

УДК 004, 614.8
МРНТИ 81.93.21, 27.47.19

А. Б. Кусаинов, К. Ж. Раимбеков, М. М. Альменбаев, Д. Ж. Солтанбек

*Академия гражданской защиты имени Малика Габдуллина МЧС Республики
Казахстан, Кокшетау, Казахстан*

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГУМАНИТАРНОЙ ПОМОЩИ ПРИ ТРАНСГРАНИЧНЫХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

Аннотация. В данной статье рассматривается вопрос создания координационного центра на базе Центра по чрезвычайным ситуациям и снижению риска стихийных бедствий для оказания международной гуманитарной помощи пострадавшим странам при возникновении трансграничных чрезвычайных ситуациях в Центральной Азии. Предложена математическая модель рационального распределения гуманитарной помощи пострадавшему населению при трансграничных чрезвычайных ситуациях с учетом потребности.

Ключевые слова: международная гуманитарная помощь, трансграничная чрезвычайная ситуация.

В регионе Центральной Азии проживает более 75 миллионов человек. Географическое расположение Центральной Азии (ЦА) определяется резко континентальным климатом с малым количеством неравномерно распределенных осадков. В тоже время Центрально-Азиатский регион подвержен практически всем известным стихийным бедствиям и техногенным авариям (за малым исключением, таких как цунами, торнадо, извержения вулканов и некоторых других), многие из которых могут привести к трансграничным чрезвычайным ситуациям. Примером тому может послужить прорыв дамбы Сардобинского водохранилища в Республике Узбекистан в 2020 г., приведшего к затоплению обширных трансграничных территории республик Узбекистан и Казахстан [1].

При возникновении крупномасштабных и трансграничных чрезвычайных ситуаций необходимо оперативно оказывать всю стороннюю гуманитарную помощь, в том числе международную, пострадавшему населению в зоне бедствия.

Для оказания международной гуманитарной помощи странам ЦА необходимо создать соответствующий координационный центр на примере Координационного центра АСЕАН по гуманитарной помощи при управлении стихийными бедствиями (Центр АНА) и Координационного центра реагирования на чрезвычайные ситуации (ERCC) в рамках Механизма гражданской защиты ЕС, которые приняли на себя функции координации деятельности и задачи ключевых субъектов региона по реагированию на трансграничные чрезвычайные ситуации и оказания международной помощи пострадавшим странам. Данный координационный центр может быть создан на базе существующего Центра по чрезвычайным ситуациям и снижению риска стихийных бедствий (ЦЧССРБ) [2].

При возникновении трансграничных чрезвычайных ситуаций лицу, принимающему решение об оказании международной гуманитарной помощи, необходимо в кратчайшие сроки принять управленческое решение по распределению и доставке помощи в пострадавшие населенные пункты стран ЦА с минимальными

затратами. В этой связи предлагается с помощью метода математического программирования разработать математическую модель рационального распределения и доставки гуманитарной помощи при трансграничных чрезвычайных ситуациях из международного координационного центра [3].

При распределении международной гуманитарной помощи пострадавшим государствам, целевой функцией является минимизация затрат [3]:

$$\min Z = \sum_{i=1}^n K_i x_i \quad (1)$$

где K_i – приведенные затраты, учитывающие транспортные, временные и приоритетные характеристики;

x_i – объем гуманитарной помощи, направляемой в i – страну;

$i=1, \dots, n$ – зоны чрезвычайных ситуаций.

Приведенные затраты определяются по формуле:

$$K_i = ad_i + bt_i - cr_i \quad (2)$$

где d_i – расстояние доставки, км;

t_i – время доставки, ч;

r_i – приоритет i зоны чрезвычайной ситуации;

a, b, c – весовые коэффициенты.

Одной из основных сложностей при применении формулы (2) является выбор весовых коэффициентов a, b, c . Для исключения субъективности в данном исследовании применен метод анализа иерархий (МАИ) [4].

Из опыта оперативного реагирования при оказании гуманитарной помощи была сформирована матрица попарных сравнений критериев по 9-балльной шкале Саати [5]. В качестве приоритетов были выбраны: минимизация времени и максимальное соответствие степени угрозы (приоритетности региона).

Таблица 1 – Матрица попарных сравнений критериев

Критерий	Расстояние (a)	Время (b)	Приоритет (c)	Локальный вес (w)
Расстояние (a)	1	1/3	1/9	0,07
Время (b)	3	1	1/5	0,18
Приоритет (c)	9	5	1	0,75

Расчет индекса согласованности показал значение 0,026, что значительно меньше допустимого порога 0,1. Это подтверждает высокую логическую достоверность попарных сравнений.

Практическая апробация модели.

Рассмотрим сценарий распределения 180 тонн груза при общей потребности в 240 тонн. Для корректного учета весов МАИ применим нормированную формулу коэффициента K_i :

$$K_i = 0,07 \left(\frac{d_i}{d_{max}} \right) + 0,18 \left(\frac{t_i}{t_{max}} \right) - 0,75 \left(\frac{r_i}{r_{max}} \right) \quad (3)$$

Таблица 2 - Исходные данные для моделирования

Государство	d_i , км	t_i , ч	r_i	Потребность, тн
Казахстан	100	3	0,85	80
Кыргызстан	250	6	0,75	70
Узбекистан	450	10	0,95	90

По формуле 3 рассчитаем коэффициент K_i для пострадавших стран:

1) Казахстан:

$$K_1 = 0,07 \left(\frac{100}{450} \right) + 0,18 \left(\frac{3}{10} \right) - 0,75 \left(\frac{0,85}{0,95} \right) = -0,601$$

2) Кыргызстан:

$$K_2 = 0,07 \left(\frac{250}{450} \right) + 0,18 \left(\frac{6}{10} \right) - 0,75 \left(\frac{0,75}{0,95} \right) = -0,445$$

3) Узбекистан:

$$K_3 = 0,07 \left(\frac{450}{450} \right) + 0,18 \left(\frac{10}{10} \right) - 0,75 \left(\frac{0,95}{0,95} \right) = -0,500$$

Отрицательные значения K_i указывают на высокую эффективность направления ресурсов в данную точку.

Постановка задачи линейного программирования.

Мы минимизируем суммарные приведенные затраты на распределение помощи. Используя коэффициенты K_i , полученные методом МАИ, получим следующую целевую функцию:

$$\min Z = -0,601 \cdot x_1 - 0,445 \cdot x_2 - 0,500 \cdot x_3 \quad (4)$$

где x_1 - объем помощи для Казахстана; x_2 - для Кыргызстана; x_3 - для Узбекистана.

При следующих ограничениях:

$$x_1 + x_2 + x_3 \leq 180; x_1 \leq 80, x_2 \leq 70, x_3 \leq 90; 0 \leq x_i \leq 30; (i = 1, 2, 3) \quad (5)$$

Математическая модель распределения ресурсов представлена как задача линейного программирования с целевой функцией (4) и системой ограничений (5).

По результатам моделирования получим следующее распределение международной гуманитарной помощи координационным центром:

$x_1 = 80$ тн. (100 % потребности);

$x_2 = 30$ тн. (43 % потребности — минимальный стандарт);

$x_3 = 70$ тн. (77 % потребности).

Решение данной системы позволило найти оптимальный вектор распределения гуманитарной помощи $X = \{80, 30, 70\}$. При данном плане целевая функция достигает своего минимума, обеспечивая максимальную гуманитарную эффективность при соблюдении минимальных стандартов безопасности для всех участников [6].

Заключение. Применение метода анализа иерархий позволило формализовать процесс принятия решений и доказать, что в условиях дефицита ресурсов приоритет должен отдаваться не только территориально близким зонам, но и регионам с наихудшими последствиями. Таким образом, математическая модель обоснованно

перераспределяет ресурсы в пользу регионов с критической ситуацией, даже если логистические затраты (время и расстояние) на этих маршрутах выше.

Предложенная модель может быть интегрирована в программное обеспечение региональных координационных центров для автоматизации логистических расчетов при трансграничных чрезвычайных ситуациях [7].

Список литературы

1. Концепция комплексного подхода по управлению рисками трансграничных бедствий с учетом климатических изменений. [Электронный ресурс] // URL: https://cesdrr.org/uploads/docs/2024/02/Концепция_комплексного%20управления_РБ.pdf (дата обращения: 04.02.2026).
2. Центр по чрезвычайным ситуациям и снижению риска стихийных бедствий [Электронный ресурс] // URL: <https://cesdrr.org/> (дата обращения: 10.02.2026).
3. Юдин, Д.Б. Линейное программирование. Теория, методы и приложения / Д.Б. Юдин, Е.Г. Гольштейн. – М.: Красанд, 2012. – 428 с.
4. Саати Т.Л. Метод анализа иерархий. – Нью-Йорк: Макгроу-Хилл, 1980.
5. Малышева А.К., Абдуллаева А.М. Выбор оптимального программного продукта для календарного планирования стратегии развития компании // Вестник кибернетики. – 2024. – № 1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vybor-optimalnogo-programmnogo-produkta-dlya-kalendarnogoplanirovaniya-strategii-razvitiya-kompanii> (дата обращения: 05.04.2026).
6. Решение задач линейного программирования в Microsoft Excel: методические указания. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2023.
7. Кусаинов А.Б. Практические аспекты принятия управленческих решений в гражданской защите математическим методом: учебное пособие. – Кокшетау: Академия гражданской защиты им. М. Габдуллина МЧС Республики Казахстан, 2025. – 112 с.

References

1. Konceptsiya kompleksnogo podhoda po upravleniyu riskami transgranichnyh bedstvij s uchetom klimaticheskikh izmenenij. [Elektronnyj resurs] // URL: https://cesdrr.org/uploads/docs/2024/02/Konceptsiya_kompleksnogo%20upravleniya_RB.pdf (data obrashcheniya: 04.02.2026).
2. Centr po chrezvychajnym situacijam i snizheniyu riska stihijnyh bedstvij [Elektronnyj resurs] // URL: <https://cesdrr.org/> (data obrashcheniya: 10.02.2026).
3. Yudin, D.B. Linejnoe programmirovaniye. Teoriya, metody i prilozheniya / D.B. Yudin, E.G. Gol'shtejn. - M.: Krasand, 2012. - 428 s.
4. Saati T.L. Metod analiza ierarhij. - N'yu-Jork: Makgrou-Hill, 1980.
5. Malysheva A.K., Abdullaeva A.M. Vybora optimal'nogo programmnogo produkta dlya kalendarnogo planirovaniya strategii razvitiya kompanii // Vestnik kibernetiki. – 2024. – № 1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vybor-optimalnogo-programmnogo-produkta-dlya-kalendarnogoplanirovaniya-strategii-razvitiya-kompanii> (data obrashcheniya: 05.04.2026).
6. Reshenie zadach linejnogo programmirovaniya v Microsoft Excel: Metodicheskie ukazaniya. – M.: MGTU im. N. E. Bauman, 2023.
7. Kussainov A.B. Prakticheskie aspekty prinyatiya upravlencheskih reshenij v grazhdanskoj zashchite matematicheskim metodom: Uchebnoe posobie. – Kokshetau: Akademiya grazhdanskoj zashchity im. M. Gabdullina MChS Respubliki Kazahstan, 2025. – 112 s.

А. Б. Құсайынов, К. Ж. Раимбеков, М. М. Әлменбаев, Д. Ж. Солтанбек

*Қазақстан Республикасы ТЖМ Мәлік Ғабдуллин атындағы Азаматтық қорғау академиясы,
Көкшетау, Қазақстан*

ТРАНСШЕКАРАЛЫҚ ТӨТЕНШЕ ЖАҒДАЙЛАР КЕЗІНДЕ ГУМАНИТАРЛЫҚ КӨМЕКТІ БӨЛҮДІҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛІ

Андатпа. Бұл мақалада Орталық Азиядағы трансшекаралық төтенше жағдайлар туындаған кезде зардап шеккен елдерге халықаралық гуманитарлық көмекті көрсету үшін Төтенше жағдайлар және табиғи апаттар тәуекелін азайту орталығы базасында үйлестіру орталығын құру мәселесі қарастырылады. Трансшекаралық төтенше жағдайлар кезінде зардап шеккен халыққа гуманитарлық көмекті қажеттілікті ескере отырып ұтымды бөлуге арналған математикалық модель ұсынылған.

Түйінді сөздер: халықаралық гуманитарлық көмек, трансшекаралық төтенше жағдай.

A. B. Kussainov, K. Zh. Raimbekov, M. M. Almenbaev, D. Zh. Soltanbek

*Civil Defence Academy named after Malik Gabdullin MES of the Republik of Kazakhstan,
Kokshetau, Kazakhstan*

MATHEMATICAL MODEL FOR THE DISTRIBUTION OF HUMANITARIAN AID IN TRANSBOUNDARY EMERGENCY SITUATIONS

Abstract. This article examines the establishment of a coordination center based on the Center for Emergency Situations and Disaster Risk Reduction to provide international humanitarian assistance to affected countries in the event of transboundary emergencies in Central Asia. A mathematical model is proposed for the rational distribution of humanitarian aid to affected populations during transboundary emergency situations, taking into account their needs.

Keywords: international humanitarian assistance, transboundary emergency situation.

Сведения об авторах / Information about the authors

Қусаинов Арман Булатович – кандидат технических наук, ассоциированный профессор (доцент), начальник факультета дистанционного обучения Академии гражданской защиты имени Малика Габдуллина МЧС Республики Казахстан, Кокшетау, Казахстан. E-mail: arman_1703@mail.ru

Раимбеков Кендебай Жанабилевич – кандидат физико-математических наук, ассоциированный профессор (доцент), доцент кафедры общетехнических дисциплин, информационных систем и технологий Академии гражданской защиты имени Малика Габдуллина МЧС Республики Казахстан, Кокшетау, Казахстан. E-mail: kendeбай_63@mail.ru

Альменбаев Миржан Маратович – кандидат технических наук, ассоциированный профессор (доцент), заместитель начальника Академии гражданской защиты имени Малика Габдуллина МЧС Республики Казахстан по научной работе, Кокшетау, Казахстан. E-mail: make_kz1986@mail.ru

Солтанбек Диас Жұмабекұлы – преподаватель-методист факультета дистанционного обучения Академии гражданской защиты им. Малика Габдуллина МЧС Республики Казахстан, Кокшетау, Казахстан. E-mail: Diassultanbekov@mail.ru

Arman B. Kussainov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Faculty of Distance Learning of the Malik Gabdullin Academy of Civil Protection of the MES of the Republic of Kazakhstan. Kokshetau, Kazakhstan. E-mail: arman_1703@mail.ru

Kendebai Zh. Raimbekov – candidate of physico-mathematical sciences, Associate Professor of the Department of General Technical Disciplines, Information Systems and Technologies of the Malik Gabdullin Academy of Civil Protection of the MES of the Republic of Kazakhstan, Kokshetau, Kazakhstan. E-mail: kendebai_63@mail.ru

Mirzhan M. Almenbayev – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor (docent), Deputy Head of the Malik Gabdullin Academy of Civil Protection of the MES of the Republic of Kazakhstan for scientific work, Kokshetau, Kazakhstan. E-mail: make_kz1986@mail.ru

Dias Zh. Soltanbek – teacher-methodologist of the Faculty of Distance Learning of the Malik Gabdullin Academy of Civil Protection of the MES of the Republic of Kazakhstan. Kokshetau, Kazakhstan. E-mail: Diassultanbekov@mail.ru