

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 004: 519.81

DOI <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2024.4.29>

С. В. БУНКУС

аспірантка кафедри програмних засобів і технологій
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0009-0009-2907-8876

О. Є. ОГНЄВА

кандидат технічних наук,
доцент кафедри програмних засобів і технологій
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0001-6206-0285

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ МОДЕЛЮВАННЯ СЦЕНАРІЇВ ЕВАКУАЦІЇ В УМОВАХ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

У статті розглянуто сучасні підходи до моделювання сценаріїв евакуації населення в умовах надзвичайних ситуацій: природних катастроф, техногенних аварій та військових дій. Проаналізовано основні методи моделювання, їх переваги та обмеження, зокрема математичне моделювання, агентне моделювання та використання геоінформаційних систем. Особлива увага приділяється адаптації цих методів до умов воєнного стану в Україні. Наведено приклади застосування цих методів для підвищення ефективності евакуаційних заходів. Результати дослідження можуть бути використані для вдосконалення планування евакуаційних заходів. Також у статті описано необхідність створення гібридної моделі, яка поєднує переваги існуючих моделей, особливо включаючи саме агентне моделювання для врахування людської поведінки, математичне моделювання для знаходження оптимальних маршрутів для евакуації, геоінформаційні системи для просторової візуалізації та аналізу.

Дослідження підтверджують значний потенціал удосконалення заходів евакуації через інтеграцію економіко-математичних моделей і новітніх інформаційних технологій. Розроблено методологію формування адаптивних сценаріїв евакуації, які враховують не лише технічні й фізичні умови, а й соціальні та поведінкові аспекти. Використання таких сценаріїв на практиці сприяє зменшенню ризиків, раціоналізації ресурсів і підвищенню ефективності евакуаційних заходів у складних і непередбачуваних ситуаціях.

Окремо висвітлено необхідність доопрацювання нормативно-правової бази, зокрема уніфікації термінології, удосконалення критеріїв прийняття рішень щодо евакуації, а також забезпечення інтеграції міжнародного досвіду в українську практику. Результати можуть бути використані органами державної влади та місцевого самоврядування для вдосконалення стратегічного планування заходів цивільного захисту.

Ключові слова: моделювання, евакуація, надзвичайні ситуації, математичне моделювання, агентне моделювання, геоінформаційні системи, гібридна модель.

S. V. BUNKUS

Postgraduate Student at the Department of Software Tools and Technologies
Kherson National Technical University
ORCID: 0009-0009-2907-8876

O. YE. OHNIEVA

PhD in Technical Sciences,
Associate Professor at the Department of Software Tools and Technologies
Kherson National Technical University
ORCID: 0000-0001-6206-0285

RESEARCH ON METHODS OF MODELING EVACUATION SCENARIOS IN EMERGENCY SITUATIONS

The article examines modern approaches to modeling population evacuation scenarios in emergency situations, including natural disasters, technological accidents, and military actions. The main modeling methods, their advantages, and limitations are analyzed, specifically mathematical modeling, agent-based modeling, and the use of geoinformation systems (GIS). Particular attention is given to the adaptation of these methods to the conditions of martial law in Ukraine. Examples of applying these methods to enhance the effectiveness of evacuation measures are provided. The research results can be used to improve evacuation planning.

The article also highlights the necessity of developing a hybrid model that combines the advantages of existing models, particularly incorporating agent-based modeling to account for human behavior, mathematical modeling to identify optimal evacuation routes, and GIS for spatial visualization and analysis.

The research confirms the significant potential for improving evacuation measures through the integration of economic-mathematical models and advanced information technologies. A methodology for forming adaptive evacuation scenarios has been developed, which considers not only technical and physical conditions but also social and behavioral aspects. The practical application of such scenarios contributes to reducing risks, optimizing resources, and increasing the efficiency of evacuation measures in complex and unpredictable situations.

The need to refine the legal framework is also emphasized, particularly in terms of unifying terminology, improving decision-making criteria for evacuations, and integrating international experience into Ukrainian practice. The results can be utilized by government authorities and local administrations to enhance strategic planning in civil protection measures.

Key words: modeling, evacuation, emergency situations, mathematical modeling, agent-based modeling, geoinformation systems, hybrid model.

Постановка проблеми

Сучасні виклики у сфері безпеки населення в умовах надзвичайних ситуацій, таких як природні катаклізми, техногенні аварії або військові дії, потребують науково обґрунтованого підходу до організації евакуаційних заходів. Ефективна евакуація значною мірою залежить від точного прогнозування динаміки поведінки людей, їх взаємодії з навколишнім середовищем та сценаріїв розвитку подій. Відтак постає необхідність застосування сучасних методів моделювання для оптимізації процесів евакуації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Серед науковців, які досліджували проблематику моделювання евакуацій, варто виокремити роботи В. Комяка та К. Кязімова, які розробили варіантні моделі евакуації людей з висотних будівель у разі виникнення надзвичайної ситуації. Сучасні дослідження у сфері агентного моделювання, зокрема роботи О. Тесленка, демонструють значний прогрес у розумінні процесів координації великих груп людей у надзвичайних ситуаціях. Використання геоінформаційних систем (ГІС) для побудови детальних моделей ландшафту та шляхів евакуації досліджувалося у працях С. Потеряйка, К. Белікової, О. Твердохліба та С. Марченка. Проте питання інтеграції різних методів моделювання та створення універсальних сценаріїв залишаються недостатньо розробленими.

Формулювання мети дослідження

Метою дослідження є аналіз методів моделювання сценаріїв евакуації в умовах надзвичайних ситуацій, визначення їхніх ключових характеристик та можливостей інтеграції для створення ефективних евакуаційних планів.

Викладення основного матеріалу дослідження

Надзвичайні ситуації (НС) різної природи вимагають швидких і ефективних рішень для забезпечення безпеки населення. Одним із ключових завдань є евакуація людей із зон ризику. Планування та реалізація таких заходів передбачає використання сучасних методів моделювання сценаріїв евакуації. Евакуація населення є однією з основних заходів цивільного захисту, спрямованих на забезпечення безпеки громадян у разі виникнення надзвичайних ситуацій (НС) різного характеру [2]. Сучасні виклики, зокрема воєнний стан та загроза техногенних катастроф, потребують удосконалення методів планування евакуації, зокрема із застосуванням інноваційних підходів до моделювання можливих сценаріїв [5].

Моделювання сценаріїв евакуації є важливим інструментом у плануванні та управлінні заходами безпеки в умовах надзвичайних ситуацій. Евакуація як ключовий елемент захисту населення від наслідків надзвичайних ситуацій є загальнонаціональним завданням, яке належить до компетенції органів державної влади, місцевого самоврядування та керівників суб'єктів господарювання. Цей висновок базується на аналізі основних завдань, визначених Кодексом цивільного захисту (ЦЗ) [1] та Положенням про єдину державну систему ЦЗ [7]. Важливо, щоб методологічні, практичні й організаційні аспекти планування та здійснення евакуаційних заходів були узгоджені з чинними нормативно-правовими актами України. Моделювання сценаріїв евакуації в умовах надзвичайних ситуацій (НС) є важливим елементом планування заходів з безпеки та збереження життя і здоров'я людей. Існує кілька основних методів моделювання таких сценаріїв, кожен з яких має свої особливості та застосовується залежно від конкретних умов.

Евакуація є організованим виведенням або вивезенням населення із зон надзвичайної ситуації або зон можливого ураження за умов виникнення загрози їхньому життю або здоров'ю. До цього також належить переміщення матеріальних і культурних цінностей, якщо існує ризик їх пошкодження або знищення. Однак у сучасній нормативно-правовій базі відсутня конкретизація місць, куди має бути здійснено евакуацію, що створює прогалину в визначенні ключових аспектів забезпечення безпеки. Зокрема, у понятті «безпечний район» наголошується на відсутності негативних чинників джерела небезпеки, а також на відповідності умовам розміщення та життєзабезпечення евакуйованих. Однак, для таких районів необхідним є додаткове уточнення вимог до автономного функціонування в умовах воєнного стану [4].

Щодо методології організації евакуації, актуальним є розмежування понять «виведення» і «вивезення», оскільки нормативні акти здебільшого не регламентують порядок здійснення евакуації пішки. Практика свідчить, що цей спосіб переміщення використовується досить часто в умовах негайної загрози життю та здоров'ю, коли час на організацію заходів обмежений. Суттєвим недоліком є відсутність розгорнутих інструкцій стосовно облаштування маршрутів пішої евакуації [16].

Класифікація видів евакуації також є недостатньо структурованою в нормативній базі. Наприклад, терміни «обов'язкова», «загальна», «часткова», «тимчасова» та «безповоротна» евакуація, зазначені у різних актах, потребують узгодження. Введення поняття «екстрена евакуація» як окремого виду є доцільним, зважаючи на частоту використання цього підходу у випадках екстремальних ситуацій. Екстрену евакуацію можна визначити як переміщення населення у разі наявності загрози життю в умовах обмеженого часу для організації попереджувальних заходів [2].

Не менш важливим є питання забезпечення життєдіяльності евакуйованого населення у безпечних районах. У чинних нормативних документах відсутні чіткі положення, що регулюють життєзабезпечення евакуйованих осіб, а також критерії для ухвалення рішень щодо евакуації в умовах надзвичайних ситуацій. До таких критеріїв можна віднести часові показники, концентрацію небезпечних речовин, рівень радіаційного опромінення, нормативні умови безпеки тощо [5].

Ефективна організація евакуаційних заходів має базуватися на таких принципах: комплексний підхід, завчасне планування, поєднання евакуаційних заходів із іншими заходами захисту, оперативність, відповідальність, а також інтеграція міжнародного досвіду. Особливо важливим є перспективне планування евакуації, яке має враховувати особливості територіального зонування, інфраструктурних ресурсів, масштабів техногенних катастроф і можливих бойових дій.

Евакуація населення в умовах надзвичайних ситуацій є критично важливим завданням, що вимагає чіткої координації, оперативного планування та використання сучасних методів моделювання. Нормативно-правове регулювання цього процесу в Україні забезпечує правову основу для розробки сценаріїв евакуації, враховуючи специфіку надзвичайних ситуацій, мобілізаційні потреби та потреби різних соціальних груп населення. Сучасні нормативно-правові акти у сфері цивільного захисту здебільшого залишають поза увагою проблему використання особистого транспорту під час евакуації населення. Як зазначено у джерелі [17], для проведення загальної евакуації передбачається додаткове залучення транспортних засобів, що належать суб'єктам господарювання та громадянам (п. 6). Однак, на сьогодні державні автосподарства володіють лише невеликою частиною транспорту. Значна його кількість перебуває у власності малих підприємств і приватних осіб, що суттєво ускладнює процес управління такими ресурсами.

Таблиця 1 демонструє, як закони та підзаконні акти визначають порядок використання методик, механізмів і алгоритмів для забезпечення ефективної евакуації.

Представлені нормативно-правові акти охоплюють ключові аспекти організації евакуації, включаючи планування заходів, оцінку ризиків, врахування потреб маломобільних груп населення, а також використання транспортної системи. Наприклад, Кодекс цивільного захисту України формує загальні принципи планування евакуації, тоді як спеціалізовані постанови Кабінету Міністрів деталізують порядок її проведення, механізми координації, та використання ресурсів. Окремо заслуговує уваги Указ Президента України щодо воєнного стану, який акцентує на оперативності та адаптивності евакуаційних сценаріїв в умовах військових дій. Всі нормативно-правові акти гармонізуються з потребою забезпечення захисту населення, враховуючи особливості ситуацій та доступні ресурси.

Ретельна нормативно-правова база створює фундамент для ефективного управління евакуаційними процесами, особливо у складних умовах надзвичайних ситуацій та воєнного стану. Використання методів моделювання сценаріїв евакуації дозволяє органам влади адаптуватися до мінливих обставин, оперативно реагувати на виклики, мінімізувати втрати та забезпечувати безпеку населення. Подальший розвиток правового регулювання у цій сфері має орієнтуватися на впровадження інноваційних технологій і методик, що враховують сучасні загрози та можливості.

Практика цивільного захисту в багатьох країнах демонструє успішне використання особистого транспорту та нерухомоті громадян під час евакуаційних заходів. Організоване залучення такого транспорту вимагає створення ефективної управлінської структури, здатної забезпечити облік усіх транспортних засобів у межах певної території, незалежно від форми власності, та контроль над їх використанням у надзвичайних ситуаціях.

Попри значний потенціал, Україна поки не готова до практичного впровадження принципу самостійної евакуації у повному обсязі. Проте, необхідно визначити такі завдання, особливо в межах об'єднаних територіальних громад на етапі їх формування. Щодо організаційної складової планування евакуації, нормативні акти визначають, що «комісії з питань евакуації відповідають за планування евакуаційних заходів на відповідному рівні» [6]. Проте, ефективність цього положення викликає сумніви, оскільки такі комісії є тимчасовими органами, що не мають чітко визначених повноважень для технічного виконання своїх функцій. Зокрема, їм бракує правових

інструментів для залучення посадових осіб чи забезпечення доступу до необхідної документації. Єдиним документом, який регламентує діяльність таких комісій, є Положення про роботу тимчасових органів з евакуації, затверджене керівником, що їх створює.

Таблиця 1

**Нормативно-правове регулювання методів моделювання сценаріїв евакуації
в умовах надзвичайних ситуацій**

Назва нормативно-правового акта	Ключові положення щодо моделювання сценаріїв евакуації
Кодекс цивільного захисту України [1]	Визначає загальні засади планування та реалізації заходів з евакуації, зокрема передбачає використання спеціальних методик і механізмів для оцінки ризиків та сценаріїв евакуації.
Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Положення про єдину державну систему цивільного захисту» [7]	Регулює функціонування єдиної системи цивільного захисту, в межах якої забезпечується координація роботи органів влади та використання сучасних методів моделювання сценаріїв евакуації.
Наказ МВС України «Про затвердження Методики планування заходів з евакуації» [9]	Затверджує методику розроблення сценаріїв евакуації, враховуючи специфіку територій, кількість населення, доступні ресурси та особливості надзвичайної ситуації. Передбачає створення моделей для оптимізації евакуаційних процесів.
Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Порядку виявлення осіб з інвалідністю та інших маломобільних груп населення» [10]	Описує алгоритм ідентифікації маломобільних груп населення та врахування їх потреб у моделюванні сценаріїв евакуації, включаючи супровід та забезпечення транспортування.
Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Порядку проведення евакуації у разі загрози виникнення НС» [11]	Встановлює порядок проведення евакуації та використання методів моделювання для аналізу можливих сценаріїв розвитку надзвичайної ситуації, зокрема залучення транспортних засобів.
Указ Президента України «Про введення воєнного стану в Україні» [8]	Передбачає використання надзвичайних заходів і моделювання сценаріїв евакуації в умовах військових дій, включаючи оперативне планування на основі аналізу ризиків та доступних ресурсів.
Постанова Кабінету Міністрів України «Про утворення Координаційного штабу з питань обов'язкової евакуації населення» [14]	Визначає механізми організації обов'язкової евакуації на основі створення координаційного штабу. Використання методів моделювання спрямоване на прогнозування потреб населення та ефективне управління ресурсами.
Закон України «Про функціонування єдиної транспортної системи України в особливий період» [15]	Регулює мобілізацію транспортних засобів і забезпечення їх участі в евакуації. Враховує моделювання можливих сценаріїв для оптимізації використання ресурсів транспортної системи.
Закон України «Про правовий режим воєнного стану» [13]	Описує основи правового регулювання дій органів влади під час воєнного стану, включаючи моделювання сценаріїв евакуації з урахуванням специфіки військових дій та ризиків.
Розпорядження Кабінету Міністрів України «Про організацію функціонування єдиної державної системи цивільного захисту» [12]	Забезпечує адаптацію методів моделювання сценаріїв евакуації до умов воєнного стану, зокрема через інтеграцію нових даних і методик.

Для усунення цих недоліків пропонується внести зміни до чинного законодавства [1], зокрема до розділу III щодо повноважень суб'єктів цивільного захисту у частині планування та проведення евакуації. Сутність змін полягає у запровадженні терміну «відповідальність», наприклад: «відповідальність за планування евакуації та її проведення несе...» із подальшим уточненням, який саме орган виконавчої влади чи місцевого самоврядування є відповідальним. Це дозволить забезпечити чіткий розподіл повноважень між комісіями з питань евакуації та іншими тимчасовими органами, а також покращити організаційно-методичне забезпечення їх діяльності залежно від режимів роботи та типів надзвичайних ситуацій на відповідній території чи суб'єкті господарювання [16].

Таким чином, для вдосконалення системи евакуації необхідне узгодження нормативно-правової бази, зокрема визначення ключових понять, уточнення видів евакуації, встановлення критеріїв прийняття рішень та інтеграція новітніх підходів до планування і реалізації евакуаційних заходів.

Зростання кількості надзвичайних ситуацій, таких як природні катаклізми, техногенні аварії та воєнні дії, створює нові виклики для планування евакуації населення. Ефективне моделювання сценаріїв евакуації дозволяє передбачити можливі проблеми, мінімізувати людські втрати та оптимізувати використання ресурсів. Однак існує низка труднощів, зокрема врахування складної взаємодії між людьми, інфраструктурою та зовнішніми умовами, які ускладнюють процес моделювання.

Моделювання сценаріїв евакуації в умовах надзвичайних ситуацій є важливим інструментом для забезпечення безпеки населення. Різноманітність загроз, таких як природні катастрофи, техногенні аварії або військові дії, потребує використання сучасних методів, які дозволяють враховувати фізичні, соціальні та поведінкові фактори. Табл. 2 систематизує основні методи моделювання, їх характеристики, переваги та обмеження, що допомагає обрати оптимальний підхід залежно від специфіки ситуації.

Таблиця 2

Основні методи моделювання сценаріїв евакуації в умовах надзвичайних ситуацій

Метод	Характеристика	Переваги	Обмеження
Математичне моделювання	Використання диференційних рівнянь для опису руху натовпу або транспортних потоків.	Висока точність, можливість оптимізації шляхів та ресурсів.	Складність врахування соціальних та поведінкових факторів.
Агентне моделювання	Імітація поведінки окремих осіб або груп, кожен агент має власні характеристики (швидкість, рівень паніки тощо).	Гнучкість, врахування індивідуальних особливостей поведінки, соціальної динаміки.	Велика обчислювальна складність при моделюванні великих груп.
Геоінформаційні системи	Використання картографічних даних для побудови маршрутів евакуації, врахування фізичних перешкод.	Реалістичність, можливість інтеграції реальних даних про територію.	Залежність від точності картографічних даних, потреба в спеціалізованому програмному забезпеченні.
Інтегровані методи	Комбінація кількох методів, наприклад, агентного моделювання та ГІС.	Комплексність, здатність моделювати багатофакторні сценарії.	Висока складність реалізації та потреба у значних ресурсах.

Джерело: побудовано на основі [4]

Математичні моделі базуються на використанні диференційних рівнянь для опису динаміки руху натовпу або транспортних потоків. Вони дозволяють визначати оптимальні шляхи евакуації та прогнозувати швидкість переміщення груп людей за різних умов. Зокрема, методи фінансової оптимізації, застосовані до транспортної мережі, можуть забезпечити зменшення часу евакуації.

Агентне моделювання дозволяє створювати моделі поведінки окремих осіб та груп у процесі евакуації. Кожен агент має власні характеристики, наприклад, швидкість руху, рівень паніки або фізичні обмеження. Це дає змогу врахувати вплив психологічних та соціальних факторів на поведінку людей у кризових ситуаціях. Програмне забезпечення, таке як AnyLogic або NetLogo, є популярними платформами для такого типу моделювання [5].

Геоінформаційні технології (ГІС-технології) дозволяють створювати детальні карти території, враховуючи фізичні перешкоди, щільність забудови та інші ландшафтні характеристики. Використання ГІС спрощує оптимізацію маршрутів евакуації та інтеграцію реальних даних у моделі. Наприклад, у випадку повеней ГІС допомагають визначити зони ризику та прокласти безпечні шляхи.

Інтеграція методів – це комбінація агентного та математичного моделювання з використанням ГІС дозволяє створювати більш комплексні сценарії евакуації. Наприклад, інтегровані моделі можуть прогнозувати трафік на дорогах, взаємодію пішоходів та транспортних засобів, а також враховувати зміни в реальному часі, такі як зміна погоди або нові перешкоди [6].

Основні методи моделювання сценаріїв евакуації мають свої переваги та обмеження, які слід враховувати при виборі підходу. Математичне моделювання є ефективним для задач оптимізації, агентне моделювання враховує поведінкові особливості, а ГІС додають реалістичності завдяки використанню просторових даних. Інтеграція методів дозволяє створювати багатофакторні моделі, які забезпечують високу точність та ефективність прогнозів.

Під час воєнного стану в Україні були впроваджені заходи обов'язкової евакуації населення з зон підвищеного ризику [16]. Використання методів моделювання дозволило зменшити ризики та підвищити ефективність організації евакуації. Наприклад, ГІС-системи допомогли визначити безпечні маршрути, а економіко-математичні моделі сприяли оптимізації ресурсів [2].

Одним із основних методів є математичне моделювання, яке дозволяє детально аналізувати евакуаційні процеси, використовуючи математичні моделі для розрахунку часу евакуації, визначення оптимальних маршрутів, потоку людей та розподілу ресурсів. Моделі потоків людей використовуються для прогнозування швидкості їх руху, зокрема в умовах обмеженого простору. Моделі мережі допомагають розрахувати оптимальні шляхи евакуації через мережі доріг і транспортні вузли, а моделі стохастичної природи враховують випадкові змінні, такі як погода чи технічні несправності.

Ще одним ефективним методом є симуляційне моделювання, яке передбачає використання спеціалізованих програм для відтворення сценаріїв евакуації в реальних або можливих умовах надзвичайних ситуацій. Це дозволяє врахувати різноманітні фактори, які можуть виникнути під час евакуації, і оцінити ефективність різних варіантів планів. До таких програм належать, наприклад, SimWalk – система для симуляції руху людей під час евакуації, а також AnyLogic – програмне забезпечення для створення складних моделей, у тому числі для планування евакуації [17].

Метод сценарного аналізу дозволяє розробляти різні варіанти розвитку подій на основі різних вихідних умов та факторів. Це дозволяє оцінити потенційні ризики та створити відповідні плани дій, включаючи сценарії евакуації в умовах терористичних атак, природних катастроф або техногенних аварій. Такий аналіз включає як критичні

сценарії, що описують найбільш загрозливі варіанти, так і оптимістичні сценарії, що дозволяють оцінити шанси на успішну евакуацію за оптимальних умов.

Метод експертних оцінок включає залучення фахівців, які на основі свого досвіду оцінюють різні аспекти евакуації, такі як ризики, можливі труднощі, а також визначають ключові етапи та рішення для ефективної евакуації.

Щодо методів системного аналізу, вони дозволяють вивчати взаємодію різних елементів системи евакуації, таких як транспортні засоби, засоби комунікації, медичні ресурси та місця розселення евакуйованих. Мета цього методу – оцінити загальну ефективність системи евакуації та виявити потенційні проблеми, що можуть виникнути під час її реалізації.

Один із сучасних підходів – метод імітаційного моделювання на основі агентів (ABM – Agent-Based Modeling). Він використовується для моделювання поведінки індивідуальних осіб або груп у процесі евакуації. Кожен агент має свої характеристики та може самостійно приймати рішення, що дозволяє враховувати індивідуальні реакції на зовнішні стимули, такі як паніка, переповнення шляхів евакуації або зміни в умовах. Цей метод сприяє більш точному моделюванню реальних ситуацій та оцінці ефективності евакуаційних заходів [5].

В умовах надзвичайних ситуацій, таких як природні катастрофи, техногенні аварії чи військові дії, ефективна організація евакуації населення є одним із основних завдань для забезпечення безпеки людей. Одним із способів досягнення цієї мети є використання методів моделювання для створення сценаріїв евакуації. Вони дозволяють прогнозувати хід евакуації, оцінювати ризики та оптимізувати ресурси, що мають бути залучені до цього процесу. Водночас кожен метод має свої переваги та недоліки, що впливають на ефективність його використання. Табл. 3 показує різноманітні методи моделювання, які застосовуються для планування та реалізації сценаріїв евакуації в умовах надзвичайних ситуацій.

Таблиця 3

Переваги та недоліки методів моделювання сценаріїв евакуації в умовах надзвичайних ситуацій

Метод моделювання	Переваги	Недоліки
Математичне моделювання	<ul style="list-style-type: none"> – Дозволяє точно прогнозувати час евакуації та оптимальні маршрути. – Можливість розрахунку для різних умов (потік людей, розподіл ресурсів). 	<ul style="list-style-type: none"> – Не враховує людський фактор, який може змінювати хід евакуації. – Висока складність для створення точних моделей у складних умовах.
Симуляційне моделювання	<ul style="list-style-type: none"> – Можливість тестувати сценарії евакуації в реальних або ймовірних умовах. – Дозволяє врахувати різноманітні змінні, які можуть впливати на процес евакуації. 	<ul style="list-style-type: none"> – Потребує значних комп’ютерних ресурсів і часу для створення та виконання моделей. – Може бути складним для адаптації до нестандартних або нових ситуацій.
Сценарний аналіз	<ul style="list-style-type: none"> – Можливість створення декількох варіантів розвитку подій на основі різних вихідних умов. – Допомога оцінити потенційні ризики та розробити план дій для кожного варіанту. 	<ul style="list-style-type: none"> – Не завжди може точно передбачити всі можливі змінні та наслідки, що виникають у реальних умовах. – Важко оцінити ймовірність кожного сценарію, що може призвести до неповної ефективності плану.
Метод експертних оцінок	<ul style="list-style-type: none"> – Залучення досвідчених фахівців дозволяє отримати глибоке розуміння специфіки евакуації. – Допомога визначити потенційні труднощі, що не завжди можна врахувати за допомогою математичних моделей. 	<ul style="list-style-type: none"> – Може залежати від суб’єктивних суджень і досвіду експертів, що може призвести до неупереджених оцінок. – Потребує великої кількості часу на збори експертів та аналіз їхніх оцінок.
Імітаційне моделювання на основі агентів	<ul style="list-style-type: none"> – Враховує індивідуальні реакції людей та груп на різні ситуації, що дозволяє моделювати реалістичні сценарії. – Можливість враховувати людський фактор та панічні реакції, що може суттєво вплинути на евакуацію. 	<ul style="list-style-type: none"> – Вимагає значних ресурсів для моделювання великої кількості агентів і взаємодій між ними. – Складність у побудові точних моделей для великої кількості людей з різними поведінковими характеристиками.

Джерело: побудовано на основі [2]

Математичне моделювання, хоча і дозволяє досягти високої точності в розрахунках часу евакуації та оптимальних маршрутів, має обмеження щодо врахування людського фактору, що може бути важливим у реальних ситуаціях. Симуляційне моделювання надає можливість тестувати варіанти евакуації в умовах, що наближені до реальних, але потребує значних ресурсів і часу для реалізації.

Сценарний аналіз дозволяє розробити різноманітні варіанти розвитку подій і оцінити потенційні ризики, проте не завжди може точно передбачити всі змінні, що виникають під час евакуації. Метод експертних оцінок забезпечує глибоке розуміння специфіки евакуаційного процесу, однак його результати можуть бути суб’єктивними та залежати від досвіду фахівців. Імітаційне моделювання на основі агентів дозволяє враховувати поведінку людей та груп, що робить модель більш реалістичною, але потребує великих ресурсів для її реалізації. Вибір методу моделювання залежить від специфіки надзвичайної ситуації, доступних ресурсів і цілей планування евакуації.

В ідеалі застосовується комбінація кількох методів для отримання комплексного уявлення про ефективність різних сценаріїв евакуації [4].

Методи моделювання сценаріїв евакуації відіграють ключову роль у забезпеченні безпеки населення в умовах НС. Найбільш перспективними напрямками залишаються інтеграція сучасних інформаційних технологій та розробка нових економіко-математичних моделей для ефективного використання ресурсів. Подальші дослідження мають бути спрямовані на адаптацію цих методів до умов воєнного стану та специфіки України.

Таким чином, вибір методу моделювання для створення сценаріїв евакуації залежить від конкретних умов надзвичайної ситуації, наявних ресурсів та необхідної точності прогнозу. Кожен метод має свої сильні сторони, але також і обмеження, які можуть впливати на точність і ефективність результатів. Важливо поєднувати різні методи для створення більш комплексних та реалістичних сценаріїв евакуації, що дозволить досягти максимального результату в умовах обмежених ресурсів та невизначеності.

Для вдосконалення методів моделювання сценаріїв евакуації в умовах надзвичайних ситуацій, можна запропонувати гібридний метод, який об'єднує переваги існуючих підходів, таких як математичне моделювання, агентне моделювання та геоінформаційні системи (ГІС). Цей метод дозволяє усунути недоліки окремих методів і забезпечити більш точне та ефективне планування евакуаційних заходів.

Гібридний метод передбачає інтеграцію цих трьох компонентів для створення комплексних сценаріїв евакуації. Комбінування математичного та агентного моделювання дозволить врахувати як загальні закономірності руху людей, так і індивідуальні реакції на стресові ситуації. Використання ГІС для візуалізації даних допоможе зрозуміти просторову динаміку евакуації та виявити потенційні проблеми у реальному часі.

Переваги гібридного методу:

1. Завдяки точним прогнозам і оптимізації маршрутів можна зменшити ймовірність виникнення заторів та інших проблем під час евакуації.

2. Гнучкість у реагуванні на зміни в ситуації завдяки використанню реальних даних і адаптації моделей у реальному часі.

3. Більш ефективне планування евакуаційних заходів дозволяє зберегти життя і здоров'я людей у надзвичайних ситуаціях.

Схема гібридного методу моделювання евакуації (рис. 1)

1. Вхідні дані:

- Демографічні дані: Кількість людей, вік, мобільність
- Інфраструктурні дані: План будівель, дорожня мережа
- Дані про надзвичайні ситуації: Тип загрози, зона впливу
- Реальні дані: Дані з датчиків, камер, мобільних пристроїв

2. Компоненти моделювання:

2.1. Математичне моделювання:

- Аналіз потоків людей
- Обчислення оптимальних маршрутів
- Прогнозування часу евакуації

2.2. Агентне моделювання:

- Поведінка окремих людей (агентів)
- Реакція на стрес і паніку
- Індивідуальні рішення в реальному часі

2.3. ГІС-візуалізація:

- Відображення маршрутів евакуації
- Моніторинг переміщень у реальному часі
- Побудова інтерактивних карт

3. Обчислювальний модуль:

- Об'єднання результатів моделювання
- Адаптація плану евакуації на основі нових даних
- Прийняття рішень в режимі реального часу

4. Результати:

- Оптиміальні маршрути евакуації
- Оцінка можливих заторів
- Виявлення небезпечних зон
- Звіти для аварійних служб

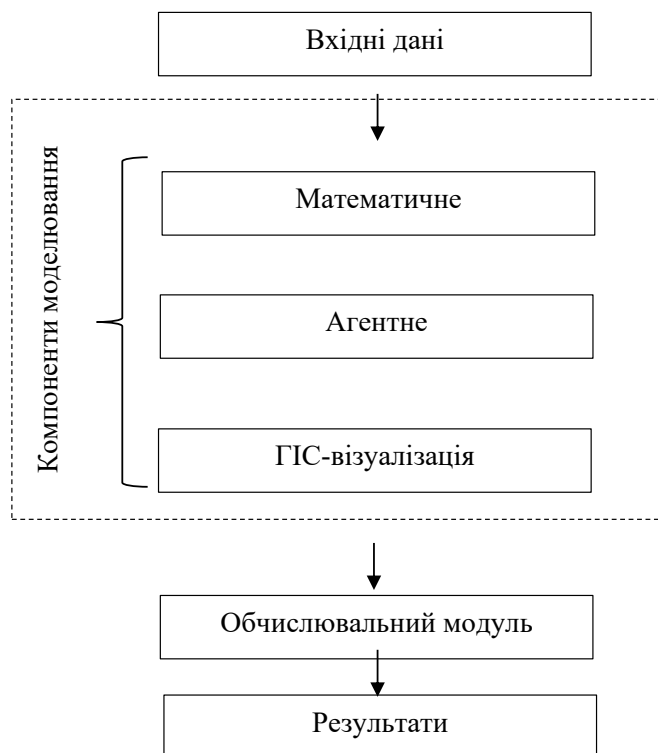


Рис. 1. Структурна схема гібридного методу моделювання евакуації

Висновки

Отже, моделювання сценаріїв евакуації в умовах надзвичайних ситуацій є ключовим інструментом для підвищення безпеки населення. Математичне моделювання дозволяє вирішувати завдання оптимізації, агентне моделювання враховує поведінкові аспекти, а ГІС забезпечують реалістичну основу для створення маршрутів. Запропонований гібридний метод моделювання сценаріїв евакуації може суттєво підвищити ефективність організації заходів цивільного захисту. Інтеграція математичного, агентного моделювання та ГІС дозволить створити більш точні та адаптивні моделі, що відповідають сучасним викликам у сфері безпеки населення.

Список використаної літератури

1. Кодекс цивільного захисту України. Відомості Верховної Ради (ВВР), 2013, № 34-35, ст.458. Документ 5403-VI, чинний, поточна редакція – Редакція від 15.11.2024, підстава – 4017-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17#Text> (дата звернення: 08.12.2024)
2. Комяк В., Кязімов К. Варіантне моделювання евакуації людей з висотних будівель у разі виникнення надзвичайної ситуації. Сучасні проблеми моделювання. 2020. № 17. С. 27-35.
3. Мітіна Н. Б. Евакуаційні заходи як спосіб захисту населення в надзвичайних ситуаціях / Н. Б. Мітіна, М. М. Плис, М.М. Плис, М. В. Рогальов, Н. В. Малиновська. *Збірник наукових праць Придніпровської державної архітектурно-будівельної академії. Серія: БЖД*. Дніпро: ДВНЗ ПДАБА, 2016. Вип. 93. 191-196.
4. Мітіна Н. Б., Плис М. М., Рогальов М. В., Малиновська Н. В. Методично-практичні аспекти планування та організації евакуації в умовах надзвичайних ситуацій. *Будівництво, матеріалознавство, машинобудування. Серія: Безпека життєдіяльності*. 2018. Вип. 105. С. 148-153.
5. Потеряйко С. П., Белікова К. Г., Твердохліб О. С. Проблемні питання евакуації населення в безпечні місця в умовах воєнного стану. український кейс. *Публічне урядування*. 2022. № 5 (33). С. 58-63.
6. Потеряйко С. П., Белікова К. Г., Твердохліб О. С., Орлова Н. С. Економіко-математичне моделювання прогнозного оцінювання дієвості функціонування єдиної державної системи цивільного захисту. *Фінансово-кредитна діяльність: проблеми теорії та практики : зб. наук. пр.* 2022. № 1 (42). С. 293–303.
7. Про затвердження Положення про єдину державну систему цивільного захисту: Постанова Кабінету міністрів України від 9 січня 2014 р. № 11. Документ 11-2014-п, чинний, поточна редакція – Редакція від 17.08.2024, підстава – 923-2024-п. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/11-2014-%D0%BF#Text> (дата звернення: 08.12.2024)
8. Про введення воєнного стану в Україні : Указ Президента України від 24.02.2022 р. № 64/2022. Дата оновлення: 14.02.2023. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/64/2022#Text> (дата звернення: 08.12.2024).

9. Про затвердження Методики планування заходів з евакуації : наказ МВС України від 10.07.2017 р. № 579. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0938-17#Text> (дата звернення: 08.12.2024).

10. Про затвердження Порядку виявлення осіб з інвалідністю та інших маломобільних груп населення, які проживають у зоні надзвичайної ситуації або можливого ураження, та організації їх супроводження : постанова Кабінету Міністрів України від 18.04.2018 р. № 282. Дата оновлення: 26.08.2022. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/282-2018-%D0%BF#Text> (дата звернення: 08.12.2024).

11. Про затвердження Порядку проведення евакуації у разі загрози виникнення або виникнення надзвичайних ситуацій : постанова Кабінету Міністрів України від 30.10.2013 р. № 841. Дата оновлення: 26.08.2022. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/841-2013-%D0%BF#Text> (дата звернення: 08.12.2024).

12. Про організацію функціонування єдиної державної системи цивільного захисту в умовах воєнного стану : розпорядження Кабінету Міністрів України від 24.02.2022 р. № 179-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/179-2022-%D1%80#Text> (дата звернення: 08.12.2024).

13. Про правовий режим воєнного стану : Закон України від 12.05.2015 р. № 389-VIII. Дата оновлення: 29.09.2022. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/389-19#Text> (дата звернення: 08.12.2024).

14. Про утворення Координаційного штабу з питань підготовки проведення обов'язкової евакуації населення Донецької області в умовах воєнного стану : постанова Кабінету Міністрів України від 29.07.2022 р. № 854. Дата оновлення: 02.08.2022. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/854-2022-%D0%BF#Text> (дата звернення: 08.12.2024).

15. Про функціонування єдиної транспортної системи України в особливий період : Закон України від 20.10.1998 р. № 194-XIV. Дата оновлення: 23.04.2021. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/194-14#Text> (дата звернення: 08.12.2024).

16. Тесленко О. Моделювання функціонування системи реагування на надзвичайні ситуації в Зоні відчуження. *Науковий вісник: Державне управління*. 2024. № 1 (15). С. 191–204.

17. Тесленко О. Проблеми державного управління цивільним захистом щодо забезпечення контролінгу загроз та виникнення надзвичайних ситуацій у Зоні відчуження. *Науковий вісник: Державне управління*. 2023. № 1 (13). С. 163–177.

References

1. Verkhovna Rada of Ukraine. (2013). Code of Civil Protection of Ukraine (Law No. 5403-VI). Verkhovna Rada Bulletin (VRB), 34–35, Art. 458. Retrieved December 8, 2024, from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17#Text>

2. Komyak, V., & Kyazimov, K. (2020). Scenario modeling of evacuating people from high-rise buildings in emergency situations. *Modern Problems of Modeling*, 17, 27–35.

3. Mitina, N. B., Plys, M. M., Rogalov, M. V., & Malinovska, N. V. (2016). Evacuation measures as a way to protect the population in emergency situations. *Collection of Scientific Papers of the Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture: Life Safety Series*, 93, 191–196.

4. Mitina, N. B., Plys, M. M., Rogalov, M. V., & Malinovska, N. V. (2018). Methodological and practical aspects of planning and organizing evacuations in emergencies. *Construction, Materials Science, Mechanical Engineering: Life Safety Series*, 105, 148–153.

5. Poteryayko, S. P., Belikova, K. G., & Tverdokhlib, O. S. (2022). Issues of population evacuation to safe areas under martial law: The Ukrainian case. *Public Administration*, 5(33), 58–63.

6. Poteryayko, S. P., Belikova, K. G., Tverdokhlib, O. S., & Orlova, N. S. (2022). Economic and mathematical modeling of forecasting the effectiveness of the unified state civil protection system. *Financial and Credit Activities: Problems of Theory and Practice*, 1(42), 293–303.

7. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2014). *On the approval of the regulation on the unified state civil protection system (Resolution No. 11)*. Retrieved December 8, 2024, from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/11-2014-%D0%BF#Text>

8. President of Ukraine. (2022). *On the introduction of martial law in Ukraine (Decree No. 64/2022)*. Retrieved December 8, 2024, from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/64/2022#Text>

9. Ministry of Internal Affairs of Ukraine. (2017). *On approving the methodology for planning evacuation measures (Order No. 579)*. Retrieved December 8, 2024, from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0938-17#Text>

10. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2018). *On approving the procedure for identifying persons with disabilities and other vulnerable groups residing in emergency zones (Resolution No. 282)*. Retrieved December 8, 2024, from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/282-2018-%D0%BF#Text>

11. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2013). *On approving the procedure for conducting evacuations in case of emergencies (Resolution No. 841)*. Retrieved December 8, 2024, from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/841-2013-%D0%BF#Text>

12. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2022). *On organizing the functioning of the unified state civil protection system under martial law (Directive No. 179-r)*. Retrieved December 8, 2024, from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/179-2022-%D1%80#Text>
13. Verkhovna Rada of Ukraine. (2015). *On the legal regime of martial law (Law No. 389-VIII)*. Retrieved December 8, 2024, from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/389-19#Text>
14. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2022). *On establishing a coordination headquarters for mandatory evacuation preparation in Donetsk Region (Resolution No. 854)*. Retrieved December 8, 2024, from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/854-2022-%D0%BF#Text>
15. Verkhovna Rada of Ukraine. (1998). *On the functioning of Ukraine's unified transport system during a special period (Law No. 194-XIV)*. Retrieved December 8, 2024, from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/194-14#Text>
16. Teslenko, O. (2024). Modeling the functioning of the emergency response system in the exclusion zone. *Scientific Bulletin: Public Administration*, 1(15), 191–204.
17. Teslenko, O. (2023). Problems of state civil protection management in threat monitoring and emergency situations in the exclusion zone. *Scientific Bulletin: Public Administration*, 1(13), 163–177.