

УДК: 681.5.015

DOI: 10.53816/23061456_2021_7–8_93

ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К ФОРМИРОВАНИЮ ОПТИМАЛЬНОГО СОСТАВА СИЛ ОХРАНЫ ВАЖНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ОБЪЕКТА

ON ONE APPROACH TO THE FORMATION OF THE OPTIMAL COMPOSITION OF THE SECURITY FORCES OF AN IMPORTANT STATE FACILITY

*Канд. физ.-мат. наук В.Б. Вилков¹, А.В. Курилов²,
д-р техн. наук А.К. Черных², Р.Ф. Усиков³*

Ph.D. V.B. Vilkov, A.V. Kurilov, D.Sc. A.K. Chernykh, R.F. Usikov

*¹ВА МТО им. А.В Хрулева, ²СПб ВИ ВНГ РФ,
³Михайловская военная артиллерийская академия*

В статье рассматривается задача по формированию оптимального состава сил охраны для эффективного выполнения задачи обеспечения физической защиты важного государственного объекта. Для решения задачи используются математическая модель задачи о ранце, входящая в состав моделей математического программирования и теория нечётких множеств. Предложен алгоритм, который позволяет определять оптимальные решения при формировании состава сил охраны важного государственного объекта и тем самым обеспечивая эффективное выполнение задачи физической защиты этого объекта в зависимости от затрат на укомплектование указанных объектов личным составом, и уровня компетентности привлекаемых сотрудников. Применение предложенного алгоритма рассмотрено на практическом примере, который позволил определить целесообразность его использования при решении задач указанного типа. **Ключевые слова:** оптимальный состав, охрана, государственный объект, нечёткие множества, задача о ранце, алгоритм.

The article deals with the task of forming the optimal composition of the security forces for the effective implementation of the task of ensuring the physical protection of an important state facility. To solve the problem, we use the mathematical model of the knapsack problem, which is part of the mathematical programming models and the theory of fuzzy sets. A procedure is proposed that allows determining the optimal solutions when forming the composition of the security forces of an important state object and thereby ensuring the effective implementation of the task of physical protection of this object, depending on the cost of staffing these objects with personnel and the level of competence of the employees involved. The application of the proposed procedure is considered on a practical example, which allowed us to determine the feasibility of its use in solving problems of this type.

Keywords: optimal composition, security, state facility, fuzzy sets, knapsack problem, procedure.

Введение

В условиях отсутствия достоверной информации об особенностях выполнения задач по

обеспечению физической защиты важного государственного объекта, формальная логика не позволяет получить информацию, дающую возможность принимать решения в рамках указан-

ной неопределенности [1–4]. Поэтому требуется использовать теорию нечётких множеств, основоположником которой является Л. Заде [5].

В силу того, что значение уровня компетентности сотрудника сил охраны не является однозначным, то мы будем его задавать с использованием нечётких чисел теории нечётких множеств.

Приведем необходимые для дальнейшего изложения понятия теории нечётких множеств, приведённые, например, в [6–11].

Под нечётким множеством понимается множество, элементы которого обладают общим свойством этого множества в различной степени. Поэтому, указывая элемент нечёткого множества, необходимо указать и то, в какой степени он обладает свойствами рассматриваемого множества.

Имеется некоторое обычное множество элементов, называемое универсальным. Например, множество сотрудников важного государственного объекта, множество способов выполнения задач по охране важного государственного объекта, множество чисел, множество охраняемых объектов и т.д.

Совокупность пар $(\mu_{\tilde{A}}(u), u)$, в которой $\mu_{\tilde{A}}(u)$ — функция принадлежности называется нечетким множеством \tilde{A} на универсальном множестве U .

Значение $\mu_{\tilde{A}}(u)$ при $u \in U$ равно степени принадлежности элемента u нечёткому множеству U , т.е. является числом, принадлежащим отрезку $[0; 1]$.

$\mu_{\tilde{C}}(u) = \min\{\mu_{\tilde{A}}(u), \mu_{\tilde{B}}(u)\}$ при $(u \in U)$ — функция принадлежности пересечения $\tilde{C} = \tilde{A} \cap \tilde{B}$ двух нечетких множеств \tilde{A} и \tilde{B} .

Нечёткое число определяется как нечёткое множество, заданное на универсальном множестве действительных чисел, функция принадлежности которого кусочно-непрерывна.

Аналогично тому, как это сделано в публикациях [12, 13], введем необходимую нам в дальнейшем нечёткую логическую операцию И «конъюнкция».

Пусть даны нечеткие высказывания \tilde{A} и \tilde{B} . Нечеткая логическая операция И (конъюнкция) по аналогии с теоретико-множественной операцией пересечения выполняется по правилу:

$$\mu_{\tilde{A} \wedge \tilde{B}}(u) = \min\{\mu_{\tilde{A}}(u), \mu_{\tilde{B}}(u)\}.$$

Вернемся к задаче по формированию оптимального состава сил охраны важного государственного объекта (в дальнейшем — подразделения), предназначенного для эффективного выполнения поставленной специальной задачи обеспечения физической защиты важного государственного объекта (в дальнейшем — специальной задачи).

Основная часть

Пусть необходимо сформировать подразделение, включающее m военнослужащих, таким образом, чтобы его компетентность имела максимальное значение, а расходы на его формирование были бы ограничены заданной величиной T . Пусть также компетентность военнослужащего, являющегося претендентом для включения в состав подразделения, можно оценить долей задач, которые он может выполнить с требуемым качеством, проценты. Для оценки указанных показателей необходимо использовать нечёткие числа. В этих целях перенумеруем всех возможных военнослужащих, претендентов в состав подразделения. Тогда нечёткое число v_i является оценкой компетентности претендента с номером i , $i = 1, 2, \dots, m$.

Функцию принадлежности этого числа будем обозначать $\mu_i(u)$, $u \in [0; 100]$, $\mu_i(u)$ — степень уверенности лица принимающего решение на формирование подразделения в том, что оценка компетентности претендента с номером i равна u , т.е., что он справится с долей всех задач в размере u процентов.

Введём обозначения:

I — совокупность всех военнослужащих, которые являются претендентами для включения в состав подразделения;

n — число претендентов для включения в состав подразделения;

S — совокупность военнослужащих, которые включены в подразделение S ;

$G(S)$ — совокупность чисел g_i ($i \in S$), которые являются значениями оценок компетентностей военнослужащих, которые включены в подразделение S .

Замечание. Следует отметить, что в совокупности $G(S)$ элементы g_i являются обычными «чёткими» числами. Они представляют собой конкретные значения нечётких чисел им соответствующих — v_i .

Полагаем оценку компетентности подразделения равной значению f , если:

- указанная оценка хоть одного военнослужащего этого подразделения равна f ;
- для каждого военнослужащего этого подразделения указанная оценка не меньше f .

В качестве оценки эффективности подразделения при заданных значениях оценок компетентностей военнослужащих этого подразделения будем полагать её близость к подразделению с компетентностью равной 100 %.

Таким образом, этим показателем будет оценка компетентности сформированного подразделения, зависящая от оценок компетентностей военнослужащих его составляющих.

Оценкой качества формируемого подразделения является степень истинности конъюнкции двух указанных выше оценок, выраженных в виде нечётких высказываний [14]:

- «оценка эффективности подразделения равна f »;
- «оценка компетентности подразделения не ниже f ».

В качестве степени истинности высказывания «оценка эффективности подразделения равна f » будем использовать, следуя работам, нормированное значение этой оценки.

Так как максимальное значение оценки эффективности равно 100, а минимальное — нулю, то нормированное значение, равное дроби «текущее значение минус минимальное значение» делённое на «максимальное значение минус минимальное значение» равно f делённому на 100.

Согласно [15], мы ищем такой вариант формирования подразделения, для которого минимум степеней истинности нечётких высказываний «оценка эффективности подразделения равна f » и «оценка компетентности подразделения не ниже f » стремиться к максимуму.

Нетрудно доказать равенство степеней истинности высказываний «оценка компетентности подразделения не ниже f » и «оценка компетентности подразделения равна f ». Это следует из того, что степень истинности высказывания «оценка компетентности подразделения не ниже f » равна минимальной из степеней истинности высказываний «оценка компетентности военнослужащих подразделения не ниже f », но каждая из этих степеней истинности не меньше степени истинности высказывания «оценка

компетентности этого военнослужащего подразделения равна f ».

Таким образом для оценки качества формируемого подразделения можно, с тем же успехом, использовать степень истинности конъюнкции следующих нечётких высказываний: «оценка компетентности подразделения равна f » или «оценка эффективности подразделения равна f ».

Кратко охарактеризуем предлагаемый алгоритм.

Алгоритм формирования состава сил охраны важного государственного объекта

Шаг изменения значения оценки компетентности подразделения обозначим через h . Алгоритм носит итерационный характер. Каждая k -ая ($k = 0, 1, 2, \dots, N-1, N = 100/h$, — целое) итерация включает несколько шагов (этапов).

k -ая итерация алгоритма включает следующие шаги.

Шаг 1. Определить f — значение оценки компетентности подразделения, для итерации с номером k она равна $kh: f = kh$.

Шаг 2. Определить степень истинности нечёткого высказывания «военнослужащий с номером i имеет оценку компетентности kh ». Обозначим эти степени $e_i, i \in I: e_i = \mu_i(kh)$.

Шаг 3. Решить модифицированную задачу о ранце:

$$\begin{cases} \min \{e_1 x_1, e_2 x_2, \dots, e_n x_n\} \rightarrow \max \\ \text{при ограничениях:} \\ c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_n x_n \leq T, \\ x_1 + x_2 + \dots + x_n = m, \\ x_i \in [0; 1], i = 1, 2, \dots, n. \end{cases} \quad (1)$$

В постановке модели (1) c_i — затраты, обусловленные включением в состав подразделения i -го претендента,

$$x_i = \begin{cases} 1, & \text{если претендент с номером } i \\ & \text{включается в подразделение;} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Модель, имеющая постановку (1), как задача математического программирования, может решаться на основе: метода динамического про-

граммирования [16], метода ветвей и границ, метода отсечения и т.д. Кроме того, для небольших значений m и n задачу (1) можно решить перебором.

Пусть α_k является степенью истинности нечёткого высказывания «подразделение S_k компетентно», причём S_k такое подразделение, что i -ый претендент включается в его состав при условии, что в оптимальном решении задачи (1) $x_i = 1$ и α_k — оптимум целевой функции этой задачи.

Шаг 4. Найти степень истинности нечёткого высказывания «оценка эффективности подразделения равна f » — kh .

Шаг 5. Для сформированного подразделения S_k , оценка степени эффективности которого равна значению kh , определить показатель качества этого варианта, который рассчитывается по формуле $\omega_k = \min\{\alpha_k, kh / 100\}$.

Замечание. Отметим, что ω_k является степенью истинности конъюнкции следующих нечётких высказываний: «оценка компетентности подразделения S_k равна kh » или «оценка эффективности подразделения S_k равна kh ».

Выполнив все итерации алгоритма в количестве N штук, мы определяем ту из итераций, для которой показатель качества варианта максимален. В случае наличия нескольких итераций, для которых показатели качества вариантов равны и имеют максимальное значение, то решением является любая из них.

Таким образом, подразделение, формируемое на указанной итерации, является решением рассматриваемой задачи.

Пример

Проиллюстрируем предложенный алгоритм для подразделения, которое должно включать трёх военнослужащих. В качестве претендентов на включение в указанное подразделение имеются шесть военнослужащих.

Для каждого из претендентов функции принадлежности $\mu_i(u)$ заданы следующими значениями.

Для $u=0\%$; 20% ; 40% ; 60% ; 80% ; 100% они равны соответственно:

– 1; 1; 1; 1; 1; 1 для первого претендента;

– 1; 0,98; 0,96; 0,94; 0,92; 0,90 для второго претендента;

– 1; 0,94; 0,88; 0,60; 0,30; 0 для третьего претендента;

– 1; 0,90; 0,80; 0,55; 0; 0 для четвертого претендента;

– 1; 0,88; 0,76; 0,64; 0,60; 0,40 для пятого претендента;

– 1; 0,86; 0,72; 0,58; 0,52; 0,3 для шестого претендента.

Расходы c_i , связанные с привлечением в подразделение претендента с номером i , равны соответственно 6, 4, 3, 2, 1 и 1 (усл. ед.). Суммарные расходы по привлечению в подразделение всех претендентов не должны быть больше 10 условных единиц.

Рассмотрим нулевую итерацию.

1. Оценка f компетентности подразделения равна нулю.

2. Степень истинности нечёткого высказывания «военнослужащий с номером i имеет оценку компетентности 0 (f)» равна единице.

3. Решением задачи (1) является любой состав подразделения, оптимальное значение её целевой функции α_0 равно 1.

4. Степень истинности нечёткого высказывания «оценка эффективности подразделения равна f » равна 0.

5. Показатель качества оптимального варианта задачи (1) (а здесь оптимален любой) $\omega_0 = 0$.

Для первой итерации получаем.

1. Оценка f компетентности подразделения равна 20.

2. Степень истинности нечёткого высказывания «сотрудник с номером i имеет оценку компетентности 20 (f)» равна соответственно 1; 0,98; 0,94; 0,90; 0,88; 0,86.

3. Решением задачи (1) является подразделение, состоящее из второго, третьего и четвертого претендентов, оптимальное значение её целевой функции α_1 равно 0,90.

4. Степень истинности нечёткого высказывания «оценка эффективности подразделения равна f » равна 0,2.

5. Показатель качества оптимального варианта задачи (1) $\omega_1 = 0,2$.

Для второй итерации $f = 40$; $\alpha_2 = 0,8$; $\omega_2 = 0,4$.

Для третьей итерации $f = 60$; $\alpha_3 = 0,6$; $\omega_3 = 0,6$.

Для четвертой итерации $f = 80$; $\alpha_4 = 0,52$; $\omega_4 = 0,52$.

Для пятой итерации $f = 100$; $\alpha_5 = 0,3$; $\omega_5 = 0,3$.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что максимум значения показателя качества равен значению 0,6.

Результатом реализации алгоритма являются также два варианта оптимальных по составу подразделений, а именно:

- первое подразделение, состоящее из первого, третьего и пятого претендентов;
- второе подразделение, состоящее из второго, третьего и пятого претендентов.

Следует отметить, что второй вариант формирования подразделения экономически эффективнее первого, поэтому он и определяет оптимальный состав подразделения.

Заключение

Таким образом, на основе математической модели задачи о ранце и теории нечётких множеств решена задача формирования оптимального состава сил охраны важного государственного объекта, предназначенной для эффективного выполнения задачи обеспечения физической защиты этого объекта.

Следует подчеркнуть, что для предложенного для решения указанной задачи алгоритма несложно разработать, реализующую его вычисления компьютерную программу.

В заключение следует отметить, что любая модель, в том числе и предложенная в данной статье, нуждается в проверке эффективности её применения соответствующими должностными лицами.

Литература

1. Анисимов Е.Г., и др. Сущность и проблемы управления обеспечением безопасности и обороной государства // Известия РАН. 2016. № 3 (93). С. 3–10.

2. Богоева Е.М., Гарькушев А.Ю., Сазыкин А.М. Основы построения моделей интеллектуализации в системах безопасности // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2014. № 9–10 (75–76). С. 22–27.

3. Быстров А.Г., Лобас Е.В. Метод оценивания обоснованности управленческих решений //

Вестник Российской таможенной академии. 2008. № 2. С. 103–106.

4. Анисимов А.В., и др. Проблема сравнения и выбора варианта построения системы безопасности // Актуальные проблемы защиты и безопасности: Труды Четвертой Всероссийской научно-практической конференции. 2001. С. 348–351.

5. Zadeh L. Fuzzy sets. Information and Control. 1965. Vol. 8. № 3. P. 338–353.

6. Vilkov V.B., Shcherbakova O.I., Chernykh A.K., Andreev V.P., Khudyakova T.L., Kazakova S.N. The choice of an optimal methodology for the retraining organization of psychologists based on the use of mathematical methods // Espacios. 2018. Vol. 39. № 20. P. 16–20.

7. Вилков В.Б., Флегонтов А.В., Черных А.К. Математическая модель задачи о распределении в условиях неопределенности // Дифференциальные уравнения и процессы управления. 2018. № 2. С. 180–191.

8. Анисимов Е.Г., и др. Типовые модели и алгоритмы задач поддержки принятия решений при управлении обеспечивающим компонентом военной организации государства. — М.: Военная академия Генерального штаба Вооруженных сил Российской Федерации. 2019. 141 с.

9. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / под ред. Д.А. Поспелова. — М.: Наука. 1986. 312 с.

10. Богоева Е.М. Формализация процедуры риск-ориентированного подхода при выполнении государственных органами контрольных функций // Вестник Российской таможенной академии. 2014. № 4. С. 96–102.

11. Балясников В.В., и др. Модель причинного анализа на основе использования данных об особых ситуациях // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2015. № 1–2. С. 31–38.

12. Анисимов В.Г., и др. Обобщенный показатель эффективности взаимодействия федеральных органов исполнительной власти при решении задач обеспечения национальной безопасности государства // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2017. № 5–6 (107–108). С. 101–106.

13. Анисимов В.Г., и др. Математические методы и модели в военно-научных исследованиях: Т. 1. — М.: Военная Академия Генерального штаба Вооруженных Сил РФ. 2017. 362 с.

14. Анисимов В.Г., и др. Математические методы и модели в военно-научных исследованиях: Т. 2. — М.: Военная Академия Генерального штаба Вооруженных Сил РФ. 2017. 466 с.

15. Флегонтов А.В., Вилков В.Б., Черных А.К. Моделирование задач принятия решений при нечетких исходных данных: монография. — СПб: Лань. 2020. 332 с.

16. Беллман Р. Динамическое программирование. — М.: ИЛ. 1960. 400 с.

References

1. Anisimov E.G., et al. The essence and problems of managing the security and defense of the state // *Izvestia RARAN*. 2016. № 3 (93). P. 3–10.

2. Bogoeva E.M., Garkushev A.Yu., Sazykin A.M. Fundamentals of building models of intellectualization in security systems // *Military Engineering*. Issue 16. Counter-terrorism technical devices. 2014. № 9–10 (75–76). P. 22–27.

3. Bystrov A.G., Lobas E.V. Method of assessing the validity of managerial decisions // *Bulletin of the Russian Customs Academy*. 2008. № 2. P. 103–106.

4. Anisimov A.V., et al. The problem of comparison and choice of a variant of building a security system // *Actual problems of protection and security: Proceedings of the Fourth All-Russian Scientific and Practical Conference*. 2001. P. 348–351.

5. Zadeh L. Fuzzy sets // *Information and Control*. 1965. № 8. P. 338–353.

6. Vilkov V.B., Shcherbakova O.I., Chernykh A.K., Andreev V.P., Khudyakova T.L., Kazakova S.N. The choice of an optimal methodology for the retraining organization of psychologists based on the use of mathematical methods // *Espacios*. 2018. Vol. 39. № 20. P. 16–20.

7. Vilkov V.B., Flegontov A.V., Chernykh A.K. Mathematical model of the distribution problem

under uncertainty conditions // *Differential Equations and Control processes*. 2018. № 2. P. 180–191.

8. Anisimov E.G., et al. Typical models and algorithms of decision support tasks in the management of the supporting component of the military organization of the state. — Moscow: Military Academy of the General Staff of the Armed Forces of the Russian Federation. 2019. 141 p.

9. Fuzzy sets in control models and artificial intelligence / Ed. by D.A. Pospelov. — М.: Nauka. 1986. 312 p.

10. Bogoeva E.M. Formalization of the risk-based approach procedure in the performance of control functions by state bodies // *Bulletin of the Russian Customs Academy*. 2014. № 4. P. 96–102.

11. Balyasnikov V.V., et al. Model of causal analysis based on the use of data on special situations // *Military Engineering*. Issue 16. Counter-terrorism technical devices. 2015. № 1–2. P. 31–38.

12. Anisimov V.G., et al. Generalized indicator of the effectiveness of interaction of federal executive authorities in solving problems of ensuring national security of the state // *Military Engineering*. Issue 16. Counter-terrorism technical devices. 2017. № 5–6 (107–108). P. 101–106.

13. Anisimov V.G., et al. Mathematical methods and models in military-scientific research: Vol. 1. — Moscow: Military Academy of the General Staff of the Armed Forces of the Russian Federation. 2017. 362 p.

14. Anisimov V.G., et al. Mathematical methods and models in military scientific research: Vol. 2. — Moscow: Military Academy of the General Staff of the Armed Forces of the Russian Federation. 2017. 466 p.

15. Flegontov A.V., Vilkov V.B., Chernykh A.K. Modeling of decision-making problems with fuzzy source data: monograph. — St. Petersburg: Lan. 2020. 332 p.

16. Bellman R. Dynamic programming. — М.: ИЛ. 1960. 400 p.