ. конференции "Пожарная и аварийная безопасность". – Иваново: Издательство "Юнона", 2010. С. 86-89.