

Д. Н. Шалявин, А. В. Кулагин, А. А. Сорокин
(Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России;
e-mail: sharap1897@rambler.ru)

МОДЕЛЬ РАНЖИРОВАНИЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ТРЕНИРОВОЧНЫХ ОБЪЕКТОВ ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ ПОЖАРНЫХ

Предложена многокритериальная модель и разработана процедура ранжирования тренировочных объектов в порядке предпочтительности для использования в процессе специальной подготовки пожарных. В терминах теоретико-множественного анализа проведена формальная постановка задачи ранжирования и произведён выбор методологического аппарата для решения задачи с учётом многофункционального исполнения тренировочных объектов. Представлен пример применения процедуры ранжирования и определены пути дальнейшего развития предложенной модели и процедуры её реализующей.

Ключевые слова: тренировочные объекты, подготовка пожарных, многокритериальный анализ.

1. Введение

Актуальность исследования. Пожарная безопасность в Российской Федерации определяет необходимые условия для успешного социально-экономического развития страны. В соответствии с Указом президента РФ от 1 января 2018 г. № 2 "Об утверждении Основ государственной политики Российской Федерации в области пожарной безопасности на период до 2030 года" сформулированы приоритетные направления и задачи государственной политики в области пожарной безопасности к одной из которых относится: "повышение качества обучения личного состава подразделений всех видов пожарной охраны в части, касающейся профилактики и тушения пожаров, а также проведения аварийно-спасательных работ". Стоит отметить, что современное развитие подготовки пожарных определяет высокий уровень самосовершенствования, при котором создаются, апробируются и внедряются новые формы и методы подготовки. Производители пожарно-технического вооружения и оборудования уделяют особое внимание созданию **тренажёров и тренажёрных комплексов (далее – тренировочных объектов)**, разработаны производственные линейки, созданы системные конструктивные решения.

Аналитический обзор информационных источников показал, что для тренировочных занятий газодымозащитников активно применяются полигоны, **учебно-тренировочные комплексы (УТК)** и тренажёры, такие как УТК "Грот", УТК ПТС "Уголёк М", огневой полигон "ПТС-Лава", тренажёр ПТС "Штурм", тренажёр "Горящий вагон", комплекс ПТС "Наутилус", тренажёр ПТС "Т-Мобиль", тренажёр "Лабиринт", УТК "Огневой дом" и др. [7]. При этом социально-экономический эффект от применения тренировочных объектов является побудительным мотивом для их исполнения в многоцелевом виде для комплексной реализации нескольких функций при применении в процессе подготовки.

С одной стороны, многоцелевое исполнение тренировочных объектов является существенным развитием форм подготовки и определяет компактность и эффективность применения тренировочных объектов. С другой стороны, отсутствие процедуры идентификации тренировочных объектов на конкретных этапах подготовки является существенным препятствием при совершенствовании форм и методов подготовки пожарных. Разрешение данного противоречия возможно путём создания процедуры выбора тренировочных объектов для подготовки пожарных с учётом их многофункционального назначения.

Постановка научной задачи. Таким образом, для решения задач выбора тренажерных объектов при реализации форм и методов специальной подготовки необходимо учитывать одновременно несколько параметров тренировочного процесса. Поэтому теоретические результаты выбора должны соответствовать методам многокритериальной оптимизации. Научная задача состоит в теоретико-множественной постановке задачи выбора тренировочных объектов и создании процедуры их ранжирования для применения на этапах реализации тактико-специальной подготовки. Таким образом, целью работы является создание процедуры ранжирования тренировочных объектов, учитывающей несколько показателей выбора в зависимости от предпочтений специалистов пожарно-строевой и тактико-специальной подготовки пожарных.

2. Основная часть

Формальная постановка задачи. С целью ранжирования задач для построения последовательности проведения подготовки на многоцелевых тренировочных объектах рассмотрим (аналогично [1]) теоретико-множественную модель:

$$\langle X, F, F(X), \Phi(X) \rangle, \quad (1)$$

где X – множество объектов оценки;

F – множество показателей оценки, включающее нормированные шкалы измерения предпочтения объектов оценки;

$F(X)$ – множество векторных оценок;

$\Phi(X)$ – ранжирование по предпочтению.

Зададим множество **многофункциональных тренировочных объектов (далее – объекты оценки)**:

$$x_i \in X ; \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad n \geq 2, \quad (2)$$

где x_i – многофункциональный тренажерный комплекс с номером i ;

n – количество анализируемых тренажерных комплексов.

Для реализации процедур сравнения необходимо, что бы количество объектов оценки было два и более.

Тогда множество показателей для оценки предпочтительности тренировочных объектов (далее – показатели оценки) сформируем следующим образом:

$$f_s \in F ; \quad s=1, 2, \dots, m; \quad m \geq 2, \quad (3)$$

где f_s – показатель с номером s , используемый при выборе для оценки предпочтительности тренировочных объектов;

m – общее количество показателей, используемых при выборе.

В такой формулировке задачи выбора комплексная оценка предпочтительности тренировочных объектов имеет векторных вид, а выбор производится в Евклидовом пространстве $F(X)$:

$$F(x_i) \in F(X) \rightarrow F(x_i) = (f_1(x_i) \times \dots \times f_s(x_i) \times \dots \times f_m(x_i)), \quad (4)$$

где $f_s(x_i)$ – оценка объекта с номером i по показателю с номером s ;

$F(x_i)$ – комплексная оценка объекта с номером i .

Известно, что для ранжирования векторных оценок в Евклидовом пространстве целесообразно применять свёртку, имеющую мультипликативный вид, тогда функция ранжирования объектов оценки записывается следующим образом:

$$\Phi(x_i) = \prod_{s=1}^m f_s(x_i), \quad (5)$$

где $\Phi(x_i)$ – общая оценка ранжирования тренировочного объекта.

Предпочтения для выбора многоцелевых тренировочных объектов имеют типовой вид оптимизационной задачи максимизации, следовательно, чем выше оценки по каждому показателю, тем предпочтительнее тренировочный объект для выбора. Следовательно, чем выше значения функции $\Phi(x)$, тем выше рейтинг R тренировочного объекта x при выборе [1, 2].

Область применения модели. Стоит отметить, что применение теоретико-множественной модели вида (1) обычно сопряжено с понятием важности каждого из показателей оценки. Параметры важности в общей постановке задачи многопараметрической оптимизации являются дополнительной информацией для выбора. В практике задач принятия решений параметры важности оценивают из анализа опыта ранее принятых решений. Ввиду отсутствия формализованного опыта ранжирования тренировочных объектов на практике подготовки пожарных и спасателей в предлагаемой многопараметрической постановке задачи исследования здесь ограничимся допущением модели, состоящем в том, что показатели выбора равноважные, то есть их параметры важности равны единице и поэтому в функции (6) не отражаются. Применение функции (6) для ранжирования объектов накладывает ряд ограничений на шкалы измерений параметров выбора. Определим шкалу измерений объектов оценки как область допустимых значений всех оценок анализируемых объектов и зададим её в нормированном виде:

$$f_s(X) \in (0, 1), \quad (6)$$

где $f_s(X)$ – совокупность всех оценок анализируемых объектов по показателю с номером s .

Схема ранжирования объектов. Для разработки алгоритма ранжирования и оценки предпочтительности тренировочных объектов по показателям выбора воспользуемся теоретическими положениями "схемы сравнения с образцом" [1-3].

Для ранжирования объектов по предпочтению необходимо задать множество их номеров $I = \{1, 2, \dots, n\}$. Введём две подгруппы номеров объектов оценки: объекты с номерами $i \in I_A$ – группа более предпочтительных объектов по мнению *лица, принимающего решения (ЛПР)* (объекты образы – лучшие объекты) и $j \in I_B$ – группа менее предпочтительных объектов. Стоит отметить, что объекты образы по разным показателям могут быть различными, так как если в качестве образа по всем показателям будет выступать один и тоже объект, то он всегда будет иметь максимальный рейтинг в ранжировании и применение разрабатываемого алгоритма нецелесообразно. Пусть количество объектов с номерами $i \in I_A$ равно a , в свою очередь количество объектов с номерами $j \in I_B$ равно b , тогда необходимо ввести условие $a + b = n$, которое определяет, что каждому объекту будет назначена та или иная группа.

В соответствии с теоретическими положениями формирования количественных предпочтений, указанных в [3], каждой комбинации объектов с номерами $i \in I_A$ и $j \in I_B$ устанавливается коэффициент с теоретической шкалой $\theta_{ij} \in (0, 1)$, при этом, чем ближе значения коэффициента к единице, тем существеннее превосходство объекта образа над сравниваемым объектом. Для получения количественных значений процедур сравнений с образом необходима качественно-количественная шкала, устанавливающая соотношение между качественными высказываниями при сравнении и количественными оценками коэффициента θ_{ij} , тогда фактическая шкала коэффициента будет иметь дискретный вид: $\theta_{ij} \in (0, 1; 0, 2; 0, 3; 0, 4; 0, 5)$.

Качественно-количественная шкала оценки объектов значения θ_{ij} представлена в виде таблицы SNT¹.

Таблица 1

SNT-шкала объектов оценки

Высказывания	Параметр важности (θ_{ij})
x_i немного предпочтительнее x_j	0,1
x_i умеренно предпочтительнее x_j	0,2
x_i предпочтительнее x_j	0,3
x_i существенно предпочтительнее x_j	0,4
x_i много предпочтительнее x_j	0,5

В соответствии с [3], оценки по показателю s объектов, получают по формулам:

- для объектов с номерами $i \in I_A$

$$f_s(x_i) = \frac{1 + \Theta_i}{a(1 + b)}; \quad \Theta_i = \sum_j \theta_{ij}; \quad \forall j \in I_B; \quad (7)$$

¹ SNT (saying – высказывание; number – число; table – таблица)

- для объектов с номерами $j \in I_B$

$$f_s(x_j) = \frac{a - \Theta_j}{a(1+b)}; \quad \Theta_j = \sum_i \theta_{ij}; \quad \forall i \in I_A. \quad (8)$$

Обобщая формулы (3) и (4) для случая схемы сравнения с образом, предусматривающей наличие одного объекта образа и всех остальных сравниваемых с ним объектов, то есть $a = 1$, $b = n - 1$, окончательно получаем для образа оценку по показателю f_s :

- для объекта образа с номером i по формуле:

$$f_s(x_i) = \frac{1 + \sum \theta_{ij}}{n}; \quad (9)$$

- для объекта образа с номером j по формуле:

$$f_s(x_j) = \frac{1 - \theta_{ij}}{n}. \quad (10)$$

Пример ранжирования объектов. В качестве исходных данных рассмотрим три многофункциональных тренировочных объекта x_1 , x_2 , x_3 и два показателя оценки f_1 и f_2 . При этом по первому показателю в качестве образа ЛПР указал объект x_2 , по второму показателю – объект x_3 .

Проводя оценку по первому показателю, ЛПР дал следующее высказывания: " x_2 умеренно предпочтительнее x_1 ", следуя данным табл. 1, значение параметра $\theta_{21} = 0,2$ и " x_2 существенно предпочтительнее x_3 ", следовательно, $\theta_{23} = 0,4$.

Анализируя объекты оценки по второму показателю, от ЛПР получены следующие высказывания: " x_3 немного предпочтительнее x_1 " ($\theta_{31} = 0,1$) и " x_3 существенно предпочтительнее x_2 " ($\theta_{32} = 0,4$).

Тогда по первому показателю объект с номером 2 принадлежит группе $I_A = \{2\}$ и $I_B = \{1, 3\}$, $n = 3$.

Оценка для объекта образа с номером 2 рассчитывается по формуле (9):

$$f_1(x_2) = \frac{1 + \theta_{21} + \theta_{23}}{n} = \frac{1 + 0,2 + 0,4}{3} = 0,53;$$

Оценка для объектов рассчитывается по формуле (10):

- для объекта с номером 1

$$f_1(x_1) = \frac{1 - \theta_{21}}{n} = \frac{1 - 0,2}{3} = 0,27;$$

- для объекта с номером 2

$$f_1(x_3) = \frac{1 - \theta_{23}}{n} = \frac{1 - 0,4}{3} = 0,2.$$

Тогда по второму показателю объект с номером 3 принадлежит к группе $I_A = \{3\}$ и $I_B = \{1, 2\}$, количество сравниваемых объектов $n = 3$, оценки определим аналогично по формулам (9) и (10). Итак, для объекта образа с номером 3

$$f_2(x_3) = \frac{1 + \theta_{31} + \theta_{32}}{n} = \frac{1 + 0,1 + 0,4}{3} = 0,5,$$

для объектов с номерами 1 и 2 соответственно

$$f_2(x_1) = \frac{1 - \theta_{31}}{n} = \frac{1 - 0,1}{3} = 0,3 \quad \text{и} \quad f_2(x_2) = \frac{1 - \theta_{32}}{n} = \frac{1 - 0,4}{3} = 0,2.$$

Определим общие оценки по функции ранжирования по формуле (5)

$$\Phi(x_1) = \prod_{s=1}^2 f_s(x_1) = 0,27 \cdot 0,30 = 0,081;$$

$$\Phi(x_2) = \prod_{s=1}^2 f_s(x_2) = 0,53 \cdot 0,20 = 0,106;$$

$$\Phi(x_3) = \prod_{s=1}^2 f_s(x_3) = 0,20 \cdot 0,50 = 0,100.$$

Для удобства вычислений можно представить результаты расчёта в виде информационной доски – таблицы вида IB^2

Таблица 2

Результаты анализа

	f_1	f_2	$\Phi(x)$	Выбор
x_1	0,27	0,30	0,081	-
x_2	0,53	0,20	0,106	+
x_3	0,20	0,50	0,100	-

Таким образом, в соответствии с проведённым анализом наиболее предпочтительным тренировочным объектом является объект с номером 2.

3. Заключение

Процесс тактико-специальной подготовки пожарных является сложной многоплановой системой, предусматривающей применение методов системного анализа при планировании этапов реализации. Немаловажную роль в процессе подготовки пожарных играют тренировочные объекты. Учитывая, что современные объекты подготовки являются многоцелевыми, при выборе их использования на этапах подготовки необходимо учитывать несколько показателей. В данной работе для выбора тренировочных объектов разработана процедура их ранжирования, учитывающая наличие нескольких показателей выбора и позволяющая оценить предпочтения специалистов пожарно-строевой и тактико-специальной подготовки пожарных. Для этого в терминах теоретико-множественного анализа поставлена научная задача, решение которой предусматривает применение методов многокритериальной оптимизации. В работе представлен абстрактный пример решения задачи ранжирования тренировочных объектов с целью их выбора для применения на этапах тактико-специальной подготовки пожарных. Дальнейшие исследования предположительно будут направлены на разработку конкретных показателей для оценки предпочтительности тренировочных объектов и формирование информационных ресурсов для успешной реализации разработанной процедуры ранжирования.

² IB – information board (информационная доска)

Литература

1. Смирнов А. В., Хабибулин Р. Ш., Тараканов Д. В. Многоагентный метод анализа вариантов распределения ресурсов для обеспечения пожарной безопасности // Системы управления и информационные технологии. 2018. № 4 (74). С. 83-88.
2. Тараканов Д. В. Многокритериальная модель управления пожарно-спасательными подразделениями // Технологии техносферной безопасности. 2017. Вып. 4 (74). С. 148-154. <http://academygps.ru/ttb>.
3. Тараканов Д. В. Многоагентная система моделирования тушения пожаров в социальных зданиях // Технологии техносферной безопасности. 2016. Вып. 5 (69). С. 118-125. <http://academygps.ru/ttb>.
4. Sharabanova I. Yu., Shipilov R. M., Harlamov A. V. Application of new technical means aimed at training intended firefighters and rescuers to work in extreme conditions // В мире научных открытий. 2014. № 9 (57). С. 154-163. DOI: 10.12731/wsd-2014-9-11.
5. Грачев В. А., Поповский Д. В. Газодымозащитная служба: учебник. М.: Академия ГПС МЧС России, 2012. 384 с.
6. Легошин М. Ю., Чистяков И. М., Никишов С. Н., Шипилов Р. М., Соколов Е. Е. Практическое использование учебно-тренировочных комплексов для подготовки пожарных и спасателей // International research journal. 2017. № 11 (65). Часть 4. С. 44-51. DOI: 10.23670/IRJ.2017.65.092.
7. Соколов Е. Е., Чистяков И. М., Никишов С. Н. Мобильные и стационарные тренировочные комплексы и полигоны // Сборник матер. IX междунар. науч.-практ. конф. "Пожарная и аварийная безопасность". Иваново, 2014. С. 169-170.
8. Никишов С. Н., Чистяков И. М., Шипилов Р. М. Практическая подготовка пожарных и спасателей в учебно-тренировочных комплексах // Сб. материалов межвузовской (с международным участием) молодёжной научно-технической конференции "Молодые учёные – развитию Национальной технологической инициативы (ПОИСК)". Иваново: Ивановский государственный политехнический университет, 2018. С. 183-185.
9. Scholz M., Gordon D., Ramirez L., Sigg S., Dyrks T., Beigl M. A concept for support of firefighter frontline communication // Future Internet. 2013. Vol. 5. Issue 2. Pp. 113-127. <https://doi.org/10.3390/fi5020113>.
10. Xing Z.-X., Gao W.-L., Zhao X.-F., Zhu D.-Z. Design and implementation of city fire rescue decision support system // Procedia Engineering. 2013. Vol. 52. Pp. 483-488. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.02.172>.

Материал поступил в редакцию 23 сентября 2019 г.

Для цитирования: Шалявин Д. Н., Кулагин А. В., Сорокин А. А. Модель ранжирования многофункциональных тренировочных объектов для специальной подготовки пожарных // Технологии техносферной безопасности. – Вып. 4 (86). – 2019. – С. 71-78. DOI: 10.25257/TTS.2019.4.86.71-78.

D. N. Shalyavin, A. V. Kulagin, A. A. Sorokin

THE RANKING MODEL OF MULTIFUNCTIONAL TRAINING FACILITIES FOR SPECIAL TRAINING OF FIREFIGHTERS

A multi-criteria procedure for their ranking was developed for the selection of training facilities, taking into account several indicators of choice, which allows you to assess the preferences of fire-drill and tactical and special training of firefighters. An analytical review of information sources on the use of training facilities at different stages of tactical and special training of gas and smoke defenders was carried out. Problems of identification of the trained complexes necessary for special training of firefighters are considered.

In terms of set-theoretic analysis, the formal formulation of the ranking problem is carried out and the choice of methodological apparatus for solving the problem is made, taking into account the multifunctional execution of training objects and parameters of the training process.

The paper presents an abstract example of solving the problem of ranking training facilities in order to select them for the use in the stages of tactical and special training of firefighters.

Key words: training facilities, firefighters training, multi-criteria analysis.

References

1. Smirnov A. V., Khabibulin R. Sh., Tarakanov D. V. Multi-agent method of analysis of resource allocation options for fire safety. *Sistemy upravleniya i informacionnye tekhnologii / Control systems and information technologies*, 2018, no. 4 (74), pp. 83-88 (in Russian).
2. Tarakanov D. V. Multi-criteria control model for fire-rescue units. *Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti / Technology of technosphere safety*, 2017, vol. 4 (74), pp. 148-154. Available at: <http://academygps.ru/ttb> (in Russian).
3. Tarakanov D. V. Multi-agent system for simulation extinguishing of fires in social buildings. *Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti / Technology of technosphere safety*, 2016, vol. 5 (69), pp. 118-125. Available at: <http://academygps.ru/ttb> (in Russian).
4. Sharabanova I. Yu., Shipilov R. M., Xarlamov A. V. Application of new technical means aimed at training intended firefighters and rescuers to work in extreme conditions. *V mire nauchnyh otkrytij / In the world of scientific discoveries*, 2014, no. 9 (57), pp. 154-163. DOI: 10.12731/wsd-2014-9-11.
5. Grachev V. A., Popovsky D. V. *Gazodymozashchitnaya sluzhba: uchebnik* [Gas-smoke protection service: textbook]. Moscow, Academy of State Fire Service of EMERCOM of Russia, 2012, 384 p.
6. Legoshin M. Yu., Chistyakov I. M., Nikishov S. N., Shipilov R. M., Sokolov E. E. Practical use of educational-training complexes for the preparation of fireman and rescuers. *International research journal*, 2017, no. 11 (65), part 4, pp. 44-51 (in Russian). DOI: 10.23670/IRJ.2017.65.092.
7. Sokolov E. E., Chistyakov I. M., Nikishov S. N. *Mobil'nye i stacionarnye trenirovochnye komplekсы i poligony* [Mobile and stationary training complexes and polygons]. *Cbornik mater. IX mezhdunar. nauch.-prakt. konf. "Pozharnaya i avariynaya bezopasnost"* [Proceed. of IX international scientific and practical conference "Fire and emergency safety"], Ivanovo, 2014, pp. 169-170.
8. Nikishov S. N., Chistyakov I. M., Shipilov R. M. *Prakticheskaya podgotovka pozharnyh i spasatelej v uchebno-trenirovochnyh kompleksah* [Practical training of firefighters and rescuers in training complexes]. *Sb. materialov mezhdunarodnoj (s mezhdunarodnym uchastiem) molodyozhnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii "Molodye uchyonye – razvitiyu Nacional'noj tekhnologicheskoy iniciativy (POISK)"* [Proceed. of the inter-university (with international participation) youth scientific and technical conference "Young Scientists – for the Development of the National Technological Initiative (SEARCH)"], Ivanovo: Ivanovo State Polytechnic University, 2018, no. 1, pp. 183-185.
9. Scholz M., Gordon D., Ramirez L., Sigg S., Dyrks T., Beigl M. A concept for support of firefighter frontline communication. *Future Internet*, 2013, vol. 5, issue 2, pp. 113-127. <https://doi.org/10.3390/fi5020113>.
10. Xing Z.-X., Gao W.-L., Zhao X.-F., Zhu D.-Z. Design and implementation of city fire rescue decision support system. *Procedia Engineering*, 2013, vol. 52, pp. 483-488. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.02.172>.

For citation: Shalyavin D. N., Kulagin A. V., Sorokin A. A. The ranking model of multifunctional training facilities for special training of firefighters. *Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti / Technology of technosphere safety*, vol. 4 (86), 2019, pp. 71-78 (in Russian). DOI: 10.25257/TTS.2019.4.86.71-78.