

УДК 51.77

DOI: [10.26102/2310-6018/2023.41.2.004](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2023.41.2.004)

## Оптимизация календарного плана работ команд проектов

Л.В. Россихина<sup>1</sup>, А.В. Калач<sup>1✉</sup>, С.А. Нефедьев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Воронежский институт ФСИН России,  
Воронеж, Российская Федерация

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация  
[a\\_kalach@mail.ru](mailto:a_kalach@mail.ru)✉

**Резюме.** Календарное планирование позволяет решать сложные и масштабные современные задачи, требующие сочетания множества проектов, распределенных между различными организационными системами в условиях растущей глобализации и увеличения доли проектной работы в организациях по сравнению с непроектной работой. В статье приведено описание варианта решения задачи календарного планирования работ команд проектов, заключающееся в минимизации продолжительности выполнения всех работ с учетом ограниченного числа специалистов разного типа. Такая задача характеризуется недетерминированной полиномиальной трудностью по времени. Решение поставленной задачи оптимизации проводили на примере определения последовательности работ двух проектов с учетом ограниченного числа специалистов. При этом, максимальные наборы команд для одновременного выполнения работ представляли в виде возможных комбинаций команд, сформированных с учетом ограничений на количество специалистов каждого типа. Предлагаемый подход к оптимизации календарного плана работ команд проектов включает использование эвристического алгоритма, согласно которому в первую очередь выполняются работы с наибольшей продолжительностью. Для получения задачи линейного программирования рассмотрены наборы команд, представляющие совместные комбинации, сформированные с учетом ограничений по количеству специалистов каждого типа, выполняющих некоторые работы одновременно. Приведен пример расчета минимальной продолжительности выполнения всех работ проектов наборами команд. Применение эвристического алгоритма позволило определить наилучшую последовательность выполнения работ с учетом состава команд специалистов и продолжительности выполняемых работ.

**Ключевые слова:** проект, команда проекта, работа, специалист, набор команд, продолжительность работ.

**Для цитирования:** Россихина Л.В., Калач А.В., Нефедьев С.А. Оптимизация календарного плана работ команд проектов. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2023;11(2). URL: <https://moitvivr.ru/ru/journal/pdf?id=1324> DOI: 10.26102/2310-6018/2023.41.2.004

## Optimizing work schedule of project teams

L.V. Rossikhina<sup>1</sup>, A.V. Kalach<sup>1✉</sup>, S.A. Nefediev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Voronezh Institute of the Russian Federal Penitentiary Service,  
Voronezh, the Russian Federation

<sup>2</sup>Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia,  
Saint Petersburg, the Russian Federation  
[a\\_kalach@mail.ru](mailto:a_kalach@mail.ru)✉

**Abstract.** Scheduling makes it possible to solve complex and large-scale modern problems that require a combination of many projects distributed among various organizational systems in the context of growing globalization and an increase in the share of project work in organizations compared to non-

project work. The article describes the problem of scheduling the work of project teams, which consists in minimizing the duration of all work taking into account a limited number of specialists of different types. Such a problem is characterized by a non-deterministic polynomial time difficulty. The solution of the optimization problem was carried out using the example of determining the sequence of operation in two projects with consideration to a limited number of specialists. At the same time, the maximum sets of commands for simultaneous execution of work was presented in the form of possible combinations of commands formed in reliance on the restrictions on the number of specialists of each type. The proposed approach to optimizing the work schedule of project teams includes the use of a heuristic algorithm, according to which the operation with the longest duration is performed first. To obtain a linear programming problem, sets of commands representing joint combinations and formed taking into account the restrictions on the number of specialists of each type operating simultaneously are considered. An example of calculating the minimum duration of project work execution as a whole by sets of teams is given. The use of a heuristic algorithm helped to determine the best operation sequence taking into account the composition of teams of specialists and the duration of the work performed.

**Keywords:** project, project team, work, specialist, set of teams, duration of work.

**For citation:** Rossikhina L.V., Kalach A.V., Nefediev S.A. Optimizing work schedule of project teams. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2023;11(2). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1324> DOI: 10.26102/2310-6018/2023.41.2.004 (In Russ.).

## Введение

Успешное функционирование организационной системы и реализация проектов предусматривает обеспечение непрерывного координирующего и интегрирующего воздействия в условиях неопределенности и ограничениях по финансовым затратам, человеческим ресурсам, срокам исполнения и качеству работ. Календарное планирование позволяет решать сложные и масштабные современные задачи, требующие сочетания множества проектов, распределенных, как правило, между различными организациями. Растущая глобализация подразумевает увеличение доли проектной работы в организациях по сравнению с непроектной работой. Организация и управление работами над проектами включает решение задачи формирования команды проекта и задачи организации ее эффективной работы, включая оптимизацию календарных планов работ проекта. Под командой проекта понимают группу специалистов разного типа, обеспечивающих выполнение работ проекта. Следует отметить, что определение календарного плана работ, выполняемых персоналом команды, относится к основным процессам планирования проекта. Решению задач календарного планирования работ проекта посвящено много научных работ [1-9].

Представляется логичным полагать, что для успешной реализации проектов необходимо обеспечение четкого планирования работ. Кроме того, известно, что для эффективной реализации проекта требуются непрерывная настройка и корректировка, зачастую, в режиме реального масштаба времени в соответствии с заданной целью и возможностями команд (работников). В связи с этим особый интерес представляет решение научной задачи – оптимизации календарного плана работ команд проектов, заключающаяся в минимизации времени выполнения работ командами с ограниченным числом специалистов разного типа.

## Материалы и методы

Имеем  $n$  независимых работ проекта продолжительностью  $\tau_i$ , каждая из которых выполняется командой специалистов разного типа, число которых ограничено. При выполнении условия (1) возможна одновременная работа набора команд.

$$\sum_{i \in Q} a_{ik} \leq N_k, \quad k = \overline{1, z}, \quad (1)$$

где  $N_k$  – число специалистов  $k$ -го типа;

$a_{ik}$  – количество специалистов  $k$ -го типа, включенных в набор команд для выполнения  $i$ -ой работы;

$Q$  – множество работ (наборов команд);

$z$  – количество типов специалистов.

В задаче рассматриваются только максимальные наборы команд [10].

Введем обозначения  $x_j$  – продолжительность работы  $j$ -го набора команд; вектор  $u^i = \{u_{ij}\}$  определяет любой  $i$ -ый набор работ,  $i \in Q$ . Если в наборе присутствует команда  $j$ , выполняющая работу  $i$ , то  $u_{ij} = 1$ , иначе  $u_{ij} = 0$ .

Необходимо определить минимальное время выполнения всех работ проекта максимальными наборами команд (2) при ограничениях (3, 4).

$$\sum_j x_j \rightarrow \min \quad (2)$$

$$x_j \geq 0, \quad (3)$$

$$\sum_j u_{ij} x_j \geq \tau_i, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, m}. \quad (4)$$

Задача (2)-(4) является задачей линейного программирования, которую можно решить известными программными средствами.

### Результаты и обсуждение

На примере рассмотрим решение задачи определения последовательности работ двух проектов с учетом ограниченного числа специалистов.

Данные о продолжительности работ проектов и командах специалистов (участников) представлены в Таблицах 1, 2.

Таблица 1 – Данные о командах специалистов и продолжительности работ проекта 1  
Table 1 – Data on the teams of specialists and work duration of project 1

|                  | Работа 1 | Работа 2 | Работа 3 |
|------------------|----------|----------|----------|
| Участник 1 типа  |          |          |          |
| Участник 2 типа  |          |          | +        |
| Участник 3 типа  |          |          |          |
| Участник 4 типа  |          |          | +        |
| Участник 5 типа  |          |          |          |
| Участник 6 типа  | +        | +        |          |
| Участник 7 типа  | +        | +        |          |
| Участник 8 типа  |          | +        | +        |
| Участник 9 типа  |          |          | +        |
| Участник 10 типа | +        | +        |          |

Таблица 1 (продолжение)  
Table 1 (extended)

|                                | Работа 1 | Работа 2 | Работа 3 |
|--------------------------------|----------|----------|----------|
| Участник 1 типа                | +        | +        |          |
| Участник 12 типа               |          |          |          |
| Участник 13 типа               | +        | +        |          |
| Продолжительность работы, у.е. | 24       | 32       | 6        |

Таблица 2 – Данные о командах специалистов и продолжительности работ проекта 2  
Table 2 – Data on the teams of specialists and work duration of project 2

|                               | Работа 1 | Работа 2 | Работа 3 |
|-------------------------------|----------|----------|----------|
| Участник 1 типа               | +        |          |          |
| Участник 2 типа               |          |          |          |
| Участник 3 типа               | +        |          |          |
| Участник 4 типа               |          |          | +        |
| Участник 5 типа               | +        |          | +        |
| Участник 6 типа               | +        | +        |          |
| Участник 7 типа               |          | +        |          |
| Участник 8 типа               |          |          | +        |
| Участник 9 типа               |          |          | +        |
| Участник 10 типа              | +        | +        |          |
| Участник 11 типа              |          |          |          |
| Участник 12 типа              | +        | +        |          |
| Участник 13 типа              | +        | +        |          |
| Продолжительность работ, у.е. | 54       | 40       | 16       |

В Таблице 3 представлены ранжированные данные по убыванию продолжительности работ проектов о командах специалистов и данные о численности специалистов каждого типа.

Таблица 3 – Данные о командах специалистов, численности специалистов каждого типа и продолжительности работ проектов

Table 3 – Data on teams of specialists, the number of specialists of each type and the duration of projects

|                              |                  | Работа 1 проекта 2 (1) | Работа 2 проекта 2 (2) | Работа 2 проекта 1 (3) | Работа 1 проекта 1 (4) | Работа 3 проекта 2 (5) | Работа 3 проекта 1 (6) | Численность специалистов, ед. |
|------------------------------|------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------------|
| 1                            | Участник 1 типа  | 1                      |                        |                        |                        |                        |                        | 1                             |
| 2                            | Участник 2 типа  |                        |                        |                        |                        |                        | 1                      | 1                             |
| 3                            | Участник 3 типа  | 1                      |                        |                        |                        |                        |                        | 1                             |
| 4                            | Участник 4 типа  |                        |                        |                        |                        | 1                      | 1                      | 2                             |
| 5                            | Участник 5 типа  | 1                      |                        |                        |                        | 1                      |                        | 2                             |
| 6                            | Участник 6 типа  | 1                      | 1                      | 1                      | 1                      |                        |                        | 3                             |
| 7                            | Участник 7 типа  |                        | 1                      | 1                      | 1                      |                        |                        | 3                             |
| 8                            | Участник 8 типа  |                        |                        | 1                      |                        | 1                      | 1                      | 2                             |
| 9                            | Участник 9 типа  |                        |                        |                        |                        | 1                      | 1                      | 2                             |
| 10                           | Участник 10 типа | 1                      | 1                      | 1                      | 1                      |                        |                        | 3                             |
| 11                           | Участник 11 типа |                        |                        | 1                      | 1                      |                        |                        | 2                             |
| 12                           | Участник 12 типа | 1                      | 1                      |                        |                        |                        |                        | 2                             |
| 13                           | Участник 13 типа | 1                      | 1                      | 1                      | 1                      |                        |                        | 3                             |
| Продолжительность работ, ед. |                  | 54                     | 40                     | 32                     | 24                     | 16                     | 8                      |                               |

В столбцах таблицы приведены работы проектов, в круглых скобках указаны номера работ. В строках перечислены специалисты разных типов, занятые в выполнении работ проектов. На пересечении столбца и строки указано количество специалистов данного типа, занятых в выполнении данной работы в составе команды. Состав команд определяется множеством единиц в столбце. Ограничения на количество специалистов каждого типа приведены в таблице.

Для решения задачи минимизации времени выполнения всех работ проектов формируются максимальные наборы команд.

Максимальные наборы команд при одновременном режиме выполнения работ являются возможными комбинациями команд, сформированными с учетом ограничений.

Максимальные наборы команд специалистов для рассматриваемой задачи представлены в виде дерева (Рисунок 1).

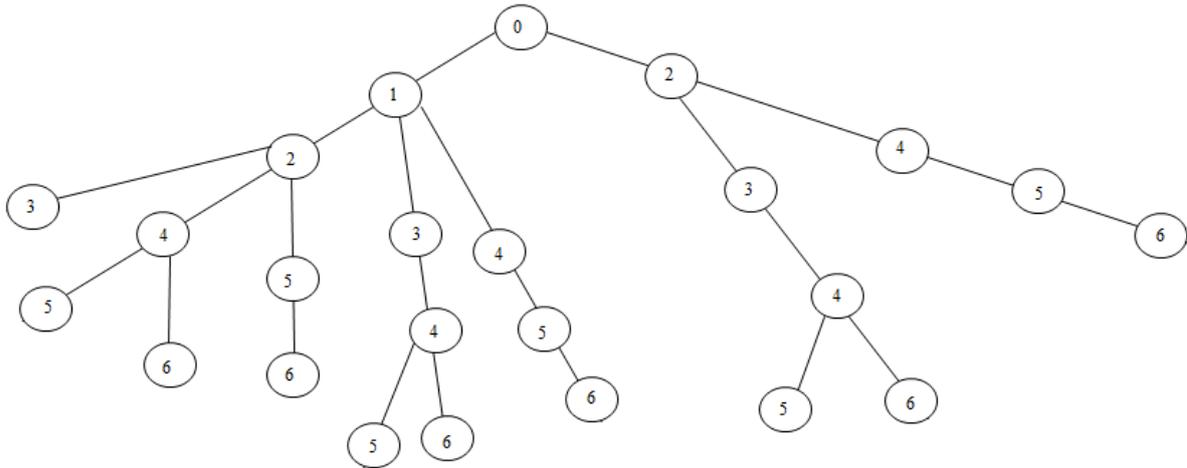


Рисунок 1 – Дерево максимальных наборов команд  
Figure 1 – Tree of maximum instruction sets

Полученные максимальные наборы команд:  $Q_1 = (1,2,3)$ ,  $Q_2 = (1,2,4,5)$ ,  $Q_3 = (1,2,4,6)$ ,  $Q_4 = (1,2,5,6)$ ,  $Q_5 = (1,3,4,5)$ ,  $Q_6 = (1,3,4,6)$ ,  $Q_7 = (1,4,5,6)$ ,  $Q_8 = (2,3,4,5)$ ,  $Q_9 = (2,3,4,6)$ ,  $Q_{10} = (2,4,5,6)$ .

Задача определения минимальной продолжительности работ проектов с учетом ограничений на время выполнения каждой работы набором команд специалистов имеет вид:

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9 + x_{10} \rightarrow \min$$

при ограничениях

$$\begin{aligned} x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 &\geq 52, \\ x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_8 + x_9 + x_{10} &\geq 40, \\ x_1 + x_5 + x_6 + x_8 + x_9 &\geq 32, \\ x_2 + x_3 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9 + x_{10} &\geq 24, \\ x_2 + x_4 + x_5 + x_7 + x_8 + x_{10} &\geq 16, \\ x_3 + x_4 + x_6 + x_7 + x_9 + x_{10} &\geq 8. \end{aligned}$$

Получено оптимальное решение задачи при следующих значениях  $x_1 = 32$ ,  $x_2 = 16$ ,  $x_3 = 8$ ,  $x_4 = 0$ ,  $x_5 = 0$ ,  $x_6 = 0$ ,  $x_7 = 0$ ,  $x_8 = 0$ ,  $x_9 = 0$ ,  $x_{10} = 0$  с минимальной продолжительностью работ проектов  $T_{\min} = 56$  ед.

Для оптимизации календарного плана работ команд проектов применяли эвристический алгоритм, предполагающий первоочередное выполнение работ с наибольшей продолжительностью.

В начальный момент времени  $t = 0$  начинает работу максимальный набор команд  $Q_1 = (1,2,3)$  по выполнению работ (1), (2) и (3).

В момент времени  $t = 32$  заканчивается работа 2 проекта 1 (3), и максимальным набором команд  $Q_7 = (1,4,5,6)$  начинают выполняться работы (4), (5) и (6).

В момент времени  $t = 40$  заканчиваются работа 2 проекта 2 (2) и работа 3 проекта 1 (6).

В момент времени  $t = 48$  заканчивается работа 3 проекта 2 (5).

В момент времени  $t = 54$  заканчивается работа 1 проекта 2 (1).

В момент времени  $t = 56$  заканчивается работа 1 проекта 1 (4).  
На Рисунке 2 представлена диаграмма Ганта.

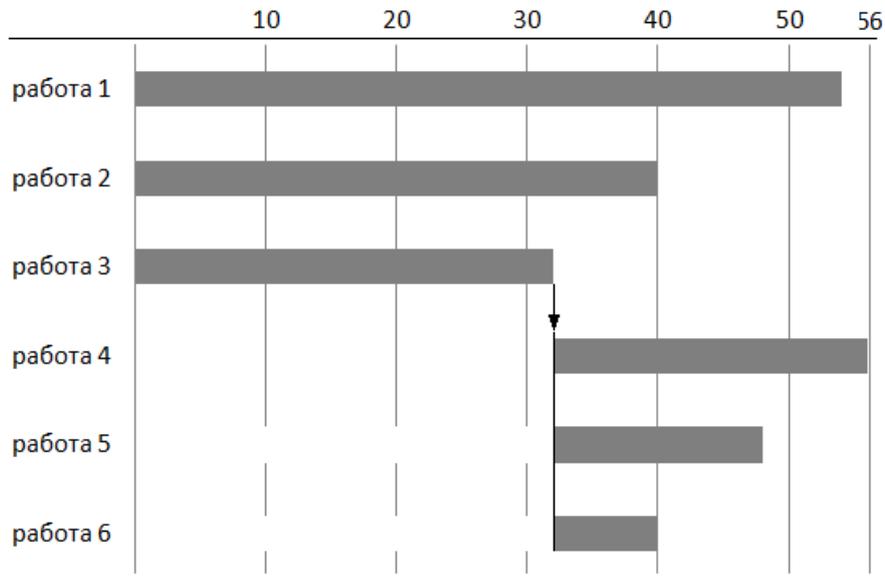


Рисунок 2 – Диаграмма Ганта  
Figure 2 – Gantt Chart

Таким образом, проведенный анализ управления проектами позволил определить, что продолжительность выполнения всех работ составляет 56 ед.

### Заключение

В статье рассмотрена задача календарного планирования работ команд проектов, состоящая в минимизации продолжительности выполнения всех работ с учетом ограниченного числа специалистов разного типа. Такая задача является NP-трудной. Для получения задачи линейного программирования рассмотрены наборы команд, представляющие совместные комбинации, сформированные с учетом ограничений на количество специалистов каждого типа, выполняющие некоторые работы одновременно.

Приведен пример расчета работ проектов наборами команд. Применен эвристический алгоритм, продемонстрировавший процедуру определения наилучшей последовательности выполнения работ с учетом состава команд специалистов и продолжительности работ.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Алферов В.И., Бурков В.Н., Кравцов А.Е., Сенюшкин А.В. Задачи календарного планирования с учетом времени перемещения ресурсов. *Вестник Воронежского государственного технического университета*. 2009;5(11):217–219.
2. Kelareva E., Tierney K., Kilby P. CP methods for scheduling and routing with time-dependent task costs. *EURO Journal on Computational Optimization*. 2014;2(3)147–194. DOI: 10.1007/s13675-014-0022-7.
3. Баркалов С.А., Мишин М.П. Задачи календарного планирования проектных работ в строительстве. *Проблемы современной теории управления системами и процессами: матер. междунар. конф.* 2012:224–227.

4. Бурков В.Н., Бондарик В.Н., Нгуен Х.Т., Селезнев А.А. Задача разработки календарных планов по критерию упущенной выгоды. *Системы управления и информационные технологии*. 2013;53(3):32–35.
5. Буркова И.В., Порядина В.Л., Зенищева Г.В. Формирование календарного плана взаимозависимых проектов. *Экономика и менеджмент систем управления*. 2014;14(4.1):139–149.
6. Вьюнов А.П. Постановка задачи и алгоритм календарного планирования работ команд специалистов. *Вестник Воронежского института ФСИН России*. 2018;2:55–58.
7. Вьюнов А.П., Роговая Л.А. Постановка задачи формирования календарного плана работ команд специалистов. *Проблемы, перспективы и направления инновационного развития науки: сб. ст. по итогам Междун. научн.-практ. конф.* 2017;3:109–110.
8. Зенищева В.Г., Россихина Л.В., Селезнев А.А. Задача формирования календарного плана взаимозависимых проектов. *Экономика и менеджмент систем управления*. 2014;12(2-3):374–382.
9. Пужанова Е.О. Формирование календарного плана программы повышения уровня зрелости организации в области управления проектами. *Экономика и менеджмент систем управления*. 2016;22(4):32–39.
10. Бурков В.Н., Вьюнов А.П., Роговая Л.А., Россихина Л.В. Задача оптимального распределения команд специалистов. *Автоматика и телемеханика*. 2019;1:116–125.

#### REFERENCES

1. Alferov V.I., Burkov V.N., Kravtsov A.E., Senyushkin A.V. Tasks of calendar planning taking into account the time of resource movement. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Bulletin of the Voronezh State Technical University*. 2009;5(11):217–219. (In Russ.).
2. Kelareva E., Tierney K., Kilby P. CP methods for scheduling and routing with time-dependent task costs. *EURO Journal on Computational Optimization*. 2014;2(3)147–194. DOI: 10.1007/s13675-014-0022-7.
3. Barkalov S.A., Mishin M.P. Tasks of calendar planning of project works in construction. *Problems of modern theory of systems and processes management: mater. International Conference*. 2012:224–227. (In Russ.).
4. Burkov V.N., Burkov V.N., Bondarik V.N., Nguyen H.T., Seleznev A.A. The task of developing calendar plans according to the criterion of lost profits. *Sistemy upravleniya i informatsionnye tekhnologii*. 2013;53(3):32–35. (In Russ.).
5. Burkova I.V., Ordina V.L., Zenishcheva G.V. Formation of the calendar plan of interdependent projects. *Ekonomika i menedzhment sistem upravleniya*. 2014;14(4.1):139–149. (In Russ.).
6. Vyunov A.P. Statement of the problem and algorithm of calendar planning of work of teams of specialists. *Vestnik Voronezhskogo instituta FSIN Rossii = Vestnik of Voronezh Institute of the Russian Federal Penitentiary Service*. 2018;2:55–58. (In Russ.).
7. Vyunov A.P., Rogovaya L.A. Statement of the task of forming a calendar plan of work of teams of specialists. *Problems, prospects and directions of innovative development of science: collection of articles based on the results of International scientific research and practical conference*. 2017;3:109–110. (In Russ.).

8. Zenishcheva V.G., Rossikhina L.V., Seleznev A.A. The task of forming a calendar plan of interdependent projects. *Ekonomika i menedzhment sistem upravleniya*. 2014;12(2-3):374–382. (In Russ.).
9. Puzhanova E.O. Formation of the calendar plan of the program for increasing the level of maturity of the organization in the field of project management. *Ekonomika i menedzhment sistem upravleniya*. 2016;22(4):32–39. (In Russ.).
10. Burkov V.N., Vyunov A.P., Rogovaya L.A., Rossikhina L.V. The problem of optimal distribution of teams of specialists. *Avtomatika i Telemekhanika = Automation and Remote Control*. 2019;1:116–125. (In Russ.).

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Россихина Лариса Витальевна**, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры информационной безопасности телекоммуникационных систем, Воронежский институт ФСИН России, Воронеж, Российская Федерация.

*e-mail*: [rossihina\\_lv@mail.ru](mailto:rossihina_lv@mail.ru)

ORCID: [0000-0002-4822-8819](https://orcid.org/0000-0002-4822-8819)

**Larisa Vitalievna Rossikhina**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor at the Department of Information Security of Telecommunication Systems, Voronezh Institute of the Russian Federal Penitentiary Service, Voronezh, the Russian Federation.

**Калач Андрей Владимирович**, доктор химических наук, профессор, начальник кафедры безопасности информации и защиты сведений, составляющих государственную тайну, Воронежский институт ФСИН России, Воронеж, Российская Федерация.

*e-mail*: [a\\_kalach@mail.ru](mailto:a_kalach@mail.ru)

ORCID: [0000-0002-8926-3151](https://orcid.org/0000-0002-8926-3151)

**Andrey Vladimirovich Kalach**, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Head of the Department of Information Security and Protection of Information Constituting a State Secret, Voronezh Institute of the Russian Federal Penitentiary Service, Voronezh, the Russian Federation.

**Нефедьев Сергей Аркадьевич**, доктор военных наук, профессор, профессор кафедры пожарной безопасности технологических процессов и производств, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Российская Федерация.

*e-mail*: [doktorsan@mail.ru](mailto:doktorsan@mail.ru)

**Sergey Arkadievich Nefediev**, Doctor of Military Sciences, Professor, Professor at the Department of Fire Safety of Technological Processes and Productions, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia, Saint Petersburg, the Russian Federation.

*Статья поступила в редакцию 20.02.2023; одобрена после рецензирования 04.04.2023; принята к публикации 19.04.2023.*

*The article was submitted 20.02.2023; approved after reviewing 04.04.2023; accepted for publication 19.04.2023.*