

УДК 519.8: 004.6: 004.9

DOI 10.36910/10.36910/6775-2313-5352-2025-27-28

Шишковський С. О., Гуменюк Л. О.

Луцький національний технічний університет

МЕТОДИ ТА МОДЕЛІ РОЗПОДІЛУ ТА МАРШРУТИЗАЦІЇ ВОЛОНТЕРІВ ПІД ЧАС КАТАСТРОФ

У роботі проведено аналіз існуючих методів та моделей, що застосовуються для розподілу та маршрутизації волонтерів під час ліквідації наслідків катастроф. Огляд літератури підтвердив важливість волонтерів як ресурсу для підсилення спроможностей офіційних служб реагування та показав логістичні виклики, пов'язані з їх ефективною інтеграцією, особливо у випадку спонтанних волонтерів. Управління волонтерськими ресурсами базується на різних підходах, що враховують як ефективність, так і людський фактор. Аналіз показав, що сучасні моделі прагнуть враховувати широкий спектр факторів, включаючи компетентності та вподобання волонтерів, пріоритетність потреб постраждалих, специфіку завдань, часові та геопросторові обмеження, логістику, динамічність ситуації, невизначеність та ризики. Огляд методів та моделей демонструє інтерес до розробки інструментів для оптимізації управління волонтерами. Виявлено тенденцію до інтеграції різних підходів, врахування невизначеності та динаміку кризових ситуацій. Результати цього аналізу створюють теоретичну основу для розробки алгоритмів та функціоналу автоматизованої системи розподілу та маршрутизації волонтерів.

Ключові слова: маршрутизація волонтерів, моделювання, оптимізація, візуалізація.

Постановка проблеми. Управління наслідками катастроф та надання гуманітарної допомоги є складним і багатогранним завданням, у якому волонтери відіграють надзвичайно важливу роль. Їхня здатність швидко мобілізуватися та надавати різноманітну підтримку, від спеціалізованої допомоги до виконання простих завдань, робить їх безцінним ресурсом у кризових ситуаціях. Волонтери здатні забезпечити значне збільшення потенціалу реагування, яке не завжди можуть забезпечити лише офіційні служби. Вони можуть виконувати широкий спектр завдань, полегшуючи навантаження на персонал служб надзвичайних ситуацій та дозволяючи їм зосередитися на більш спеціалізованих видах діяльності [1].

У зв'язку зі зростаючою частотою та інтенсивністю масштабних катастроф, зростає і науковий інтерес до оптимізації управління волонтерами. Більша кількість катастроф призводить до більшої потреби в ефективному реагуванні, що, у свою чергу, підкреслює велику роль волонтерів.

Хоча волонтери визнаються цінним ресурсом, їхня ефективна інтеграція створює значні логістичні проблеми, які іноді називають «катастрофою всередині катастрофи» [2].

Волонтери можуть бути спонтанними або зареєстрованими. Спонтанні волонтери, як правило, допомагають без офіційної реєстрації, діючи ситуативно в кризових ситуаціях. Хоча вони можуть не мати офіційного статусу, їхня допомога часто є надзвичайно цінною. З іншого боку, зареєстровані волонтери оформлюються через офіційні організації (благодійні фонди, волонтерські центри), що дає їм доступ до інструкцій, ресурсів та підтримки.

Основні відмінності між спонтанними та зареєстрованими волонтерами полягають у їхній організації, підтримці та відповідальності. Зареєстровані волонтери діють у системному порядку, що дозволяє ефективно інтегрувати їх у робочі процеси, тоді як спонтанні волонтери зазвичай залучаються ситуативно, залежно від нагальної потреби.

Офіційно зареєстровані волонтери мають доступ до необхідних ресурсів, таких як харчування, засоби захисту та інші матеріали, що підвищує їхню ефективність. Спонтанні волонтери ж часто не мають такої підтримки. Крім того, зареєстровані волонтери мають чітко визначені обов'язки та проходять інструктаж, що дозволяє їм діяти більш злагоджено і в рамках організованих заходів, в той час як спонтанні волонтери не завжди мають таку підготовку.

Зростання техногенних аварій через зміни клімату, старіння інфраструктури та недостатнє дотримання стандартів безпеки продемонструвало високий рівень уразливості сучасних інфраструктур та важливість ефективного реагування на надзвичайні ситуації. У цьому контексті особливо актуальним стає питання організації системи розподілу та маршрутизації волонтерів під час катастроф NaTech (техногенно-природних катастроф).

Метою роботи є аналіз існуючих методів та моделей, що застосовуються для розподілу та маршрутизації волонтерів під час ліквідації наслідків катастроф для подальшої розробки автоматизованої системи розподілу та маршрутизації волонтерів, здатної ефективно функціонувати в умовах катастроф типу *NaTech*, шляхом поєднання алгоритмічних, просторових і логістичних рішень для підтримки оперативного реагування на надзвичайні ситуації у міському середовищі.

Аналіз досліджень і публікацій. Для оптимізації розподілу та маршрутизації волонтерів під час катастроф використовується широкий спектр моделей та методів. Основні категорії включають:

- 1) оптимізаційні моделі,
- 2) моделі черг,
- 3) агентно-орієнтовані симуляції (АОС),
- 4) моделі та методи прийняття рішень.

1. Оптимізаційні моделі спрямовані на пошук найкращого можливого рішення для розподілу волонтерів з урахуванням певних обмежень та цілей. Оптимізаційні моделі можна поділити на:

- моделі лінійного та цілочисельного програмування,
- багатокритеріальні моделі оптимізації,
- моделі робастної оптимізації.

Моделювання задач призначення волонтерів на завдання під час ліквідації наслідків катастроф часто базується на лінійному та цілочисельному програмуванні, що дозволяє оптимізувати розподіл ресурсів за визначеними критеріями.

У [3] запропоновано модель для підвищення продуктивності та утримання волонтерів, враховуючи змінні потреби постраждалих і розвиток навичок волонтерів. Автори [4] розробили модель цілочисельного програмування для оптимального розподілу завдань між волонтерами та працівниками неприбуткових організацій, акцентуючи на задоволеності волонтерів, що є критичним для їхнього утримання. В роботі [5] розроблено модель для призначення рятувальників в різні райони катастроф з урахуванням їхніх кваліфікацій та уподобань, що дозволяє ефективно розподіляти ресурси в різних зонах. Ряд інших моделей розглядають оптимізацію початкового розподілу як професійних рятувальників, так і волонтерів під час катастроф, що дозволяє забезпечити ефективне реагування на надзвичайні ситуації. Також пропонується зосередитися на попередньому розподілі завдань для мінімізації часу реагування, що є критично важливим у кризових умовах [5-6].

Перевага цих моделей полягає в здатності знаходити оптимальні рішення для чітко визначених проблем. Однак вони можуть бути складними для розв'язання в масштабних ситуаціях і не завжди враховують динаміку змін.

У [7] запропоновано багатокритеріальну модель оптимізації для управління волонтерами в гуманітарних організаціях, яка враховує переваги волонтерів та вимоги до завдань, забезпечуючи баланс між ефективністю виконання завдань і збереженням волонтерів. Для підвищення ефективності застосовано нечітку логіку (*fuzzy logic*). Модель враховує компроміси між потенційно конфліктуючими цілями, такими як ефективність виконання завдань і задоволеність волонтерів. Автори [1] розробили модель багатоцільової оптимізації для координації волонтерів у динамічному й невизначеному середовищі, спрямовану на одночасну оптимізацію кількох цілей в умовах катастроф. В [8] автори використали багатокритеріальну оптимізацію з нечіткими системами виводу для покращення управління волонтерами після катастроф, акцентуючи на обробці невизначеності через нечітку логіку.

Розробка таких моделей демонструє, що реагування на катастрофи передбачає збалансування різних важливих факторів, при цьому враховується мінімізація незадоволених потреб, максимізація задоволеності волонтерів та забезпечення справедливості. Використання нечіткої логіки підкреслює наявність невизначеності в управлінні волонтерами, зокрема в контексті суб'єктивних переваг та неточних вимог до завдань.

Модель на основі стійкої оптимізації [9] призначена для динамічного управління волонтерами під час гуманітарних криз, мінімізуючи невиконані завдання з урахуванням переваг та навичок волонтерів в умовах змін. Ця модель явно враховувала невизначеність у вимогах до завдань, використовуючи підхід робастної оптимізації.

В роботі [10] автори застосували теорію Демпстера–Шафера для оптимального призначення рятувальників за невизначеності. Це дослідження використовувало теорію Демпстера-Шафера для обробки невизначеності при призначенні рятувальників.

Катастрофи завжди пов'язані з невизначеністю – змінюється попит на допомогу та кількість доступних волонтерів. Робастна оптимізація допомагає знайти рішення, які залишаються ефективними навіть у складних і нестабільних умовах.

2. Моделі черг використовуються для аналізу систем, де об'єкти (у цьому випадку волонтери) прибувають випадковим чином і потребують обслуговування (призначення завдань).

Автори [11] змоделивали ситуацію, коли спонтанні волонтери приходять у різний час і в різній кількості, як багатоканальну систему черг. У такій системі волонтери прибувають випадково, можуть не дочекатися призначення і піти (тобто «відмовитися»). Для оцінки варіантів розподілу вони використали марковські процеси прийняття рішень – математичний інструмент, який дозволяє вибрати найкращу стратегію, враховуючи випадкові зміни у середовищі. Модель дозволяє зрозуміти, як зміна політики розподілу (наприклад, кого призначати першим) впливає на загальну ефективність.

В роботі [12] розроблено схожу модель черг, де також застосовуються марковські процеси, але додатково використовуються комп'ютерні симуляції. Це дозволило протестувати різні стратегії у змодельованих умовах катастроф, де ситуація постійно змінюється. Основна мета – знайти способи швидко приймати, перевіряти та ефективно призначати спонтанних волонтерів на відповідні завдання.

Автори [13] також використали модель черг, орієнтовану на роботу в умовах невизначеності. Вони застосували марковські моделі для вирішення проблем призначення волонтерів, коли точно невідомо, скільки волонтерів надійде і які завдання будуть доступні. Це дозволило аналізувати ситуації, коли є обмежені ресурси та необхідно приймати рішення на основі неповної інформації.

Загалом, усі три дослідження трактують управління спонтанними волонтерами як задачу потоків: волонтери надходять у систему, можливо чекають, і врешті – обслуговуються (призначаються на завдання). Теорія черг дозволяє оцінювати ключові показники – тривалість очікування, довжину черги, завантаженість координаторів.

3. Агентно-орієнтовані симуляції (АОС) використовуються для моделювання поведінки окремих волонтерів і їхньої взаємодії в умовах катастроф. У [14] застосували АОС для оцінки евристичних стратегій призначення спонтанних волонтерів у центрах допомоги з метою зменшення часу перебування як волонтерів, так і отримувачів допомоги. Автори [15] використали АОС для аналізу управління впливом волонтерів і формування стратегічних рішень у режимі невизначеності. Автори [16] створили децентралізовану модель рекомендацій завдань для волонтерів на основі їхніх переваг, що відповідає принципам АОС.

Використання таких симуляцій дозволяє враховувати індивідуальні особливості, мотивації та поведінкові правила волонтерів. Це розширює розуміння не лише механічного розподілу завдань, як у класичних моделях, а й соціальної динаміки участі у волонтерстві. АОС дає змогу дослідити причини залучення волонтерів, особливості їхніх рішень, а також наслідки різних управлінських стратегій, що робить цей підхід особливо цінним для покращення комунікації, залучення та утримання волонтерів у кризових умовах.

4. Моделі та методи прийняття рішень включають різні підходи, які допомагають особам, що приймають рішення, ефективно розподіляти та спрямовувати волонтерів.

Евристичний підхід. Знання того, що прості евристики можуть працювати порівняно з складними оптимальними стратегіями, має важливі практичні наслідки для управління надзвичайними ситуаціями. Це свідчить про те, що організації з обмеженими ресурсами можуть не завжди потребувати впровадження складних моделей для досягнення хороших результатів. Хоча оптимізаційні моделі можуть забезпечити теоретично оптимальні рішення, вони часто вимагають значних даних та обчислювальних ресурсів. Той факт, що прості правила можуть бути майже такими ж ефективними, робить управління волонтерами більш доступним та практичним для організацій з обмеженими можливостями [13, 17].

Двосторонні моделі відповідності. Двосторонні моделі відповідності враховують переваги як волонтерів, так і координаторів завдань, щоб забезпечити ефективне та взаємовигідне призначення. Вони дозволяють працювати навіть за неповної або неточної інформації.

Окремі підходи також враховують емоційні аспекти, як-от радість і розчарування волонтерів, або поєднують сучасні методи оптимізації (наприклад, DEA, диференціальну

еволюцію, EBRB) для підвищення точності призначень. Загалом цей напрямок відображає зсув до більш людоцентричного управління волонтерами – з урахуванням їх мотивацій, очікувань і задоволеності [18-19].

Викладення основного матеріалу. Різноманітні моделі [1-19], що застосовуються в контексті розподілу та маршрутизації волонтерів, характеризуються комплексним врахуванням широкого спектра факторів. Зокрема, моделі систематично враховують компетентності та кваліфікації волонтерів з метою оптимізації виконання завдань та підвищення ймовірності успішного досягнення поставлених цілей, що також сприяє підвищенню рівня задоволеності та утримання волонтерського корпусу. Крім того, важливим елементом є врахування індивідуальних умінь та часової доступності волонтерів для забезпечення високого рівня мотивації та залученості, прагнучи до узгодження особистих схильностей з актуальними потребами.

Центральним аспектом багатьох моделей є пріоритетність потреб постраждалого населення та специфіка завдань, орієнтуючись на задоволення найнагальніших потреб осіб, які постраждали внаслідок кризової ситуації, шляхом пріоритетизації завдань на основі оцінки їхньої критичності.

Управління волонтерськими ресурсами часто відбувається в умовах часових обмежень, що зумовлює необхідність їхнього врахування в моделях, а динамічний характер катастроф вимагає від моделей здатності до адаптації у відповідь на зміни в умовах та потребах.

Моделювання процесів розподілу волонтерів повинно враховувати притаманну кризовим ситуаціям невизначеність щодо кількості доступних волонтерів, їхніх компетенцій та еволюціонуючих потреб, а також розглядати потенційні ризики, пов'язані з виконанням завдань у зоні катастрофи.

Оптимізація розподілу та маршрутизації волонтерів передбачає аналіз геопросторових характеристик та логістики переміщення, включаючи географічне розташування волонтерів, місць виконання завдань та транспортної інфраструктури, де мінімізація часу на пересування є критично важливим фактором.

Спонтанні волонтери є учасниками реагування на надзвичайні ситуації без попередньої підготовки чи організаційної приналежності. Проте їхня непередбачуваність щодо прибуття, різноманітність навичок та відсутність попередньої координації створюють значні управлінські виклики. Це потребує спеціалізованих моделей розподілу та маршрутизації для ефективного використання цього ресурсу.

Для оптимізації процесу призначення волонтерів у ситуаціях обмежених ресурсів та високої динаміки потреб використовуються моделі черг, тоді як агентно-орієнтоване моделювання дозволяє імітувати поведінку волонтерів у динамічному середовищі для тестування різних стратегій управління. Моделі рекомендацій надають волонтерам можливість самостійно обирати завдання відповідно до їхніх навичок та інтересів, що сприяє підвищенню ефективності та мотивації. У складних умовах, де необхідно балансувати між різними потребами організацій та можливостями волонтерів у змінному середовищі, застосовується багатоцільова оптимізація.

Існують різні стратегії для залучення та призначення завдань спонтанним волонтерам.

Централізоване адміністрування передбачає створення єдиної системи координації для зменшення хаосу та затримок у розподілі завдань. Волонтерські центри прийому забезпечують місце для реєстрації, навчання та інструктажу, що дозволяє ефективніше зіставляти навички волонтерів з наявними потребами.

Використання технологій, таких як SMS-розсилки, мобільні додатки та онлайн-платформи, спрощує комунікацію та процес розподілу завдань.

В умовах обмеженого часу можуть бути ефективними евристичні методи розподілу, що базуються на простих правилах, наприклад, призначення найближчого доступного волонтера. Крім того, гнучкі рекомендаційні системи, які пропонують завдання замість прямого призначення, сприяють самостійності волонтерів та покращують їхню мотивацію.

Реагування на катастрофи є не статичним процесом, а розвивається з часом, оскільки потреби змінюються, а наявність волонтерів коливається. Це зумовлює необхідність використання моделей, які можуть адаптуватися до цих мінливих обставин.

Динамічне управління волонтерами передбачає застосування методів, що враховують змінність потреб і характеристик учасників процесу. Розроблені моделі оптимізації дозволяють

ефективно спрямовувати волонтерів на завдання, враховуючи їхні навички та ймовірність виконання завдань.

У непередбачуваних умовах надзвичайних ситуацій особливо важливо мати рішення, стійкі до невизначеності. Прогнозування потреб у волонтерах ґрунтується на аналізі історичних даних із застосуванням машинного навчання. Такі підходи дозволяють заздалегідь оцінити обсяги необхідної допомоги, спираючись на досвід попередніх катастроф, що сприяє більш ефективній підготовці та розподілу ресурсів.

Адаптація до змін у ході реагування включає оновлення розкладів, перепризначення завдань і повторну оцінку ресурсів. Стійкі моделі забезпечують збереження ефективності навіть у разі суттєвих відхилень від початкових умов, дозволяючи системі реагування залишатися гнучкою та стійкою.

Узагальнюючи, сучасні підходи до управління волонтерами в умовах катастроф базуються на трьох ключових принципах: динамічності, прогнозуванні та стійкості. Це забезпечує ефективність реагування навіть в умовах високої невизначеності та обмежених ресурсів.

Висновки. Проведено аналіз існуючих методів та моделей, що застосовуються для розподілу та маршрутизації волонтерів під час ліквідації наслідків катастроф. Огляд літератури підтвердив важливість волонтерів як ресурсу для підсилення спроможностей офіційних служб реагування та показав логістичні виклики, пов'язані з їх ефективною інтеграцією, особливо у випадку спонтанних волонтерів. Управління волонтерськими ресурсами базується на різних підходах, що враховують як ефективність, так і людський фактор. Аналіз показав, що сучасні моделі прагнуть враховувати широкий спектр факторів, включаючи компетентності та вподобання волонтерів, пріоритетність потреб постраждалих, специфіку завдань, часові та геопросторові обмеження, логістику, динамічність ситуації, невизначеність та ризики. Огляд методів та моделей демонструє інтерес до розробки інструментів для оптимізації управління волонтерами. Виявлено тенденцію до інтеграції різних підходів, врахування невизначеності та динаміку кризових ситуацій. Результати цього аналізу створюють теоретичну основу для розробки алгоритмів та функціоналу автоматизованої системи розподілу та маршрутизації волонтерів.

Інформаційні джерела

1. Sperling M., Schryen G. Decision support for disaster relief: coordinating spontaneous volunteers. *Eur J Oper Res.* 2022. № 299 (2). P. 690-705.
2. Wang Q., Reed A., Nie X. Joint initial dispatching of official responders and registered volunteers during catastrophic mass-casualty incidents. *Transport Res Part E: Log Transport Rev.* 2022. № 159. URL: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2022.102648> (дата звернення: 10.04.2025).
3. Improving volunteer productivity and retention during humanitarian relief efforts. URL: https://www.researchgate.net/publication/261803944_Improving_Volunteer_Productivity_and_Retention_during_Humanitarian_Relief_Efforts (дата звернення: 17.08.2025).
4. Optimization of volunteer task assignments to improve volunteer retention and nonprofit organizational performance. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038012122001872> (дата звернення: 17.08.2025).
5. A model for assignment of rescuers considering multiple disaster areas. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212420919300603?via%3Dihub> (дата звернення: 17.08.2025).
6. Modeling uncertain task compliance in dispatch of volunteers to out-of-hospital cardiac arrest patients. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360835221004198?via%3Dihub> (дата звернення: 17.08.2025).
7. An optimization model for volunteer assignments in humanitarian organizations. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038012112000353?via%3Dihub> (дата звернення: 17.08.2025).
8. Rabiei P., Arias-Aranda D., Stantchev V. Introducing a novel multi-objective optimization model for volunteer assignment in the post-disaster phase: combining fuzzy inference systems with nsga-ii and nrga. *Expert Syst Appl.* 2023. № 226. URL: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.120142> (дата звернення: 10.04.2025).
9. A robust optimization approach to volunteer management in humanitarian crises. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925527315000523?via%3Dihub> (дата звернення: 17.08.2025).

10. Fei L., Wang Y. An optimization model for rescuer assignments under an uncertain environment by using Dempster–Shafer theory. *KB Syst.* 2022. № 255. URL: <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2022.109680> (дата звернення: 10.04.2025).
11. The optimal assignment of spontaneous volunteers. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1057/s41274-017-0219-2> (дата звернення: 17.08.2025).
12. Optimal control of parallel queues for managing volunteer convergence. URL: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1111/poms.13224> (дата звернення: 17.08.2025).
13. Assigning spontaneous volunteers to relief efforts under uncertainty in task demand and volunteer availability. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0305048319300611?via%3Dihub> (дата звернення: 17.08.2025).
14. Managing volunteer convergence at disaster relief centers. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925527319301999?via%3Dihub> (дата звернення: 17.08.2025).
15. Paret K., Rodriguez S. A., Mayorga M. E., Velotti L., Lodree E. J. Agent-based simulation of spontaneous volunteer convergence to improve disaster planning. *Nat Hazards Rev.* 2023. Vol. 24, No. 2. URL: <https://doi.org/10.1061/NHREFO.NHENG-1659> (дата звернення: 10.04.2025).
16. Schmidt A., Albert L. Task recommendations for self-assigning spontaneous volunteers. *Comput Ind Eng.* 2022. № 163. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107798> (дата звернення: 10.04.2025).
17. Modeling uncertain task compliance in dispatch of volunteers to out-of-hospital cardiac arrest patients. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360835221004198?via%3Dihub> (дата звернення: 17.08.2025).
18. Two-sided matching model for assigning volunteer teams to relief tasks in the absence of sufficient information. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950705121007577?via%3Dihub> (дата звернення: 17.08.2025).
19. Volunteer multi-person multi-task optimization dispatch method considering two-sided matching. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00500-022-06784-8> (дата звернення: 17.08.2025).

Shishkovsky S., Gumeniuk L.

Lutsk national technical university, Lutsk, Ukraine

METHODS AND MODELS FOR DISTRIBUTING AND ROUTING VOLUNTEERS DURING DISASTERS

The paper analyzes existing methods and models used for the distribution and routing of volunteers during disaster response. A review of the literature confirmed the importance of volunteers as a resource for strengthening the capabilities of official response services and highlighted the logistical challenges associated with their effective integration, especially in the case of spontaneous volunteers. Volunteer resource management is based on various approaches that take into account both efficiency and the human factor. The analysis showed that modern models seek to take into account a wide range of factors, including the competencies and preferences of volunteers, the priority of victims' needs, the specifics of tasks, time and geospatial constraints, logistics, the dynamic nature of the situation, uncertainty, and risks. A review of methods and models demonstrates an interest in developing tools to optimize volunteer management. A trend toward integrating different approaches, taking into account uncertainty and the dynamics of crisis situations, has been identified. The results of this analysis provide a theoretical basis for the development of algorithms and functionality for an automated volunteer distribution and routing system.

Keywords: *volunteer routing, modeling, optimization, visualization.*

Дата першого надходження
статті до видання
18.11.2025 р

Дата прийняття статті
до друку
14.12.2025 р.

Дата
оприлюднення
25.12.2025 р