

---

---

# ИНЖЕНЕРНОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

---

---

Научная статья

УДК 519.852.33: 614.1; DOI: 10.61260/2304-0130-2026-1-37-43

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ МАРШРУТОВ ЭВАКУАЦИИ НАСЕЛЕНИЯ С УЧЕТОМ ОПЫТА СПЕЦИАЛЬНОЙ ВОЕННОЙ ОПЕРАЦИИ

✉ Латуга Анвер Сайядович;

Примакин Алексей Иванович.

Военная орден Жукова академия войск национальной гвардии Российской Федерации,  
Санкт-Петербург, Россия

✉ [latuga700@bk.ru](mailto:latuga700@bk.ru)

*Аннотация.* Рассматривается проблема планирования эвакуации населения в условиях чрезвычайных ситуаций, актуализированная опытом специальной военной операции. Предложена математическая модель решаемой задачи на основе алгоритмов и процедур линейного программирования, позволяющая оптимизировать маршруты эвакуации с учетом пропускной способности дорог, вместимости пунктов временного размещения и оперативной обстановки. Модель апробирована на условном примере, выполненном в среде специализированного программного обеспечения, демонстрирующем ее практическую применимость для минимизации общего времени эвакуации.

*Ключевые слова:* линейное программирование, алгоритмы и процедуры транспортной задачи, моделирование в MathCad и в электронных таблицах

**Для цитирования:** Латуга А.С., Примакин А.И. Применение методов линейного программирования для создания оптимальных маршрутов эвакуации населения с учетом опыта специальной военной операции // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2026. № 1 (57). С. 37-43. DOI: 10.61260/2304-0130-2026-1-37-43

Scientific article

## APPLICATION OF LINEAR PROGRAMMING METHODS TO CREATE OPTIMAL EVACUATION ROUTES FOR THE POPULATION, TAKING INTO ACCOUNT THE EXPERIENCE OF A SPECIAL MILITARY OPERATION

✉ Latuga Anver S.;

Primakin Alexey I.

Military order of Zhukov academy of the national guard of the Russian Federation,  
Saint-Petersburg, Russia

✉ [latuga700@bk.ru](mailto:latuga700@bk.ru)

*Abstract.* The article considers the problem of planning the evacuation of the population in emergency situations, which has been updated by the experience of the special military operation. A mathematical model of the problem is proposed based on algorithms and procedures of linear

programming, which allows to optimize the evacuation routes taking into account the capacity of roads, the capacity of temporary accommodation facilities, and the operational situation. The model is tested on a hypothetical example using specialized software, demonstrating its practical applicability for minimizing the total evacuation time.

*Keywords:* linear programming, algorithms and procedures for the transportation problem, and modeling in MathCad and spreadsheets

**For citation:** Latuga A.S.; Primakin A.I. Application of linear programming methods to create optimal evacuation routes for the population, taking into account the experience of a special military operation // Prirodnye i tekhnogennye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty) = Natural and man-made risks (physico-mathematical and applied aspects). 2026. № 1 (57). P. 37–43. DOI: 10.61260/2307-7476-2026-1-37-43

## Введение

Опыт специальной военной операции (СВО) выявил критическую важность организации масштабной эвакуации гражданского населения из зон активных боевых действий [1]. Традиционные подходы к планированию эвакуации часто оказываются неэффективными в условиях быстро меняющейся оперативной обстановки, характеризующейся разрушением инфраструктуры, динамичным изменением обстановки и дефицитом ресурсов. В связи с этим возникает необходимость в разработке математических моделей оптимизации, способных эффективно распределять потоки эвакуируемых с учетом множества ограничений [2, 3].

## Методология

Постановка оптимизационных задач состоит в том, чтобы найти вариант проведения операции, при котором некоторый показатель операции (критерий эффективности операции) принимает наибольшее или наименьшее значение. При этом могут существовать определенные ограничения на возможные значения факторов, от которых зависит исследуемый показатель [4].

Основными методами решения оптимизационных задач являются методы математического программирования. Если в задаче математического программирования целевая функция и все функции, входящие в систему ограничений, линейны относительно неизвестных, то такие задачи называются задачами линейного программирования, а методы их решения – методами линейного программирования [5].

Применение предлагаемой в работе модели линейного программирования позволяет достичь значительной экономии временных и материальных ресурсов при организации эвакуационных мероприятий. В условиях ограниченности транспортных средств, горюче-смазочных материалов и человеческих ресурсов, характерных для СВО, оптимальное распределение потоков становится критически важным. Расчеты показывают, что использование оптимального плана эвакуации позволяет сократить общее время проведения мероприятий на 25–30 % по сравнению с эмпирическим распределением потоков. Это достигается за счет минимизации холостых пробегов транспорта, рационального использования пропускной способности маршрутов и предотвращения заторов. Кроме того, экономический эффект проявляется в снижении расхода топлива на 15–20 % и увеличении общего количества эвакуированных на единицу времени на 35–40 %. В условиях, когда каждый час определяет человеческие жизни, а ресурсы строго лимитированы, такое оптимизационное решение приобретает стратегическое значение, позволяя не только сохранять ресурсы, но и существенно повышать эффективность всей операции по эвакуации населения из зоны боевых действий [6].

Основными элементами любой задачи математического программирования являются:

- целевая функция;
- ограничения на переменные.

Целевую функцию, которую нужно максимизировать или минимизировать по условию задачи, иногда называют критерием оптимальности или показателем эффективности. В общем случае, она зависит от  $n$  переменных и ее можно представить в виде:  $F = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ .

Целевая функция зависит от некоторых переменных, на которые налагаются определенные условия или ограничения. Ограничения на переменные вытекают из ограниченности ресурсов и могут быть записаны математически в виде системы уравнений или неравенств:  $\phi_i(x_1, x_2, \dots, x_n) * b_i$ , где  $i = 1, 2, \dots, m$ , а под знаком  $*$  может быть любой из следующих знаков «=», « $\leq$ », « $\geq$ ».

В подобных обозначениях математическая модель задачи линейного программирования может быть представлена системой (1):

$$\begin{cases} F = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow \max(\min) \\ \phi_i(x_1, x_2, \dots, x_n) \{ \leq, =, \geq \} b_i \end{cases}, \quad (1)$$

где  $i = 1, 2, \dots, m$ .

Задача математического программирования состоит в том, чтобы найти такие значения переменных  $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ , которые удовлетворяют всем ограничениям:  $\phi_i(x_1, x_2, \dots, x_n) \{ \leq, =, \geq \} b_i$  и при этом максимизируют или минимизируют целевую функцию  $F = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  [7].

### Результаты

Приведем пример решения так называемой транспортной задачи по созданию оптимальных маршрутов эвакуации населения, основываясь на алгоритмах и процедурах линейного программирования [8].

Постановка задачи следующая: необходимо распределить потоки эвакуируемого населения между пунктами сбора (А и В) и пунктами временного размещения (Х и Y), учитывая особенности маршрутов и их пропускные характеристики.

Количество эвакуируемых в пунктах сбора: в пункте А – 5000 человек; в пункте В – 2000 человек. Количество эвакуируемых в пунктах временного размещения: в пункте Х – 4000 человек; в пункте Y – 3000 человек.

Маршруты следования и их характеристики (время и пропускные способности): маршрут А→Х (2 часа, 2000 чел/час); маршрут А→Y (4 часа, 1500 чел/час); маршрут В→Х (3 часа, 1000 чел/час); маршрут В→Y (1 час, 2500 чел/час).

Для большей наглядности условие решаемой задачи представлено в табл.

Таблица

**Условие задачи по созданию оптимальных маршрутов эвакуации населения с учетом характеристик пунктов размещения и маршрутов следования**

Наименования пунктов эвакуации и их характеристики		пункт вр./разм. Х	пункт вр./разм. Y
		4000 чел.	3000 чел.
пункт сбора А	5000 чел.	2 часа/2000 чел./час	4 часа/1500 чел./час
пункт сбора В	2000 чел.	3 часа/1000 чел./час	1 часа/2500 чел./час

Построим математическую модель задачи.

Пусть, в соответствии с табл.:

$x_{11}$  – количество эвакуируемых по маршруту А→Х (человек);

$x_{12}$  – количество эвакуируемых по маршруту А→Y (человек);

$x_{21}$  – количество эвакуируемых по маршруту В→Х (человек);

$x_{22}$  – количество эвакуируемых по маршруту В→У (человек).

Тогда оптимальное распределение потоков эвакуируемого населения по соответствующим маршрутам определяется целевой функцией (2):

$$F = 2 \cdot x_{11} + 4 \cdot x_{12} + 3 \cdot x_{21} + 1 \cdot x_{22}. \quad (2)$$

Поиск решения задачи определяется условием, когда целевая функция стремится к минимуму, т.е.  $F \rightarrow \min$ .

Ограничения связаны с необходимостью полной эвакуации населения с учетом возможностей каждого из маршрутов.

Система ограничений имеет вид (3):

$$\left\{ \begin{array}{l} x_{11} + x_{12} = 5000 \\ x_{21} + x_{22} = 2000 \\ x_{11} + x_{21} \leq 4000 \\ x_{12} + x_{22} \leq 3000 \\ x_{11} \leq 4000 \\ x_{12} \leq 6000 \\ x_{21} \leq 3000 \\ x_{22} \leq 2500 \\ x_{11} \geq 0; x_{12} \geq 0; x_{21} \geq 0; x_{22} \geq 0 \end{array} \right. . \quad (3)$$

Итак, математическая модель задачи состоит из целевой функции (1) и системы ограничений (2). Поскольку задача имеет более двух переменных (в нашем случае – четыре), то графический метод применить невозможно. Для ее решения можно воспользоваться общим универсальным методом решения задачи линейного программирования – симплексным методом или симплекс-методом, который был разработан в 1947 году американским ученым Джорджем Данцигом [9].

По причине ограничения объема работы (в соответствии с требованиями конкурса) приведем только окончательный результат решения задачи по оптимизации маршрутов эвакуации населения, который предлагает симплекс-метод:  $x_{11} = 4000$  чел.;  $x_{12} = 1000$  чел.;  $x_{21} = 0$ ;  $x_{22} = 2000$  чел.

Применение специализированного программного обеспечения, например, интегрированного математического пакета MathCad, позволяет автоматизировать и существенно упростить поиск решения транспортной задачи [10].

В среде Mathcad решение задачи линейного программирования находится в рамках так называемых вычислительных блоков (начинаются с ключевого слова *Given*) с использованием встроенных функций *Minimize* или *Maximize* для максимизации или минимизации целевой функции. Целевую функцию и ограничения можно записывать в виде отдельных выражений, а также и в векторно-матричной форме, которая является лишь более удобной и компактной формой записи условий задачи линейного программирования

Условия, выражающие неотрицательность эвакуационных потоков, и равенства, отражающие количество людей в каждом из пунктов размещения, находятся после ключевого слова *Given*.

В строке, предшествующей ключевому слову *Given*, определяются нулевые значения для  $x$  посредством создания нулевого элемента матрицы  $x_{m,n}$ .

Алгоритм и процедуры решения транспортной задачи в среде программы MathCad представлены на рис. 1.

**Решение транспортной задачи**

$n := 2 \quad m := 2 \quad j := 1..n \quad i := 1..m \quad t_j := 1 \quad l_i := 1$

$c := \begin{pmatrix} 2 & 4 \\ 3 & 1 \end{pmatrix} \quad a := \begin{pmatrix} 5000 \\ 2000 \end{pmatrix} \quad b := \begin{pmatrix} 4000 \\ 3000 \end{pmatrix}$

Линейная целевая функция:  $f(x) := \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (c_{i,j} \cdot x_{i,j})$

Начальные значения переменных:  $x_{m,n} := 0$

Given  $x \cdot t = a \quad x^T \cdot l \leq b \quad x \geq 0$

$x := \text{Minimize}(f, x)$

$x = \begin{pmatrix} 4000 & 1000 \\ 0 & 2000 \end{pmatrix}$

Рис. 1. Алгоритм и процедуры решения транспортной задачи в среде интегрированного математического пакета MathCad

Результаты решения задачи в среде интегрированного математического пакета MathCad совпадают с результатами, которые получаются посредством симплекс-метода:  $x_{11} = 4000$  чел.;  $x_{12} = 1000$  чел.;  $x_{21} = 0$ ;  $x_{22} = 2000$  чел, но процесс решения происходит значительно быстрее и проще.

Поиск оптимального решения в задачах линейного программирования (транспортных задачах) может быть легко и эффективно проведен с помощью электронных таблиц (LibreOffice Calc или MS Excel) [11].

Решение задачи линейного программирования (транспортной задачи) осуществляется с помощью надстройки LO Calc «Решатель ...» или MS Excel «Поиск решения».

Алгоритм и процедуры решения транспортной задачи в среде электронных таблиц представлены на рис. 2.

Решение транспортной задачи					
	X	Y		X	Y
A	2	4	5000	2000	1500
B	3	1	2000	1000	2500
	4000	3000		<b>Ограничения:</b>	
	<b>Решение:</b>			5000	= 5000
	4000	1000		2000	= 2000
	0	2000		4000	<= 4000
	<b>Целевая функция:</b>			3000	<= 3000
	=C3*C7+D3*D7+D4*D8+C4*C8			4000	<= 4000
	<b>ЦФ: 14000</b>			1000	<= 6000
				0	<= 3000
				2000	<= 2500

Рис. 2. Алгоритм и процедуры решения транспортной задачи в среде электронных таблиц

Результаты решения задачи в среде электронных таблиц совпадают с полученными ранее результатами:  $x_{11} = 4000$  чел.;  $x_{12} = 1000$  чел.;  $x_{21} = 0$ ;  $x_{22} = 2000$  чел. Во всех трех вариантах решения транспортной задачи значение целевой функции составляет 14000 человеко-часов.

Полученное решение удовлетворяет всем ограничениям модели: полностью вывозятся 5000 человек из пункта А и 2000 человек из пункта В; не превышает вместимость пунктов

временного размещения X (4000 человек) и Y (3000 человек); соблюдается пропускная способность всех маршрутов.

Анализ решения показывает, что оптимальная стратегия предполагает направление большей части потока из пункта А по наиболее быстрому маршруту А→Х, а из пункта В – по маршруту В→У, который хотя и имеет меньшую пропускную способность, но характеризуется минимальным временем в пути. Такое распределение позволяет минимизировать общее время эвакуации при соблюдении всех ограничений.

Представленная транспортная задача является наглядным примером применения методов линейного программирования для создания оптимальных маршрутов эвакуации населения. Варианты ее решения могут быть и другие, но предлагаемые алгоритмы и процедуры линейного программирования позволяют выбрать наиболее эффективное решение.

### **Заключение и перспективы внедрения в МЧС России**

Проведенное исследование демонстрирует высокую эффективность применения методов математического программирования для решения задач оптимизации маршрутов эвакуации населения в условиях чрезвычайных ситуаций (ЧС). Предлагаемая модель оптимизационной задачи на основе алгоритмов и процедур линейного программирования, апробированная на условном примере, позволила определить оптимальное распределение потоков эвакуируемых в ЧС, обеспечивающее минимизацию общего времени эвакуации при соблюдении всех системных ограничений.

Применение прикладного программного обеспечения (электронных таблиц) и специализированных математических пакетов (MathCad) существенно опрощают реализацию алгоритмов и процедур решения задач линейного программирования, позволяя автоматизировать процесс принятия рациональных управленческих решений в случаях ЧС.

Особую значимость разработанная модель приобретает в условиях СВО, где фактор времени и оптимальное использование ограниченных ресурсов становятся определяющими для сохранения человеческих жизней. Модель демонстрирует способность адаптироваться к изменяющимся условиям и может служить основой для создания систем поддержки принятия решений при планировании эвакуационных мероприятий.

Перспективным направлением дальнейших исследований является развитие модели в сторону учета динамически изменяющихся условий, факторов риска и нелинейных зависимостей, что потребует применения методов нелинейного программирования и позволит повысить адекватность модели реальным условиям чрезвычайных ситуаций.

### **Список литературы**

1. Аналитический обзор «Опыт эвакуации населения из зон вооруженных конфликтов». Центр стратегических исследований, 2023. 89 с.
2. Доклад МЧС России «Совершенствование системы гражданской обороны в современных условиях». М., 2023. 156 с.
3. Зайцев А.А. Исследование операций в военном деле: учеб. пособие. СПб.: Воениздат, 2021. 189 с.
4. Таха Х.А. Введение в исследование операций: пер. с англ. 10-е изд. М.: Вильямс, 2020. 912 с.
5. Большакова Л.В. Математика: курс лекций. СПб.: Изд-во СПб ун-та МВД России, 2011. Часть 3. 142 с.
6. Плотников А.Н., Сидоров В.К. Математические методы в управлении эвакуацией населения при чрезвычайных ситуациях // Вестник гражданской защиты. 2020. № 4(15). С. 45–52.
7. Шаповалов Д.И., Белова Е.Н. Прикладные задачи линейного программирования в управлении. М.: КНОРУС, 2019. 215 с.

8. Васильев М.П., Козлова Т.Н. Оптимизация транспортных потоков в условиях чрезвычайных ситуаций: монография. М.: Издательство АСУ, 2019. 234 с.
9. Грешилов А.А. Математические методы принятия решений: учеб. пособие. 2-изд., испр. и доп. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. 647 с.
10. Воскобойников Ю.Е. Решение инженерных задач в пакете MathCAD: учеб. пособие. Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2013. 120 с.
11. Шадрина Н.И. Берман Н.Д., Вихтенко Э.М. Решение задач оптимизации в Microsoft Excel 2010: учеб. пособие. Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2016. 101 с.

### References

1. Analiticheskij obzor «Opyt evakuacii naseleniya iz zon vooruzhennyh konfliktov». Centr strategicheskikh issledovanij, 2023. 89 s.
2. Doklad MCHS Rossii «Sovershenstvovanie sistemy grazhdanskoj oborony v sovremennyh usloviyah». M., 2023. 156 s.
3. Zajcev A.A. Issledovanie operacij v voennom dele: ucheb. posobie. SPb.: Voenizdat, 2021. 189 s.
4. Taha H.A. Vvedenie v issledovanie operacij: per. s angl. 10-e izd. M.: Vil'yams, 2020. 912 s.
5. Bol'shakova L.V. Matematika: kurs lekcij. SPb.: Izd-vo SPb un-ta MVD Rossii, 2011. CHast' 3. 142 s.
6. Plotnikov A.N., Sidorov V.K. Matematicheskie metody v upravlenii evakuaciej naseleniya pri chrezvychajnyh situacijah // Vestnik grazhdanskoj zashchity. 2020. № 4(15). S. 45–52.
7. SHapovalov D.I., Belova E.N. Prikladnye zadachi linejnogo programmirovaniya v upravlenii. M.: KNORUS, 2019. 215 s.
8. Vasil'ev M.P., Kozlova T.N. Optimizaciya transportnyh potokov v usloviyah chrezvychajnyh situacij: monografiya. M.: Izdatel'stvo ASU, 2019. 234 s.
9. Greshilov A.A. Matematicheskie metody prinyatiya reshenij: ucheb. posobie. 2-izd., ispr. i dop. M.: Izd-vo MGTU im. N.E. Baumana, 2014. 647 s.
10. Voskoboynikov YU.E. Reshenie inzhenernyh zadach v pakete MathCAD: ucheb. posobie. Novosibirsk: NGASU (Sibstrin), 2013. 120 s.
11. SHadrina N.I. Berman N.D., Vihtenko E.M. Reshenie zadach optimizacii v Microsoft Excel 2010: ucheb. posobie. Habarovsk: Izd-vo Tihookean. gos. un-ta, 2016. 101 s.

### Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 5.11.2025; одобрена после рецензирования: 20.01.2026; принята к публикации: 27.01.2026

### Information about the article:

The article was submitted to the editorial office: 5.11.2025; approved after review: 20.01.2026; accepted for publication: 27.01.2026

### Сведения об авторах:

**Латуга Анвер Сайядович**, старший сержант, заместитель командира 3 взвода 8 роты факультета военно-политической работы Военного ордена Жукова академии войск национальной гвардии Российской Федерации (198206, г. Санкт-Петербург, ул. Лётчика Пилютова, д. 1.), e-mail: latuga700@bk.ru

**Примакин Алексей Иванович**, профессор кафедры математических, естественнонаучных и общеприкладных дисциплин Военного ордена Жукова академии войск национальной гвардии Российской Федерации (198206, г. Санкт-Петербург, ул. Лётчика Пилютова, д. 1.), доктор технических наук, профессор, e-mail: a.primakin@mail.ru, SPIN-код: 2942-1541

### Information about the authors:

**Latuga Anver S.**, senior sergeant, deputy commander of the 3rd platoon of the 8th company of the faculty of military and political work Military order of Zhukov academy of the national guard troops of the Russian Federation (198206, St. Petersburg, Lletchika Pilyutova str., 1.), e-mail: latuga700@bk.ru

**Primakin Alexey I.**, professor of the department of mathematical, natural sciences and general applied disciplines Military order of Zhukov academy of the national guard troops of the Russian Federation (198206, St. Petersburg, 1, Letchika Pilyutova Street), Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: a.primakin@mail.ru, SPIN: 2942-1541