



Научное программное обеспечение в образовании и науке

<https://doi.org/10.25559/SITITO.021.202503.554-561>

УДК 519.688

Прогнозирование внешнего воздействия на объекты в системе Mathematica

С. Н. Черный¹, В. Р. Кристалинский^{2,1*}

Оригинальная статья

¹ ФГКВОУ ВО «Военная ордена Кутузова академия войсковой противовоздушной обороны Вооруженных Сил Российской Федерации имени Маршала Советского Союза А.М. Василевского» Министерства обороны Российской Федерации, г. Смоленск, Российская Федерация

Адрес: 214027, Российская Федерация, г. Смоленск, ул. Котовского, д. 22

² ФГБОУ ВО «Смоленский государственный университет», г. Смоленск, Российская Федерация

Адрес: 214000, Российская Федерация, г. Смоленск, ул. Пржевальского, д. 4

* kristvr@rambler.ru

Аннотация

Задача защиты комплексов объектов и сооружений от злонамеренного внешнего воздействия является в настоящее время весьма актуальной. Для того чтобы эффективно планировать мероприятия по защите объектов, необходимо осуществлять прогнозирование наиболее вероятных компонентов сложного объекта, на которые направляется внешнее воздействие. В условиях ограниченности сил и средств, предназначенных для защиты объектов, построенный прогноз позволит рационально распределить ресурсы и снизить вероятность нарушения их работы. Это позволит повысить надежность функционирования объектов критической инфраструктуры в сложных условиях обстановки. Настоящая статья посвящена описанию компьютерной реализации алгоритма, осуществляющего такое прогнозирование.

Указанное прогнозирование требует решения сложных нелинейных целочисленных оптимизационных задач, что связано с преодолением значительных вычислительных трудностей. Эффективно преодолевать эти трудности позволяет система Wolfram Mathematica. Заложенные в ней алгоритмы позволяют находить решение данных задач, причем ввод их в систему осуществляется в явном виде, что позволяет работать с программой специалисту предметной области. Результатом работы построенной программы являются численные значения компонентов внешнего воздействия, направляемых на элементы сложного объекта. При этом необходимые исходные данные хранятся в текстовых файлах, что позволит пользователю легко изменять их.

Разработанная программа может использоваться как при решении реальных практических задач в органах государственного управления, так и при обучении в высших учебных заведениях дисциплинам «методы оптимизации» и «математическое моделирование». Она позволяет показать обучаемым возможности математического моделирования и современных систем компьютерной математики на примере решения актуальной прикладной задачи, имеющей важное и хорошо им понятное значение.

Ключевые слова: система Wolfram Mathematica, прогнозирование, оптимизационная задача

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Черный С. Н., Кристалинский В. Р. Прогнозирование внешнего воздействия на объекты в системе Mathematica // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2025. Т. 21, № 3. С. 554-561. <https://doi.org/10.25559/SITITO.021.202503.554-561>

© Черный С. Н., Кристалинский В. Р., 2025



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.



Forecasting the External Impact on the Objects in the Mathematica System

S. N. Chernyi^a, V. R. Kristalinskii^{b,a*}

Original article

^a Russian Federation Armed Forces Army Air Defense Military Academy awarded the order of Kutuzov, named after the Marshal of the Soviet Union A.M. Vasilevsky, Smolensk, Russian Federation

Address: 2 Kotovsky St., Smolensk 214027, Russian Federation

^b Smolensk State University, Smolensk, Russian Federation

Address: 4 Przhevalsky St., Smolensk 214000, Russian Federation

* kristvr@rambler.ru

Abstract

The task of protecting complexes of facilities and structures from malicious external influences is currently very relevant. In order to effectively plan measures to protect facilities, it is necessary to predict the most likely components of a complex facility to which external influence is directed. In conditions of limited forces and means designed to protect facilities, the forecast will make it possible to rationally allocate resources and reduce the likelihood of disruption of their operation. This will improve the reliability of critical infrastructure facilities in difficult conditions. This article is devoted to the description of a computer implementation of an algorithm that performs such forecasting.

This prediction requires solving complex nonlinear integer optimization problems, which is associated with overcoming significant computational difficulties. The Wolfram Mathematica system allows us to effectively overcome these difficulties. The algorithms embedded in it make it possible to find solutions to these problems, and their input into the system is carried out explicitly, which allows a specialist in the subject area to work with the program. The result of the constructed program is the numerical values of the components of the external impact directed at the elements of a complex object. At the same time, the necessary source data is stored in text files, which will allow the user to easily change them.

The developed program can be used both in solving real practical problems in public administration bodies and in teaching in higher educational institutions the disciplines "optimization methods" and "mathematical modeling". It allows students to show the possibilities of mathematical modeling and modern computer mathematics systems by using the example of solving an actual applied problem that is important and well understood by them.

Keywords: Wolfram Mathematica system, forecasting, optimization problem

Conflict of interests: The authors declares no conflict of interest.

For citation: Chernyi S.N., Kristalinskii V.R. Forecasting the External Impact on the Objects in the Mathematica System. *Modern Information Technologies and IT-Education*. 2025;21(3):554-561. <https://doi.org/10.25559/SITITO.021.202503.554-561>



Введение

В настоящее время существенно возрастают угрозы злонамеренного внешнего воздействия на критически важные объекты инфраструктуры с целью нарушения их устойчивой работы и вывода из строя их элементов. В то же время силы и средства, предназначенные для защиты указанных объектов, могут оказаться недостаточны для решения поставленных перед ними задач. В связи с этим прогнозирование характера внешнего воздействия на объекты является весьма актуальной задачей. Различные подходы к ее решению описаны в работах [22]-[25].

В работе [1] представлена математическая модель определения вероятных целей внешнего злонамеренного воздействия. В настоящей работе описывается компьютерная реализация указанной модели средствами системы Wolfram Mathematica.

Постановка задачи

Описанная в [1] математическая модель заключается в следующем. Сила, осуществляющая внешнее воздействие, состоит из J компонент, каждый из которых включает M_j элементов, пытается нанести ущерб некоторому объекту. Объект предназначен для выполнения N задач и состоит из I элементов, взаимосвязь которых описывается матрицей связности $\|\alpha_{i,k}\|$, компонентами которой являются вероятности выхода из строя k -го элемента при условии выхода из строя i -го. Каждый элемент характеризуется коэффициентом важности V_i . Для расчета этих коэффициентов может быть использована методика, описанная в [2]. На объект осуществляется последовательно Ω внешних воздействий. Элемент j -го компонента внешней силы проникает к i -му компоненту объекта и выводит его из строя с вероятностью $P_{i,j}$.

Вероятность сохранения объектом возможности выполнения n -й задачи при v -м нападении вычисляется по формуле

$$F_n^v(m_v) = \prod_{k=1}^I \left(1 - \alpha_{k,n} \cdot \left(1 - \prod_{j=1}^J (1 - P_{j,k})^{(m_{j,k}^v + m_{j,k}^t)} \right) \right), t=1, K, T, n \in G$$

где $m_{j,k}^t$ – число элементов j -й компоненты, воздействующих на k -й элемент при t -м нападении на объект;

$x_{j,k}^t$ – суммарное число элементов j -й компоненты, воздействующих на k -й элемент за все предшествующие $(t+1)$ воздействия на объект:

$$x_{j,k}^t = \sum_{i=1}^t m_{j,k}^i$$

T – количество воздействий на объект;

G – множество номеров элементов, обеспечивающих выполнение объектом своих задач.

Поставим следующую задачу. Пусть известны все воздействующие на объект внешние силы, важности элементов объекта V_i , желательные для внешних сил вероятности выполнения объектом своих задач после

внешнего воздействия. Требуется определить оптимальное для внешних сил распределение воздействий по элементам объекта, при котором минимизируется суммарная вероятность выполнения объектом своих задач, взвешенная по их важностям

$$W_t^*(m_t) = \min_{m_t} \sum_{n=n_1}^{n_N} V_n \cdot F_n^t(m_t)$$

при соблюдении дополнительных ограничений

$$\sum_{k=1}^I m_{j,k}^t \leq M_j^t$$

$$F_n^t(m_t) \leq f_n^t, n \in G.$$

Первое ограничение означает, что сумма численностей элементов внешней воздействующей силы, назначенных на цели, не должна превосходить их общего числа в j -й компоненте при t -м воздействии на объект. Второе – что вероятность выполнения объектом своих задач после воздействия не должна превосходить желаемой внешней силой.

Результаты исследования

Сформулированная оптимизационная задача является весьма сложной. Решению задач целочисленного программирования, в частности, с использованием современных вычислительных средств, и их практическим приложениям посвящено большое количество работ, в частности, [5]-[21]. Эффективное решение этой задачи возможно с помощью системы Wolfram Mathematica методами, описанными в наших работах¹ [3, 4]. Приведем решение задачи для примера из [1].

Имеется комплекс обеспечения кораблей энергосредствами с берега, включающий 16 элементов. На комплекс ожидается два воздействия силы, состоящей из двух компонентов. В первой компоненте 7 элементов, во второй – 3. Даны значения коэффициентов важности элементов комплекса, вероятности вывода из строя элементов комплекса внешними силами и матрица связности элементов комплекса. Желательная для внешних сил вероятность выполнения комплексом своих задач – не более 0,1. Требуется осуществить оптимальное распределение элементов внешней силы по целям.

Приведем решение поставленной задачи в системе Wolfram Mathematica.

Загружаем из файла значения вероятностей вывода из строя элементов комплекса

```
P=Import["p1.dat","Table"]
```

Загружаем из файла матрицу связности

```
α=Import["alpha.dat","Table"]
```

Хранение исходных данных в файлах делает, на наш взгляд, более удобным их изменение.

Вводим количество элементов комплекса и компонентов внешней силы

```
I1=16
```

¹ Кристаллинский В. Р. Оптимизация в системе Mathematica. СПб. : Лань, 2023. 76 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/276653> (дата обращения: 14.07.2025).



J=2

Вводим функции $F_n^t(m_t)$

$F1[m[1,1],m[2,1],m[3,1],m[4,1],m[5,1],m[6,1],m[7,1],m[8,1],m[9,1],m[10,1],m[11,1],m[12,1],m[13,1],m[14,1],m[15,1],m[16,1],m[1,2],m[2,2],m[3,2],m[4,2],m[5,2],m[6,2],m[7,2],m[8,2],m[9,2],m[10,2],m[11,2],m[12,2],m[13,2],m[14,2],m[15,2],m[16,2]]=$

$$\prod_{k=1}^n \left(1 - \alpha[[k,1]] * \left(1 - \prod_{j=1}^J (1 - P[[k,j]]^{\wedge} m[[k,j]]) \right) \right)$$

$F2[m[1,1],m[2,1],m[3,1],m[4,1],m[5,1],m[6,1],m[7,1],m[8,1],m[9,1],m[10,1],m[11,1],m[12,1],m[13,1],m[14,1],m[15,1],m[16,1],m[1,2],m[2,2],m[3,2],m[4,2],m[5,2],m[6,2],m[7,2],m[8,2],m[9,2],m[10,2],m[11,2],m[12,2],m[13,2],m[14,2],m[15,2],m[16,2]]=$

$$\prod_{k=1}^n \left(1 - \alpha[[k,2]] * \left(1 - \prod_{j=1}^J (1 - P[[k,j]]^{\wedge} m[[k,j]]) \right) \right) \text{ и т.д.}$$

Решаем оптимизационную задачу для первого воздействия внешних сил. Получаем результат – целераспределение внешних сил во время первого воздействия по элементам комплекса.

{0.0820491, {m[1,1]→1,m[2,1]→0,m[3,1]→0,m[4,1]→1,m[5,1]→3,m[6,1]→0,m[7,1]→2,m[8,1]→0,m[9,1]→0,m[10,1]→0,m[11,1]→0,m[12,1]→0,m[13,1]→0,m[14,1]→0,m[15,1]→0,m[16,1]→0,m[1,2]→0,m[2,2]→0,m[3,2]→0,m[4,2]→0,m[5,2]→0,m[6,2]→0,m[7,2]→0,m[8,2]→0,m[9,2]→0,m[10,2]→0,m[11,2]→0,m[12,2]→0,m[13,2]→2,m[14,2]→1,m[15,2]→1,m[16,2]→1}}

Это означает, что, например, на первый элемент комплекса будет направлен один элемент из первого компонента внешней силы, а вероятность выполнения комплексом своих задач будет равна 0,08.

При этом система выдает предупреждение о недостаточно высокой точности вычислений, что связано с большой размерностью задачи.

элементы объекта																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1 компонента	1	0	0	1	3	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 компонента	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1	1

Во время второго нападения на комплекс элементы внешней воздействующей силы будут распределены по элементам защищаемого объекта следующим образом

элементы объекта																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1 компонента	2	0	0	0	3	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 компонента	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1

Значение вероятности выполнения всех функций объекта после второго воздействия составляет 0,006.

Обсуждение и заключение

Таким образом, система Wolfram Mathematica позволяет производить вычисления на основе модели, описанной в [1], что позволяет использовать эту систему для прогнозирования действий внешних сил при воздействии на защищаемые объекты. Описанная модель и ее модель и ее компьютерная реализация

Заполним матрицу x значениями числа элементов внешней силы, действующими во время первого воздействия

$x=\text{Table}[0,\{i,1,I1\},\{j,1,J\}]$
 $x[[1,1]]=1$
 $x[[4,1]]=1$

и т.д.

Строим функции $F_n^t(m_t)$ для второго воздействия

$F1[m[1,1],m[2,1],m[3,1],m[4,1],m[5,1],m[6,1],m[7,1],m[8,1],m[9,1],m[10,1],m[11,1],m[12,1],m[13,1],m[14,1],m[15,1],m[16,1],m[1,2],m[2,2],m[3,2],m[4,2],m[5,2],m[6,2],m[7,2],m[8,2],m[9,2],m[10,2],m[11,2],m[12,2],m[13,2],m[14,2],m[15,2],m[16,2]]=$

$$\prod_{k=1}^n \left(1 - \alpha[[k,1]] * \left(1 - \prod_{j=1}^J (1 - P[[k,j]]^{\wedge} (m[[k,j]] + x[[k,j]])) \right) \right)$$

$F2[m[1,1],m[2,1],m[3,1],m[4,1],m[5,1],m[6,1],m[7,1],m[8,1],m[9,1],m[10,1],m[11,1],m[12,1],m[13,1],m[14,1],m[15,1],m[16,1],m[1,2],m[2,2],m[3,2],m[4,2],m[5,2],m[6,2],m[7,2],m[8,2],m[9,2],m[10,2],m[11,2],m[12,2],m[13,2],m[14,2],m[15,2],m[16,2]]=$

$$\prod_{k=1}^n \left(1 - \alpha[[k,2]] * \left(1 - \prod_{j=1}^J (1 - P[[k,j]]^{\wedge} (m[[k,j]] + x[[k,j]])) \right) \right) \text{ и т.д.}$$

Решаем оптимизационную задачу аналогично тому, как это было сделано для первого воздействия, получаем

{0.00691388, {m[1,1]→2,m[2,1]→0,m[3,1]→0,m[4,1]→0,m[5,1]→3,m[6,1]→0,m[7,1]→2,m[8,1]→0,m[9,1]→0,m[10,1]→0,m[11,1]→0,m[12,1]→0,m[13,1]→0,m[14,1]→0,m[15,1]→0,m[16,1]→0,m[1,2]→0,m[2,2]→0,m[3,2]→0,m[4,2]→0,m[5,2]→0,m[6,2]→0,m[7,2]→0,m[8,2]→0,m[9,2]→0,m[10,2]→0,m[11,2]→0,m[12,2]→0,m[13,2]→1,m[14,2]→2,m[15,2]→1,m[16,2]→1}}

Таким образом, во время первого нападения на комплекс элементы внешней воздействующей силы будут распределены по элементам защищаемого объекта следующим образом

могут использоваться при планировании органами государственного управления действий по защите объектов, а также в учебном процессе гражданских и военных вузов при изучении дисциплин, связанных с методами оптимизации и математическим моделированием. Кроме того, мы полагаем, что описанный в работе подход может быть использован при решении задач информационной безопасности.



Благодарности

Авторы выражают благодарность доктору военных наук А.В. Кучерявому за обсуждение затрагиваемых в статье вопросов как специалисту данной предметной области.

Acknowledgements

The authors express their gratitude to A. V. Kucheryavy, Doctor of Military Sciences, for discussing the issues addressed in the article as an expert in this field.

Список использованных источников

1. Сильников М. В., Лазоркин В. И. Математическая модель определения вероятных объектов диверсионных действий при планировании антидиверсионных мероприятий // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2024. № 2(132). С. 44-48. https://doi.org/10.53816/20753608_2024_2_44
2. Синоков В. В., Сумин В. А. Методика выявления и ранжирования критически важных объектов инфраструктуры авиационной группировки // Военная мысль. 2024. № 7. С. 61-66. EDN: CFZXNJ
3. Кристаллинский Р. Е., Кристаллинский В. Р. Методы оптимизации в системе Mathematica // Системы компьютерной математики и их приложения. 2019. № 20-2. С. 199-203. EDN: UBYQZQ
4. Kristalinskii V. R. On Solving Unconditional Optimization Problems in the Wolfram Mathematica System // CEUR Workshop Proceedings. 2021. Vol. 2914. P. 383-390. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-2914/paper36.pdf> (дата обращения: 14.07.2025).
5. Аширбаева А. Ж., Мамитова А. К., Махкамов Г. У. Решение задач целочисленного линейного и нелинейного программирования с использованием Ms Excel // Строительство и образование. 2022. № 1. С. 45-49. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/reshenie-zadach-tselochislennogo-lineynogo-i-nelineynogo-programmirovaniya-s-ispolzovaniem-ms-excel> (дата обращения: 14.07.2025).
6. Иванов А. В., Матвеев Ю. Н. Современные программные средства решения задач целочисленного линейного программирования // Информационные ресурсы и системы в экономике, науке и образовании. Пенза: Приволжский Дом знаний, 2021. С. 59-63. EDN: ZKGEZP
7. Чертков А. А., Каск Я. Н., Сабуров С. В. Автоматизация поиска маршрутов рентабельных грузоперевозок средствами целочисленного программирования MATLAB // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. 2021. Т. 13, № 4. С. 496-504. <https://doi.org/10.21821/2309-5180-2021-13-4-496-504>
8. Заваровский Ю. Н., Арапова А. С. Общая задача линейного программирования и задача целочисленного программирования и их решение в пакете Maple // Управление реформированием социально-экономического развития предприятий, отраслей, регионов: сборник научных статей V Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и преподавателей / под ред. В. В. Бондаренко, О. В. Лосевой, В. А. Дресвянникова, С. В. Самуйлова, Е. В. Воейкова, Л. М. Хурновой, Н. Г. Смолич. Пенза: ПГУ, 2014. С. 330-336. EDN: TCKXAZ
9. Сивакова Т. В., Судаков В. А., Шимко В. С. Исследование методов решения задач смешанного целочисленного линейного программирования // Препринты ИПИМ им. М.В. Келдыша. 2024. № 24. С. 1-18. <https://doi.org/10.20948/prepr-2024-24>
10. A survey for solving mixed integer programming via machine learning / J. Zhang [et al.] // Neurocomputing. 2023. Vol. 519. P. 205-217. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2022.11.024>
11. A mixed-integer programming approach for solving university course timetabling problems / E. Rappos [et al.] // Journal of Scheduling. 2022. Vol. 25, issue 4. P. 391-404. <https://doi.org/10.1007/s10951-021-00715-5>
12. A mixed-integer programming model for an integrated production planning problem with preventive maintenance in the pulp and paper industry / F. N. Avilés [et al.] // Engineering Optimization. 2023. Vol. 55, issue 8. P. 1352-1369. <https://doi.org/10.1080/0305215X.2022.2086237>
13. Picelli R., Sivapuram R., Xie Y. M. A 101-line MATLAB code for topology optimization using binary variables and integer programming // Structural and Multidisciplinary Optimization. 2021. Vol. 63, issue 2. P. 935-954. <https://doi.org/10.1007/s00158-020-02719-9>
14. Alhamad K., Alkhezi Y., Alhajri M. F. Nonlinear integer programming for solving preventive maintenance scheduling problem for cogeneration plants with production // Sustainability. 2022. Vol. 15, issue 1. Article number: 239. <https://doi.org/10.3390/su15010239>
15. An integer programming model for minimizing energy cost in water distribution system using trigger levels with additional time slots / D. Wu [et al.] // 2021 RIVF International Conference on Computing and Communication Technologies (RIVF). Hanoi, Vietnam: IEEE Press, 2021. P. 1-6. <https://doi.org/10.1109/RIVF51545.2021.9642073>
16. MIPLIB 2017: data-driven compilation of the 6th mixed-integer programming library / A. Gleixner [et al.] // Mathematical Programming Computation. 2021. Vol. 13, issue 3. P. 443-490. <https://doi.org/10.1007/s12532-020-00194-3>
17. A mixed-integer programming-based Q-learning approach for electric bus scheduling with multiple termini and service routes / Y. Yan [et al.] // Transportation Research Part C: Emerging Technologies. 2024. Vol. 162. Article number: 104570. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2024.104570>



18. Ahn J., Kim H. J. A novel mixed integer programming model with precedence relation-based decision variables for non-cyclic scheduling of cluster tools // *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*. 2024. Vol. 22. P. 2893-2908. <https://doi.org/10.1109/TASE.2024.3386562>
19. Rossi A., Tiacchi L., Simonetti M. A Mixed Integer Programming model to optimize production planning in the luxury textile industry // *Procedia Computer Science*. 2025. Vol. 253. P. 1175-1184. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2025.01.179>
20. Emergency control of firefighting vehicles based on distributed integer programming / W. Wu [et al.] // *Transactions of the Institute of Measurement and Control*. 2025. Vol. 47, issue 8. P. 1570-1580. <https://doi.org/10.1177/01423312241244476>
21. Failure prediction of geared mechanism at multiple gearshift configuration by utilizing the experimental design and integer programming method / S. Mandol [et al.] // *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJDeM)*. 2025. Vol. 19, issue 3. P. 2113-2127. <https://doi.org/10.1007/s12008-024-02093-6>
22. Михайлов А. Г. Результаты научного анализа состояния защищенности тыловых объектов от воздействия разведывательно-диверсионных и диверсионно-террористических формирований вероятного противника в современных условиях ведения операций (боевых действий) // *Вестник Военной академии материально-технического обеспечения им. генерала армии А. В. Хрулева*. 2021. № 2(26). С. 44-49. EDN: IUSZCX
23. Михайлов В. В., Мизюрин С. А. Принципы обеспечения противодиверсионной защищенности и живучести важных государственных объектов // *Актуальные исследования*. 2025. № 11-1(246). С. 9-13. EDN: AAUIMY
24. Груздев Д. А., Мирошник М. А., Севостьянова Н. И. Методика оценки показателей защищенности элементов системы связи от воздействия ДРГ // *Современные проблемы и перспективные направления инновационного развития науки: сборник статей международной научно-практической конференции*. Ч. 5. Екатеринбург: Аэтерна, 2016. С. 51-54. EDN: XDUOPT
25. Вафин Д. Х., Абсалямов А. Р., Саржанов М. Н. Методология прогнозирования угрозы разведывательно-диверсионного и террористического воздействия на объект // *Тенденции развития науки и образования*. 2024. № 109-14. С. 211-216. EDN: CHFSQC

References

1. Silnikov M.V., Lazorkin V.I. A mathematical model for determining the likely objects of sabotage actions when planning anti-sabotage measures. *Izvestiâ Rossijskoj akademii raketnyh i artillerijskih nauk*. 2024;(2):44-48. (In Russ., abstract in Eng.) https://doi.org/10.53816/20753608_2024_2_44
2. Sinyukov V.V., Sumin V.A. Methodology for identifying and ranking aviation critical infrastructure facilities. *Voennaya mysl' = Military Thought*. 2024;(7):61-66. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: CFZXNJ
3. Kristalinskii R.E., Kristalinskii V.R. Methods of Optimization in the Mathematica System. *Sistemy komp'yuternoj matematiki i ih prilozheniya = Computer Mathematics Systems and Their Applications*. 2019;(20-2):199-203. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: UBYQZQ
4. Kristalinskii V.R. On Solving Unconditional Optimization Problems in the Wolfram Mathematica System. *CEUR Workshop Proceedings*. 2021;2914:383-390. Available at: <https://ceur-ws.org/Vol-2914/paper36.pdf> (accessed 14.07.2025).
5. Ashirbaeva A.Zh., Mamitova A.K., Mahkamov G.U. Solving integer linear and nonlinear programming problems using MS Excel. *Stroitel'stvo i obrazovanie*. 2022;(1):45-49. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/reshenie-zadach-tselochislennogo-lineynogo-i-nelineynogo-programmirovaniya-s-ispolzovaniem-ms-excel> (accessed 14.07.2025). (In Russ., abstract in Eng.)
6. Ivanov A.V., Matveev Yu.N. A brief review of the state-of-the-art integer programming solutions. In: *Informacionnye resursy i sistemy v ekonomike, nauke i obrazovanii = Information Resources and Systems in Economics, Science, and Education*. Penza: Privolzhsky House of Knowledge; 2021. p. 59-63. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: ZKGEZP
7. Chertkov A.A., Kask Ya.N., Saburov S.V. Automation of search for routes of profitable freight transportation by means of integer programming of MATLAB. *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova*. 2021;13(4):496-504. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.21821/2309-5180-2021-13-4-496-504>
8. Zavarovsky Yu.N., Arapova A.S. General linear programming problem and integer programming problems and their decision in maple package. In: Bondarenko V.V., et al. (eds.) *Upravlenie reformirovaniem social'no-ekonomicheskogo razvitiya predpriyatij, otraslej, regionov = Management of the Reform of Socio-Economic Development of Enterprises, Industries, and Regions*. Penza: PSU; 2014. p. 330-336. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: TCKXAZ
9. Sivakova T.V., Sudakov V.A., Shimko V.S. Research of methods for solving mixed integer linear programming problems. *Keldysh Institute Preprints*. 2024;(24):1-18. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.20948/prepr-2024-24>
10. Zhang J., et al. A survey for solving mixed integer programming via machine learning. *Neurocomputing*. 2023;519:205-217. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2022.11.024>



11. Rappos E., et al. A mixed-integer programming approach for solving university course timetabling problems. *Journal of Scheduling*. 2022;25(4):391-404. <https://doi.org/10.1007/s10951-021-00715-5>
12. Avilés F.N., et al. A mixed-integer programming model for an integrated production planning problem with preventive maintenance in the pulp and paper industry. *Engineering Optimization*. 2023;55(8):1352-1369. <https://doi.org/10.1080/0305215X.2022.2086237>
13. Picelli R., Sivapuram R., Xie Y. M. A 101-line MATLAB code for topology optimization using binary variables and integer programming. *Structural and Multidisciplinary Optimization*. 2021;63(2):935-954. <https://doi.org/10.1007/s00158-020-02719-9>
14. Alhamad K., Alkhezi Y., Alhajri M. F. Nonlinear integer programming for solving preventive maintenance scheduling problem for cogeneration plants with production. *Sustainability*. 2022;15(1):239. <https://doi.org/10.3390/su15010239>
15. Wu D., Nguyen V.H., Minoux M., Tran H. An integer programming model for minimizing energy cost in water distribution system using trigger levels with additional time slots. In: 2021 RIVF International Conference on Computing and Communication Technologies (RIVF). Hanoi, Vietnam: IEEE Press; 2021. p. 1-6. <https://doi.org/10.1109/RIVF51545.2021.9642073>
16. Gleixner A., et al. MIPLIB 2017: data-driven compilation of the 6th mixed-integer programming library. *Mathematical Programming Computation*. 2021;13(3):443-490. <https://doi.org/10.1007/s12532-020-00194-3>
17. Yan Y., et al. A mixed-integer programming-based Q-learning approach for electric bus scheduling with multiple termini and service routes. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 2024;162:104570. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2024.104570>
18. Ahn J., Kim H.J. A novel mixed integer programming model with precedence relation-based decision variables for non-cyclic scheduling of cluster tools. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*. 2024;22:2893-2908. <https://doi.org/10.1109/TASE.2024.3386562>
19. Rossi A., Tiacchi L., Simonetti M. A Mixed Integer Programming model to optimize production planning in the luxury textile industry. *Procedia Computer Science*. 2025;253:1175-1184. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2025.01.179>
20. Wu W., et al. Emergency control of firefighting vehicles based on distributed integer programming. *Transactions of the Institute of Measurement and Control*. 2025;47(8):1570-1580. <https://doi.org/10.1177/01423312241244476>
21. Mandol S., et al. Failure prediction of geared mechanism at multiple gearshift configuration by utilizing the experimental design and integer programming method. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*. 2025;19(3):2113-2127. <https://doi.org/10.1007/s12008-024-02093-6>
22. Mikhaylov A.G. Results of science analysis of safety condition of rear objects from impact of commando-type reconnaissance and commando-terrorist units of possible enemy under modern conditions of conduct of operations (combat operations). *Herald of Military Educational Institution of Logistics named after General of the Army A.V. Khrulyov*. 2021;(2):44-49. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: IUSZCX
23. Mikhailov V.V., Mizyurin S.A. Principles of ensuring anti-sabotage protection and survivability of important government facilities. *Aktual'nye issledovaniya = Current Research*. 2025;(11-1):9-13. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: AAUIMY
24. Gruzdev D.A., Miroshnik M.A., Sevostyanova N.I. *Metodika ocenki pokazatelej zashchishchennosti elementov sistemy svyazi ot vozdejstviya DRG* [Methodology for Assessing the Security Indicators of Communication System Elements against the Impact of Sabotage and Reconnaissance Groups]. In: *Sovremennyye problemy i perspektivnye napravleniya innovacionnogo razvitiya nauki = Current Problems and Promising Directions of Innovative Science Development*. Part 5. Ekaterinburg: Aeterna; 2016. p. 51-54. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: XDUOPT
25. Vafin D.Kh., Absalyamov A.R., Sarzhanov M.N. *Metodologiya prognozirovaniya ugrozy razvedyvatel'no-diversionnogo i terroristicheskogo vozdejstviya na ob'ekt* [Methodology for Predicting the Threat of Reconnaissance, Sabotage, and Terrorist Impact on an Object]. *Tendencii razvitiya nauki i obrazovaniya*. 2024;(109-14):211-216. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: CHFSQC

Поступила 14.07.2025; одобрена после
рецензирования 18.09.2025; принята к публикации
06.10.2025.

Submitted 14.07.2025; approved after reviewing
18.09.2025; accepted for publication 06.10.2025.

Об авторах:

Черный Сергей Николаевич, начальник научно-исследовательского центра, ФГКВОУ ВО «Военная академия Кутузова» академия войсковой противовоздушной обороны Вооруженных Сил Российской Федерации имени Маршала Советского

About the authors:

Sergei N. Chernyi, Head of the Scientific and Research Centre, Russian Federation Armed Forces Army Air Defense Military Academy awarded the order of Kutuzov, named after the Marshal of the Soviet Union A.M. Vasilevsky (2 Kotovsky St., Smolensk 214027,



Союза А.М. Василевского» Министерства обороны Российской Федерации (214027, Российская Федерация, г. Смоленск, ул. Котовского, д. 2), кандидат технических наук, доцент, **ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3038-2789>**, Turov_black@mail.ru

Кристалинский Владимир Романович, доцент кафедры прикладной математики и информатики физико-математического факультета, ФГБОУ ВО «Смоленский государственный университет» (214000, Российская Федерация, г. Смоленск, ул. Пржевальского, д. 4); научный сотрудник, ФГКВ ОУ ВО «Военная ордена Кутузова академия войсковой противовоздушной обороны Вооруженных Сил Российской Федерации имени Маршала Советского Союза А.М. Василевского» Министерства обороны Российской Федерации (214027, Российская Федерация, г. Смоленск, ул. Котовского, д. 2), кандидат физико-математических наук, доцент, **ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1205-990X>**, kristvr@rambler.ru

Russian Federation), Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, **ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3038-2789>**, Turov_black@mail.ru

Vladimir R. Kristalinskii, Associate Professor of the Chair of Applied Mathematics and Computer Science, Faculty of Physics and Mathematics, Smolensk State University (4 Przhhevsky St., Smolensk 214000, Russian Federation); Researcher, Russian Federation Armed Forces Army Air Defense Military Academy awarded the order of Kutuzov, named after the Marshal of the Soviet Union A.M. Vasilevsky (2 Kotovsky St., Smolensk 214027, Russian Federation), Cand. Sci. (Phys.-Math.), Associate Professor, **ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1205-990X>**, kristvr@rambler.ru

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

All authors have read and approved the final manuscript.