

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 004.94

doi: 10.30987/2658-6436-2025-1-44-51

## МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ГРУППОВОГО ОБУЧЕНИЯ С УЧЁТОМ РЕСУРСНЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Валерий Владимирович Меньших<sup>1</sup>, Анна Викторовна Подольских<sup>2</sup>✉

<sup>1, 2</sup> Воронежский институт МВД России, г. Воронеж, Россия

<sup>1</sup> menshikh@list.ru, <http://orcid.org/0000-0001-9235-4997>

<sup>2</sup> podolskihanna@mail.ru, <http://orcid.org/0009-0003-0223-867X>

**Аннотация.** Рассмотрены вопросы математического моделирования процессов группового обучения специалистов для совместных действий, что является востребованным при возникновении чрезвычайных обстоятельств. Оперативность обучения группы специалистов в этих условиях является ключевым фактором повышения эффективности функционирования всей группы. Поэтому в качестве основного критерия выбрано общее время совместной подготовки группы специалистов. С этой целью разработана модель оценки длительности группового обучения, в которой учитываются ресурсные ограничения, имеющиеся у образовательных организаций, которые потенциально могут осуществлять групповое обучение специалистов. Модель включает в себя следующие этапы: определение состава компетенций в процессе подготовки (переподготовки) группы специалистов, определение состава курсов обучения группы специалистов и выбор образовательной организации для обеспечения подготовки группы за минимальное время. Статья также содержит численный пример, иллюстрирующий использование разработанной модели на примере подготовки условной группы из двух специалистов, имеющих различные начальные и различные требуемые компетенции. В примере рассматриваются три образовательные организации, в которых потенциально возможно подготовка (переподготовка) группы специалистов, и осуществляется выбор образовательной организации в соответствии с разработанной моделью.

**Ключевые слова:** групповое обучение, уровни компетенций, образовательная организация, гиперграф, рёберный граф, курсы обучения, ограничение ресурсов, длительность подготовки (переподготовки)

**Для цитирования:** Меньших В.В., Подольских А.В. Модель оценки длительности группового обучения с учётом ресурсных ограничений организации // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. 2025. №1 (27). С. 44-51. doi: 10.30987/2658-6436-2025-1-44-51.

Original article

Open Access Article

## MODEL FOR ESTIMATING THE DURATION OF GROUP TRAINING CONSIDERING ORGANIZATIONAL RESOURCE CONSTRAINTS

Valery V. Menshikh<sup>1</sup>, Anna V. Podolskikh<sup>2</sup>✉

<sup>1, 2</sup> The Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation, Voronezh, Russia

<sup>1</sup> menshikh@list.ru, <http://orcid.org/0000-0001-9235-4997>

<sup>2</sup> podolskihanna@mail.ru, <http://orcid.org/0009-0003-0223-867X>

**Abstract.** The article considers the issues of mathematical modelling of the processes of specialists' group training for joint actions, which is in demand in emergencies. The efficiency of training a specialists' group in these conditions is a key factor in increasing the entire group efficiency. Therefore, the authors choose the total time of joint training of a specialists' group as the main criterion. For this purpose, they develop a model for assessing the group training duration, which takes into account the resource constraints of educational organizations that can potentially carry out specialists' group trainings. The model includes the following stages: determining the competencies in the process of training (re-training) a specialists' group, determining training courses for a specialists' group, and selecting an educational organization to ensure training a group in the minimum time. The article also contains a numerical example illustrating the application of the developed model using the example of training a conditional group of two specialists with different initial and different required competencies. The example considers three educational organizations in which training

*(retraining) a specialists' group is potentially possible, and the educational organization is selected in accordance with the developed model.*

**Keywords:** group learning, competency levels, educational organization, hypergraph, edge graph, training courses, resource constraints, training (retraining) duration

**For citation:** Menshikh V.V., Podolskikh A.V. Model for Estimating the Duration of Group Training Considering Organizational Resource Constraints. Automation and modeling in design and management, 2025, no. 1 (27). pp. 44-51. doi: 10.30987/2658-6436-2025-1-44-51.

## Введение

В условиях чрезвычайных обстоятельств подготовка квалифицированных специалистов становится ключевым аспектом обеспечения безопасности и спасения жизней [1]. В мире, где стихийные бедствия, террористические акты и другие угрозы становятся всё более частыми, уровень профессионализма и готовности специалистов играет значительную роль в смягчении последствий и защите населения [2]. Это во многом определяется разнообразием условий возникновения чрезвычайных обстоятельств [3], обуславливающих необходимость своевременного реагирования на новые вызовы, и, в то же время, требует гибкой организации процесса подготовки специалистов к действиям при возникновении чрезвычайных обстоятельствах, обеспечивающей возможность их адаптации к факторам, определяющим параметры оперативной обстановки в зоне чрезвычайного обстоятельства [4].

Наиболее эффективным является использование групп специалистов разного профиля для совместных действий в чрезвычайных обстоятельствах, что позволяет более результативно реагировать на возникающие вызовы [1]. При этом компетенции специалистов [5, 6] в группе могут как пересекаться, так и быть уникальными, а также специалисты могут обладать какой-либо компетенцией в разной степени [7]. Подготовка (переподготовка) специалистов может осуществляться, как правило на базе нескольких образовательных организаций, которые обладают различным ресурсом и могут обеспечивать учебный процесс по различным наборам учебных курсов.

В связи с тем, что часто требуется оперативная подготовка (переподготовка) специалистов к действиям при возникновении чрезвычайных обстоятельств, возникает задача минимизации времени группового обучения специалистов на основе выбора образовательной организации, которая могла бы это обеспечить.

Решение общей задачи минимизации разбивается на следующие частные задачи:

- 1) определение состава компетенций, получение которых должно осуществляться в процессе подготовки (переподготовки) специалистов;
- 2) определение состава курсов обучения специалистов;
- 3) выбор образовательной организации, которая может обеспечить подготовку группы за минимальное время.

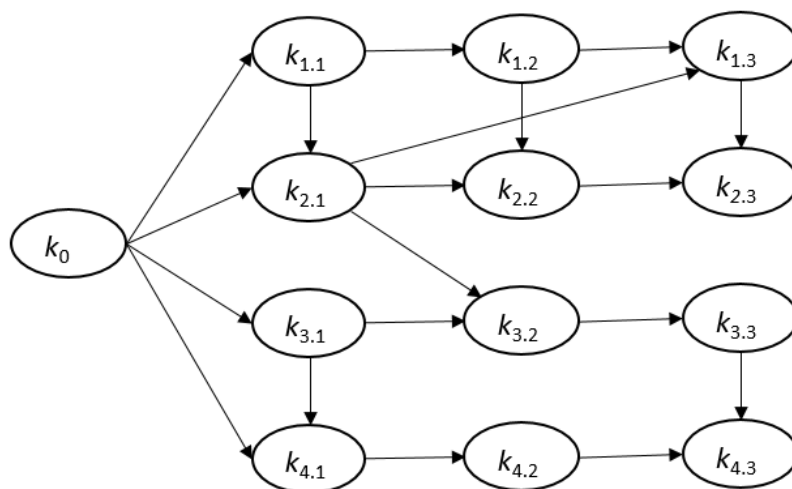
Указанные частные задачи частично решались в [8 – 11]. Однако в этих публикациях не учитывались ресурсные ограничения организаций, что существенно влияет на результат выбора наиболее подходящей образовательной организации.

## Определение состава необходимых компетенций специалистов

В рамках данной работы будем использовать следующую классификацию уровней владения специалистами каждой компетенцией  $k_s$ , включающую [5]:

- 1) начальный уровень  $k_{s,1}$  – базовые навыки и знания, необходимые для выполнения задач на начальном этапе;
- 2) средний уровень  $k_{s,2}$  – более сложные навыки и знания, требующие определённого опыта и профессиональной подготовки;
- 3) высокий уровень  $k_{s,3}$  – углублённые экспертные навыки и знания, необходимые для решения сложных задач и достижения высоких результатов.

При организации процесса обучения специалистов следует учитывать логические взаимосвязи между уровнями компетенций, которые можно описать с использованием ориентированного ациклического графа [6 – 9], пример которого приведён на рис. 1 ( $k_0$  означает отсутствие компетенции).



**Рис. 1. Пример графа взаимосвязей между уровнями компетенций**  
*Fig. 1. An example of a graph of relationships between levels of competence*

Для получения нового уровня  $k_{s,l}$  какой-либо компетенции может оказаться необходимым владение сразу несколькими уровнями  $k_{s,1}, \dots, k_{s,l-1}$  других или той же компетенции.

Процесс получения нового уровня компетенции будем называть курсом обучения.

Для построения траектории обучения специалистов необходимо найти множество логических связей, определяющих взаимосвязи между курсами обучения. С этой целью предлагается предварительно построить модель, которая включала бы не только компетенции, но и курсы обучения, что удобно осуществить с использованием гиперграфов.

Осуществим преобразование описанного выше графа связей между уровнями компетенций в гиперграф [12].

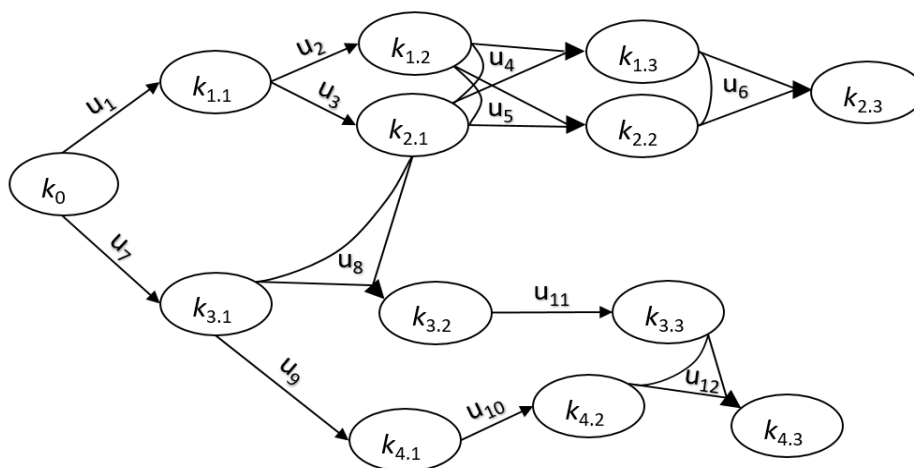
$$G = (K, U) \quad (1)$$

вершинами которого являются уровни компетенций  $K$ , а гипердугами – курсы обучения  $U$ . При этом каждая гипердуга  $u_s \in U$ , такая что

$$u_s = \frac{k_{s,1}, \dots, k_{s,l-1}}{k_{s,l}}, \quad (2)$$

в которой  $k_{s,1}, \dots, k_{s,l-1}$  – совход дуги, а  $k_{s,l}$  – совыход, соответствует курсу обучения, позволяющему получить новый уровень  $k_{s,l}$  компетенции на базе владения обучающимся уровнями  $k_{s,1}, \dots, k_{s,l-1}$  других или той же компетенции. Для упрощения описания модели обычные дуги будем включать во множество гипердуг, считая, что совход и совыход содержат по одной вершине.

Гиперграф (1) взаимосвязей уровней компетенций и курсов обучения, соответствующий графу взаимосвязей между уровнями компетенций на рис. 1, представлен на рис. 2.



**Рис. 2. Пример гиперграфа взаимосвязей компетенций и курсов обучения**  
*Fig. 2. An example of a hypergraph of the interrelationships of competencies and training courses*

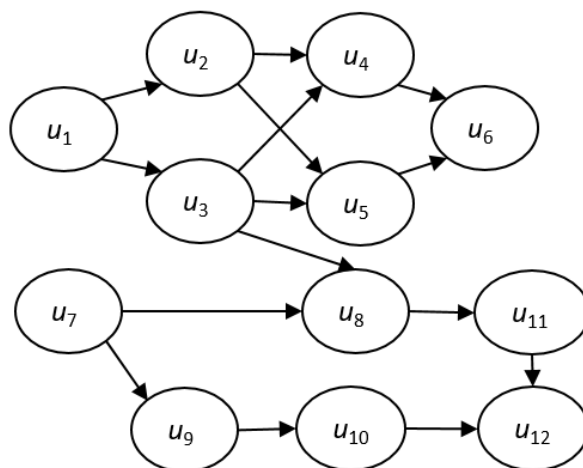
### Определение состава курсов обучения специалистов

Для определения состава курсов обучения специалистов необходимо найти логические связи между курсами. Это можно достичь построением на основе гиперграфа (1) его рёберного ориентированного графа:

$$H = (U, F),$$

вершинами являются гипердуги графа  $G$  вида (2), а  $F$  – отражает причинно-следственные связи между ними: дуга  $f_{st} \in F$  с началом в  $u_s$  и концом в  $u_t$  в графе  $H$  означает, что совход дуги  $u_s$  содержится в совходе дуги  $u_t$ .

Указанный граф для гиперграфа, представленного на рис. 2, приведён на рис. 3.



**Рис. 3. Пример графа логических связей между курсами обучения**  
*Fig. 3. An example of a graph of logical connections between courses of study*

Как правило, одновременно осуществляется обучение сразу всей группы специалистов в одной образовательной организации. Освоение курсов этими специалистами может осуществляться как последовательно, так и параллельно с сохранением требованием к последовательности приобретения необходимых уровней компетенций. Поэтому полученный граф логических связей между курсами обучения может быть использован для формирования траектории обучения всей группы специалистов.

## Выбор образовательной организации

При выборе образовательной организации следует учесть следующие обстоятельства:

– некоторые образовательные организации могут не обеспечивать обучение по определённым курсам обучения;

– существуют ограничения по количеству одновременно обучающихся на курсах.

Учёт первого обстоятельства позволяет выбрать те организации, которые потенциально могут осуществить групповое обучение специалистов, т.е. обеспечивают прохождение всех необходимых курсов.

Вследствие второго ограничения образовательным организациям может потребоваться различное время для группового обучения специалистов. Это вызвано тем, что в силу ресурсных ограничений образовательные организации могут не иметь возможность одновременного прохождения какого-либо курса требуемым количеством специалистов из состава группы и, следовательно, данный курс будет проходиться неоднократно в рамках обучения всей группы. Данное обстоятельство приводит, как правило, к увеличению общего времени обучения.

Оценка времени может быть найдена на основе методов теории расписаний [13].

### Численный пример

Первым шагом в создании описательной модели выбора курсов является определение имеющихся и требуемых компетенций для каждого специалиста группы. Для большей содержательности численного примера будем считать различными их начальные и требуемые компетенции.

Пусть специалистам группы требуется получить первые две компетенции из указанных выше четырёх. Для исключения громоздкости будем считать, что группа включает двух кандидатов, имеющих, соответственно, следующие начальные уровни компетенций:

$$k_{1,1}, k_{2,2}, k_{3,3} \text{ и } k_{1,3}, k_{3,2}.$$

Есть необходимость подготовить их, чтобы после прохождения подготовки приобрести компетенции, соответственно:

$$k_{1,3}, k_{2,3} \text{ и } k_{1,2}, k_{2,3}.$$

Необходимость повышения компетенции до определенных уровней показана на рис. 4.

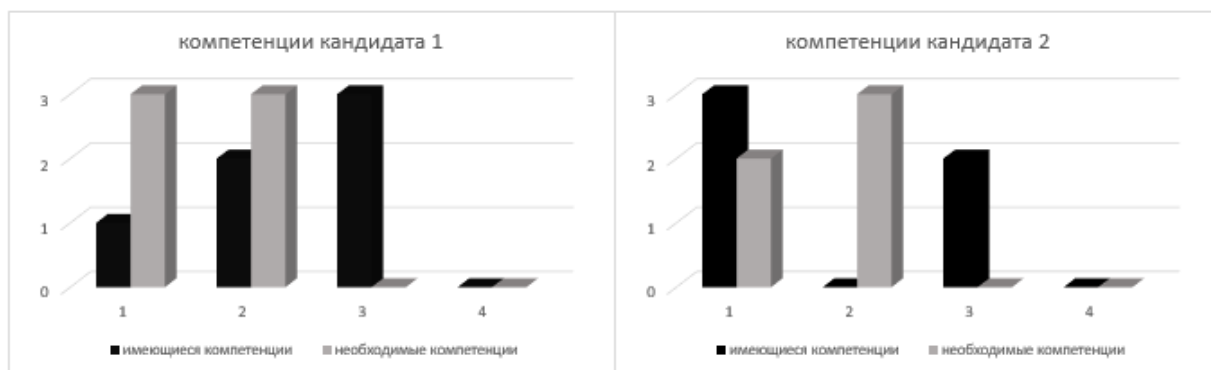
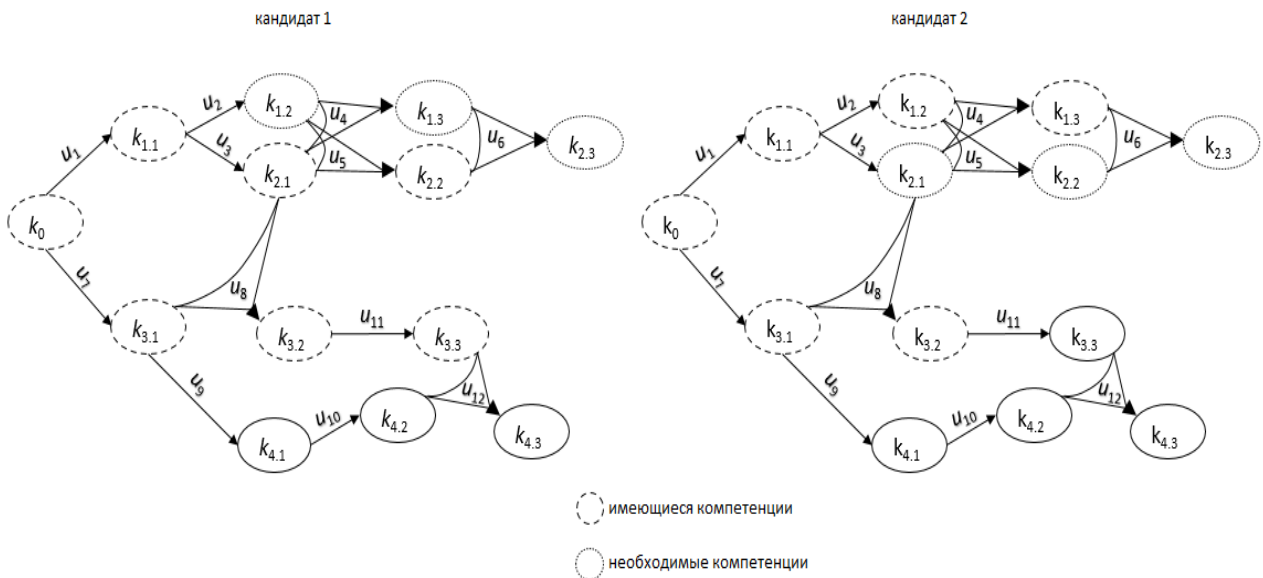


Рис. 4. Описание имеющихся и необходимых компетенций кандидатов  
Fig. 4. Description of the available and necessary competencies of candidates

Следовательно, данным кандидатам необходимо повысить уровни своих компетенций, соответственно, до

$$k_{1,2}, k_{1,3}, k_{2,3} \text{ и } k_{2,1}, k_{2,2}, k_{2,3}.$$

Анализ логических связей между компетенциями и курсами подготовки, вариант которых представлен на рис. 5, позволяет определить конкретные курсы подготовки.



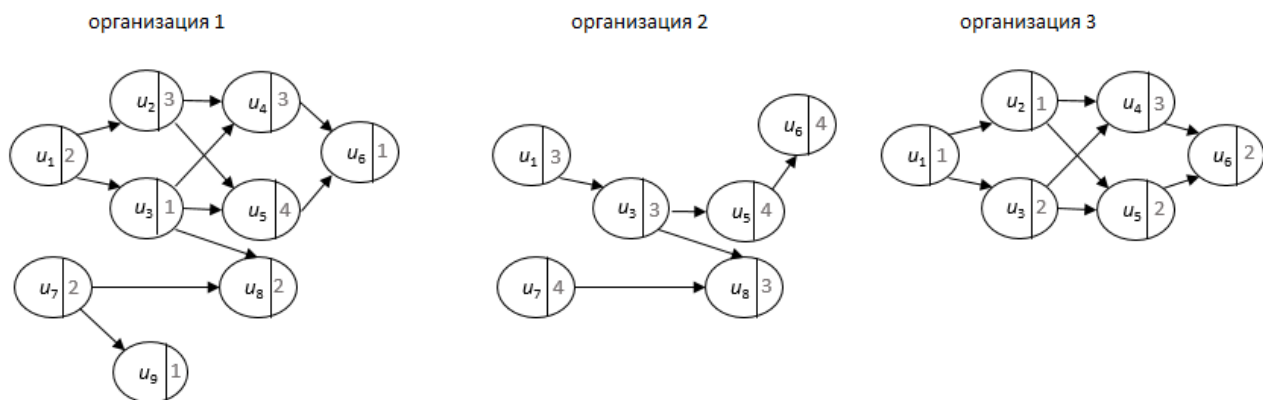
**Рис. 5. Логические связи между уровнями имеющимися и необходимыми компетенциями кандидатов и курсами подготовки**

**Fig. 5. Logical connections between the levels of available and necessary competencies of candidates and training courses**

Очевидно, что в данном примере специалистам необходимо пройти, соответственно, курсы:

$$u_2, u_4, u_6 \text{ и } u_3, u_5, u_6.$$

После этого осуществляется анализ и оценка имеющихся ресурсов организации. Ограниченность ресурсов выражается в определенном количестве обучающихся при одновременном обучении группы специалистов. Предположим, что существуют организации, которые имеют определенные курсы подготовки и ограниченность ресурсов, представленные на рис. 6 (ограничение на количество одновременно обучающихся по курсу указано в правой части соответствующей вершины графа).



**Рис. 6. Состав и логические связи между курсами подготовки в организациях**  
**Fig. 6. The composition and logical connections between training courses in organizations**

Очевидно, что в рассматриваемом примере подходят организации 1 и 3 для обоих кандидатов. Организация 2 подходит только кандидату 2, что не является необходимым решением поставленной задачи.

В рамках численного примера время обучения по каждому курсу примем одинаковым и равным  $T$ . Расписание составляется известными методами [13], представлено на рис. 7.

	организация 1				организация 3		
кандидат 2	$u_3$	$u_5$		$u_6$	$u_3$	$u_5$	$u_6$
кандидат 1	$u_2$	$u_4$	$u_6$		$u_2$	$u_4$	$u_6$
	$T$	$2T$	$3T$	$4T$	$T$	$2T$	$3T$

**Рис. 7. Расписание курсов обучения кандидатов**  
**Fig. 7. Schedule of candidates' training courses**

Очевидно, что обучение в организации 1 дольше, чем в организации 3. Такое различие вызвано тем, что в организации 1 имеется ограничение на количество одновременно обучающихся на курсе  $u_6$ , что не позволило обучать одновременно обоих кандидатов.

В результате получаем, что рассматриваемым кандидатам целесообразно обучаться в организации 3, так как она позволит им получить необходимые компетенции за минимальное время из всех возможных вариантов.

### Заключение

Результаты численных экспериментов продемонстрировали хорошую сходимость предложенного метода. В будущем этот подход можно применять для улучшения процессов подготовки и переподготовки специалистов к действиям в различных вновь возникающих обстоятельствах. Также он может быть полезен для формирования индивидуальных наборов компетенций или внедрения многоуровневых программ обучения, а также учитываться в планах образовательных организаций, участвующих в подготовке описанных выше групп специалистов.

#### Список источников:

1. Моделирование коллективных действий сотрудников органов внутренних дел / В.В. Меньших, А.Ф. Самороковский и др. – Воронеж: Воронежский институт Министерства внутренних дел Российской Федерации, 2017. – 236 с.
2. Menshikh V.V., Sereda E.N. Optimization of Training Modules Choice During Multipurpose Training of Specialists // Bulletin of the South Ural State University. Series: Mathematical Modelling, Programming and Computer Software. – 2018. – Vol. 11, No. 1. – pp. 27-34.
3. Ямалов И.У. Моделирование процессов управления и принятия решений в условиях чрезвычайных ситуаций. – М.: Лабораторий Базовых Знаний, 2007. – 288 с.
4. Меньших В.В., Середина Е.Н. Концептуальная модель и технология обучения коллективным действиям по принятию решений при возникновении чрезвычайных обстоятельств // Труды Академии управления МВД России. – 2016. – № 2(38). – С. 51-56.
5. Зимняя И.А. Ключевые компетенции - новая парадигма результата современного образования // Эйдос. – 2006. – № 5.
6. Johnson R. The Role of Continuous Professional Development in Enhancing Specialist Competence // Journal of Education and Training. – 2020. – Vol. 25(1), pp. 50-65.
7. Меньших В.В., Самороковский А.Ф., Середина Е.Н. Модель формирования групп для ролевого обучения принятию управленческих решений // Вестник Воронежского института МВД России. – 2015. – № 2. – С. 107-114.

#### References:

1. Menshikh V.V., Samorokovsky A.F., et al. Modelling Collective Actions of Employees of Internal Affairs Bodies. Voronezh: The Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation; 2017.
2. Menshikh V.V., Sereda E.N. Optimization of Training Modules Choice During Multi-purpose Training of Specialists. Bulletin of the South Ural State University. Series: Mathematical Modelling, Programming and Computer Software. 2018;11(1):27-34.
3. Yamalov I.U. Modelling of Management Processes and Decision Making in the Conditions of Emergency Situations. Moscow: BINOMIAL. Laboratory of knowledge; 2007.
4. Menshikh V.V., Sereda E.N. A Conceptual Model and Methods of Coaching Personnel in Taking Quick Collective Decisions as Emergencies Break out. Proceedings of Management Academy of the Ministry of the Interior of Russia. 2016;2(38):51-56.
5. Zimnyaya I.A. Key Competencies is the Result of a New Paradigm of Modern Education. Eidos. 2006;5.
6. Johnson R. The Role of Continuous Professional Development in Enhancing Specialist Competence. Journal of Education and Training. 2020;25(1):50-65.
7. Menshikh V.V., Samorokovsky A.F., Sereda E.N. The Model of Group Formation for Role Training to Make Managerial Decisions. The Bulletin of Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia. 2015;2:107-114.

8. Меньших В.В., Серeda Е.Н. Математическая модель оптимизации траектории обучения сотрудников органов внутренних дел действиям при чрезвычайных обстоятельствах // Вестник Воронежского института МВД России. – 2015. – № 3. – С. 36-44.

9. Menshikh V., Sereda E., Kopylov A. Selection of learning path of specialist team for actions in emergency situations // Proceedings – 2021 1st International Conference on Technology Enhanced Learning in Higher Education, TELE. – Lipetsk, 2021. – P. 160-164.

10. Меньших В.В., Лихобабина А.В. Моделирование процессов оптимизации выбора программ подготовки и переподготовки специалистов с использованием генетического алгоритма // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. – 2024. – № 1(23). – С. 42-48.

11. Lihobabina A., Menshikh V. Model and Numerical Method of Optimization of Selection of Training Programs for Specialists // IEEE Proceedings of 5th International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA). – Lipetsk: Lipetsk State Technical University, 2023. – P. 447-450.

12. Овчинников В.А. Графы в задачах анализа и синтеза структур сложных систем. – М.: Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, 2014. – 424 с.

13. Оптимизация временных характеристик информационных систем: монография / В.В. Меньших, Е. Ю. Никулина. – Воронеж: Воронежский ин-т МВД России, 2011. – 127 с.

8. Menshikh V.V., Sereda E.N. Mathematical Model of Optimization of Learning Path in Training of Staff of Law-Enforcement Bodies for Actions in Cases of Emergency. The Bulletin of Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia. 2015;3:36-44.

9. Menshikh V., Sereda E., Kopylov A. Selection of Learning Path of Specialist Team for Actions in Emergency Situations. In: Proceedings – 2021 of the 1st International Conference on Technology Enhanced Learning in Higher Education, TELE 2021; Lipetsk. p. 160-164.

10. Menshikh V.V., Likhobabina A.V. Simulating Optimization Processes for the Selection of Training and Retraining Programs for Specialists Using a Genetic Algorithm. Automation and Modelling in Design and Management. 2024;1(23):42-48.

11. Lihobabina A, Menshikh V. Model and Numerical Method of Optimization of Selection of Training Programs for Specialists. In: IEEE Proceedings of the 5th International Conference on Control Systems, Mathematical Modelling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA); Lipetsk: Lipetsk State Technical University; 2023. p. 447-450.

12. Ovchinnikov V.A. Graphs in Problems of Analysis and Synthesis of Complex System Structures. Moscow: Bauman Moscow State Technical University; 2014.

13. Menshikh V.V., Nikulina E.Yu. Optimization of Temporal Characteristics of Information Systems. Voronezh: The Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation; 2011.

#### **Информация об авторах:**

##### **Меньших Валерий Владимирович**

доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры математики и моделирования систем Воронежского института МВД России, заслуженный деятель науки Российской Федерации, почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации, академик РАН, <http://orcid.org/0000-0001-9235-4997>

##### **Подольских Анна Викторовна**

адъюнкт Воронежского института МВД России, <http://orcid.org/0009-0003-0223-867X>

#### **Information about the authors:**

##### **Menshikh Valery Vladimirovich**

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Professor at the Department of Mathematics and Systems Modelling of the Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation, Honoured Scientist of the Russian Federation, Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation, Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, <http://orcid.org/0000-0001-9235-4997>

##### **Podolskikh Anna Viktorovna**

Adjunct of the Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation, <http://orcid.org/0009-0003-0223-867X>

**Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.**

**Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.**

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**

**The authors declare no conflicts of interests.**

**Статья поступила в редакцию 21.11.2024; одобрена после рецензирования 28.01.2025; принята к публикации 17.02.2025.**

**The article was submitted 21.11.2024; approved after reviewing 28.01.2025; accepted for publication 17.02.2025.**

**Рецензент** – Малаханова А.Г., кандидат технических наук, доцент, Брянский государственный технический университет.

**Reviewer** – Malakhanova A.G., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Bryansk State Technical University.