

УДК. 614.8

Методика определения показателей предпочтительности вариантов действий по ликвидации чрезвычайных ситуаций на потенциально опасных объектах

А.О. Семенов¹, А.Н. Лабутин², Д.В. Тараканов¹

¹ФГБОУВПО «Ивановский институт ГПС МЧС России», Иваново, Российская Федерация

²ФГБОУВПО «Ивановский государственный химико-технологический университет»,

Иваново, Российская Федерация

E-mail: ao-semenov@mail.ru

Авторское резюме

Состояние вопроса: Система управления действиями при ликвидации чрезвычайных ситуаций на потенциально опасных объектах, в том числе объектах энергетики, направлена на одновременное достижение нескольких целей и потому является сложной. Процесс принятия решений в таком случае основывается на учете нескольких показателей эффективности, характеризующих степень достижения конкретных целей системой управления. Поэтому при разработке вариантов действий по ликвидации чрезвычайных ситуаций на потенциально опасных объектах необходимо использовать формализованные процедуры многокритериального выбора.

Материалы и методы: В работе использованы методы многокритериальной оптимизации.

Результаты: На основе общей математической модели, позволяющей обоснованно учитывать информацию об относительной важности критериев в процессе многокритериального выбора, разработан аддитивный метод модификации векторного критерия для поиска наилучшего решения.

Выводы: Разработанные процедуры многокритериального выбора используются на этапах планирования и анализа действий по ликвидации чрезвычайных ситуаций в целях обобщения оперативной информации, необходимой для эффективного использования привлекаемых подразделений.

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация, принятие решений, многокритериальная оптимизация.

Calculation Method of Preference Parameters of Action Versions for Disaster Response on potentially dangerous objects

A.O. Semenov¹, A.N. Labutin², D.V. Tarakanov¹

¹Ivanovo State Power Engineering University, Ivanovo, Russian Federation

²Ivanovo State University of Chemistry and Technology, Ivanovo, Russian Federation

E-mail: ao-semenov@mail.ru

Abstract

Background: The actions control system for disaster response on potentially hazardous installations (power plants) including the power engineering units aims to achieve several goals simultaneously, and therefore it is difficult. Decision-making process in such case is based on consideration of several efficiency indicators that characterize the achievement degree of specific objectives by the management system. Therefore, when developing options for emergency response to potentially dangerous objects it is necessary to use formal procedures for multi-criteria selection.

Materials and Methods: The methods of multicriteria optimization were used in the research.

Results: Based on a general mathematical model taking into account substantiated information about the relative importance of criteria in multi-criteria selection process the additive method of modification of the vector criterion for finding the best solution is developed.

Conclusions: The developed procedures in the multi-criteria selection are used on the planning stage for emergency response, as well as on the analysis stage of the disaster occurred with the aim of collecting operational information which is necessary for the effective usage of the units involved.

Key words: emergency, decision making, multicriteria optimization.

Введение. Эффективность действий пожарно-спасательных подразделений, связанных с ликвидацией чрезвычайных ситуаций (ЧС) на потенциально опасных объектах энергетики, в том числе и на других, зависит от многих факторов, к которым без сомнений можно отнести качество принимаемых решений при управлении силами и средствами на месте ликвидации ЧС. Данной проблемой занимаются учебные и научные заведения МЧС России. Так, на базе ВНИИ ГОЧС МЧС России

создан Центр поддержки принятия решений в кризисных ситуациях. В соответствии с приказом МЧС России от 11.12.2006 №732, одной из основных задач центра является методическое и информационное обеспечение системы управления при ликвидации ЧС на потенциально опасных объектах.

Постановка задачи. Преследуя одновременное достижение нескольких целей, система управления действиями по ликвидации ЧС на потенциально опасных объектах явля-

ется сложной. В соответствии с этим, процесс принятия решений в такой системе основывается на учете нескольких показателей предпочтительности вариантов решений, характеризующих степень достижения конкретной цели системой управления. Для моделирования предпочтительности вариантов по показателям используются количественные шкалы, конкретные значения которых определяются с помощью экспертов и (или) математических моделей отдельных процессов, протекающих при реализации действий по ликвидации ЧС на потенциально опасных объектах.

В такой интерпретации задача принятия решений сводится к задаче многокритериальной оптимизации, включающей в себя:

- множество вариантов управленческих решений V , содержащих элементы $v_i, i = 1, 2, \dots, n$;
- множество количественных шкал показателей E , содержащих элементы $E_i, i = 1, 2, \dots, m$.

Объединение множеств V и E индуцирует множество векторных оценок вариантов решений $E(V)$, элементами которого являются m -мерные векторные оценки n вариантов решений $E(v_*) = E_1(v_*), E_2(v_*), \dots, E_m(v_*)$.

В такой задаче необходимо произвести выбор варианта, у которого значения количественных шкал показателей максимальны.

Практика принятия решений при ликвидации ЧС на потенциально опасных объектах показала, что не существует варианта с максимальными значениями по всем шкалам показателей, и поэтому производить выбор необходимо среди эффективных вариантов. Для формализации эффективности вариантов используется понятие оптимальности по Парето, суть которого заключается в том, что некоторый вариант решения является эффективным, если при замене его любым другим вариантом нельзя добиться увеличения значения шкалы хотя бы одного показателя, не уменьшив значения шкалы другого показателя. Объединение всех эффективных вариантов решений является множеством парето-оптимальных вариантов и обозначается $P(V)$. Однако данное множество во многих практических случаях мало отличается от исходного множества вариантов V .

В работах [1, 2, 8] при реализации сценарного подхода к моделированию вариантов действий при ликвидации ЧС, предусматривающей формирование вариантов решений в рамках выбранного сценария возникновения и развития чрезвычайной ситуации, для производства окончательного выбора варианта решения использовался метод аналитической иерархии. Данный метод предусматривает выявление экспертом информации о важности показателей достижения цели системой управления на месте ЧС w_i для каждой количественной шкалы показателя E_i , а в качестве оп-

тимального варианта принято считать вариант, приводящий к максимизации суммы оценок по шкалам показателей с учетом коэффициентов их важности, т. е.

$$Opt(V) = \underset{V}{\operatorname{argmax}} \sum_{i=1}^m \omega_i E_i(v). \quad (1)$$

В методе аналитической иерархии при выявлении коэффициентов важности показателей существуют значительные недостатки, одним из которых является ошибка транзитивности суждения эксперта.

Для исключения такой ошибки разработана процедура выявления коэффициентов важности показателей, основанная на сравнении по предпочтительности векторных оценок парето-оптимальных вариантов решений с использованием нормированного коэффициента относительной важности шкал показателей.

Пусть I – множество номеров шкал показателей $E = (E_1, \dots, E_m)$. Количество элементов, составляющих множество I , равно m . Пусть из двух векторных оценок парето-оптимальных вариантов $E(v')$ и $E(v'')$ эксперт указал лучшую (выбранную) $E(v')$ и худшую (невывбранную) $E(v'')$, т. е.

$$E(v') \succ E(v''), \quad (2)$$

где $E(v'), E(v'')$ – векторные оценки вариантов $v', v'' \in V$, полученные с помощью векторного критерия $E = (E_1, \dots, E_m)$; m – размерность векторного критерия; \succ – бинарное отношение предпочтения, заданное лицом.

При выборе из пары векторных оценок вариантов решений в соответствии с понятием парето-оптимальности найдется такое подмножество номеров компонент векторного критерия, обозначим его I_A , по которым в результате выбора получены некоторые «выигрыши», характеризующиеся выражением

$$E_i(v') - E_i(v'') = w_i > 0 \text{ для всех } i \in I_A. \quad (3)$$

Компоненты векторного критерия с номерами из множества I_A объявляются более важными и объединяются в группу А.

В то же время должно найтись такое подмножество номеров компонент векторной функции, обозначим его I_B , по которым, наоборот, в результате выбора получены «проигрыши», т. е.

$$E_j(v'') - E_j(v') = w_j \text{ для всех } j \in I_B. \quad (4)$$

Компоненты векторного критерия с номерами из множества I_B объявляются менее важными по сравнению с компонентами векторного критерия из группы А и объединяются в группу В. Остальные компоненты объединяются в группу С. Стоит отметить, что каждая компонента векторного критерия принадлежит только одной группе.

В общем случае может существовать такое подмножество номеров компонент векторной функции, обозначим его I_c , по которым оценки данных вариантов равны

$$E_c(v') - E_c(v'') = 0 \text{ для всех } c \in I_c. \quad (5)$$

После того как компоненты векторного критерия разделены на подгруппы А, В и С, для каждой комбинации показателя с номером из групп I_A и I_B вычисляется нормированный коэффициент относительной важности показателей.

Пусть $I_A, I_B \subset I$, $I_A \neq \emptyset$, $I_B \neq \emptyset$, $I_A \cap I_B \neq \emptyset$ и группа критериев А важнее группы критериев В с наборами положительных параметров w_i , $\forall i \in I_A$ и w_j , $\forall j \in I_B$. Тогда положительное число

$$\theta_{ij} = \frac{w_j}{w_i + w_j}, \quad i \in I_A, j \in I_B, \quad (6)$$

является нормированным коэффициентом относительной важности для показателя с номером i над показателем с номером j . Далее определяется набор нормированных коэффициентов относительной важности показателей для всех комбинаций показателей из групп А и В [3].

С помощью набора нормированных коэффициентов относительной важности критериев θ_{ij} определяем весовые коэффициенты важности каждого показателя для реализации их в методе аналитической иерархии по формулам:

– для каждой компоненты с номером $i \in I_A$

$$\omega_i = \frac{1 + \theta_i}{a(1+b) + s}; \quad (7)$$

– для каждой компоненты с номером $j \in I_B$

$$\omega_j = \frac{a - \theta_j}{a(1+b) + s}; \quad (8)$$

– для каждой компоненты с номером $c \in I_C$

$$\omega_c = \frac{1}{a(1+b) + s}. \quad (9)$$

В формулах (7), (8), (9) введены следующие обозначения: a – количество показателей, входящих в группу А; b – количество показателей, входящих в группу В; s – количество показателей, входящих в группу С;

$$\theta_i = \sum_j \theta_{ij}, \quad \forall j \in I_B, \quad (10)$$

где \sum_j означает, что суммирование производится по j для всех $j \in I_B$;

$$\theta_j = \sum_i \theta_{ij}, \quad \forall i \in I_A, \quad (11)$$

где \sum_i означает, что суммирование производится по i для всех $i \in I_A$.

Выявленная с помощью предложенной процедуры информация о важности шкал показателей не требует оценки транзитивности суждений эксперта, так как суждение эксперта всего одно, и оно заключается в том, что одна векторная оценка парето-оптимального варианта предпочтительнее другой. Это одновременно самый простой и надежный (с точки зрения транзитивности) способ выявления информации о важности показателей, влияющих на предпочтительность вариантов.

Заключение

Путем учета разработанной процедуры в методе аналитической иерархии был разработан аддитивный метод модификации векторного критерия для поиска наилучшего варианта решения [7].

Для возможности использования метода на этапах планирования действий по ликвидации ЧС на потенциально опасных объектах и при анализе принятых решений в ходе ликвидации ЧС на основе предложенной процедуры разработаны следующие алгоритмы:

– алгоритм выявления коэффициентов важности показателей с использованием последовательного сравнения оценок эффективности пожарно-спасательных подразделений по критерию реализации тактических возможностей;

– алгоритм выявления коэффициентов важности показателей с помощью словесной шкалы определения уровня превосходства в важности задач, решаемых на участках ликвидации ЧС;

– алгоритм выявления коэффициентов относительной важности шкал показателей с применением имитационного моделирования [6].

Предложенная процедура выявления информации о важности шкал показателей, основанная на парном сравнении парето-оптимальных вариантов решений может значительно упростить используемые в других сложных системах управления прикладные методики принятия решений, основанные на методе аналитической иерархии.

Список литературы

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. Семенов А.О., Булгаков В.В., Тараканов Д.В. Компьютерный модуль системы поддержки принятия решений при тушении крупных пожаров // Технологии техно-

сферной безопасности: интернет-журнал. – 2011. – Вып. 1(35). – 6 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb/2011-1>. – 0421100050/0003.

6. Семенов А.О., Тараканов Д.В. Алгоритм многокритериального выбора вариантов расстановки сил и средств при тушении пожаров с применением имитационного моделирования // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2011. – Вып. 4(38). – 6 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb/2011-4>. – 0421100050/0058.

7. Тараканов Д.В. Метод модификации векторного критерия в системе поддержки принятия решения при тушении крупного пожара // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2010. – Вып. 2(30). – 12 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb/2010-2>. – 0421000050/0028.

8. Лабутин А.Н., Семенов А.О., Тараканов Д.В. Агентно-ориентированное моделирование системы управления подразделениями при ликвидации чрезвычайных ситуаций на объектах химической промышленности // Современные наукоемкие технологии. – 2011. – Вып. 3 (27). – С. 94–99.

References

1. Kuznetsov, O.P. *Problemy upravleniya*, 2009, no. 3.1, p. 64–72.

2. Kul'ba, V.V., Kosyachenko, S.A., Lebedev, V.N. *Problemy upravleniya*, 2009, no. 3.1, pp. 73–86.

Семенов Алексей Олегович,
ФГБОУВПО «Ивановский институт ГПС МЧС России»,
кандидат технических наук, доцент, ученый секретарь,
e-mail: ao-semenov@mail.ru

Лабутин Александр Николаевич,
Ивановский государственный химико-технологический университет,
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технической кибернетики и автоматизики
e-mail: ao-semenov@mail.ru

Тараканов Денис Вячеславович,
ФГБОУВПО «Ивановский институт ГПС МЧС России»,
кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры пожарной тактики,
e-mail: ao-semenov@mail.ru

3. Nogin, V.D. *Iskusstvennyy intellekt i prinyatie resheniy*, 2008, no. 1, pp. 98–112.

4. Podinovskiy, V.V., Nogin, V.D. *Pareto-optimal'nye resheniya mnogokriterial'nykh zadach* [Pareto-optimal Solutions of Multiobjective Problems]. Moscow, FIZMATLIT, 2007. 256 p.

5. Semenov, A.O., Bulgakov, V.V., Tarakanov, D.V. Komp'yuternyy modul' sistemy podderzhki prinyatiya resheniy pri tushenii krupnykh pozharov [Computer Module of Support System of Decision-making Process for Large Firefighting]. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti*, 2011, issue 1(35). 6 p. Available at: <http://ipb.mos.ru/ttb/2011-1>. – 0421100050/0003.

6. Semenov, A.O., Tarakanov, D.V. Algoritm mnogokriterial'nogo vybora variantov rasstanovki sil i sredstv pri tushenii pozharov s primeneniem imitatsionnogo modelirovaniya [Algorithm of Multicriteria Choice of Forces Alignment Variants and Means for Firefighting with Usage of Simulation]. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti*, 2011, issue 4(38). 6 p. Available at: <http://ipb.mos.ru/ttb/2011-4>. – 0421100050/0058.

7. Tarakanov, D.V. Metod modifikatsii vektornogo kriteriya v sisteme podderzhki prinyatiya resheniya pri tushenii krupnogo pozhara [Modification Method of Vector Criterion in Support System of Decision-Making Process while Firefighting]. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti*, 2010, issue 2(30). 12 p. Available at: <http://ipb.mos.ru/ttb/2010-2>. – 0421000050/0028.

8. Labutin, A.N., Semenov, A.O., Tarakanov, D.V. *Sovremennyye naukoemkie tekhnologii*, 2011, issue 3 (27), pp. 94–99.