DOI: 10.25140/2411-5363-2024-3(37)-153-161
УДК 004.94

Владислав Олексійович Прищепа[1], Артем Олександрович Задорожній[2]

[1]аспірант, здобувач наукового ступеня доктор філософії за спеціальністю 122
Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)
E-mail: vladpryshchepa1@gmail.com. **ORCID:** https://orcid.org/0009-0002-7627-0456

[2]кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних технологій та програмної інженерії
Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)
E-mail: zaotroy@gmail.com. **ORCID:** https://orcid.org/0000-0002-3424-7293

ДОСЛІДЖЕННЯ СУЧАСНИХ НАПРЯМІВ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ РЕАГУВАННЯ НА НАДЗВИЧАЙНІ СИТУАЦІЇ

Стаття надає огляд сучасних підходів до моделювання процесів реагування на надзвичайні ситуації. Описані основні тенденції в застосуванні різних видів моделей для забезпечення моделювання процесів реагування на надзвичайні ситуації. Зокрема, досліджено агентне моделювання, моделі на основі теорії ігор, використання системної динаміки та моделювання на основі машинного навчання. Стаття включає аналіз можливостей розвитку та ймовірних напрямків майбутніх досліджень у цій сфері, що можуть сприяти оптимізації роботи рятувальних служб та підвищення швидкості й точності реагування.

Ключові слова: *надзвичайна ситуація; моделювання; моделювання процесів реагування; реагування на надзвичайні ситуації; агентне моделювання; теорія ігор; система динаміка; машинне навчання.*

Рис.: 2. Бібл.: 16.

Актуальність теми дослідження. Стаття є оглядовою. Надзвичайні ситуації виникають у результаті природних катастроф, техногенних аварій або соціальних конфліктів і можуть призвести до значних людських втрат, економічних збитків та екологічних наслідків. Важливість оперативного та точного реагування на такі події не може бути переоцінена, оскільки затримки або неправильні дії під час кризових ситуацій можуть призвести до ще більш серйозних наслідків. З кожним роком масштаб і складність надзвичайних ситуацій зростають, що вимагає використання більш досконалих методів управління та координації дій рятувальних служб, урядових органів та інших учасників процесу.

Правильність і швидкість реагування на надзвичайні ситуації залежить від здатності ефективно прогнозувати розвиток подій, оптимізувати ресурси та координувати дії різних служб у режимі реального часу. Попри наявність різноманітних моделей управління надзвичайними ситуаціями, керівництво ними часто здійснюється неефективно [1]. У зв'язку з цим виникає необхідність у впровадженні сучасних методів моделювання, які дозволяють оцінити можливі сценарії розвитку ситуації, спрогнозувати наслідки рішень та оптимізувати процеси реагування.

Моделювання надзвичайних ситуацій стає важливим інструментом, що дозволяє створювати реалістичні симуляції подій, тестувати різноманітні стратегії реагування і забезпечувати їх адаптацію до швидкозмінних умов. Це дає змогу підвищити готовність системи управління до реальних викликів, забезпечити точну координацію дій і ефективніше використовувати доступні ресурси для мінімізації шкоди та ризиків під час кризових ситуацій. Оскільки кількість надзвичайних ситуацій зростає, важливо інтегрувати новітні розробки в існуючі системи, що надає актуальності даному дослідженню.

Постановка проблеми. Сьогодні надзвичайні ситуації здаються складнішими, ніж будь-коли. Процес управління надзвичайними ситуаціями також стає важчим через збільшення кількості залучених сторін, постраждалих та обсягу ресурсів. Ця складність, притаманна управлінню надзвичайними ситуаціями, ставить перед особами, які ухвалюють рішення, і особами, які займаються надзвичайними ситуаціями, багато проблем [2].

© В. О. Прищепа, А. О. Задорожній, 2024

На сьогодні традиційні підходи до кризового управління часто виявляються неефективними у випадках, коли необхідно швидко й точно ухвалювати рішення, що базуються на аналізі великого обсягу даних у реальному часі. Крім того, багато існуючих моделей є недостатньо гнучкими та не можуть оперативно адаптуватися до змінних умов, що виникають під час розвитку надзвичайної ситуації.

Основною проблемою є відсутність досконалих систем моделювання, які могли б враховувати цю велику кількість змінних та впливових факторів. Наявні підходи до моделювання часто зосереджуються на окремих аспектах реагування, не забезпечуючи повного охоплення всіх етапів від підготовки до відновлення після надзвичайної ситуації.

Таким чином, постає необхідність в аналізі можливостей та ймовірних напрямів майбутніх наукових робіт у визначеній сфері, що робить актуальною проблему дослідження сучасних напрямів моделювання процесів реагування на надзвичайні ситуації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій у сфері моделювання процесів реагування на надзвичайні ситуації свідчить про активне використання та розвиток різноманітних методів, таких як імітаційне моделювання, геоінформаційні системи, а також штучного інтелекту для покращення планування та координації дій під час надзвичайних ситуацій.

Одним із перспективних напрямів є застосування агентно-орієнтованих моделей для моделювання евакуаційних процесів [3]. Такі моделі використовуються для оцінки ризиків і планування евакуацій під час цунамі, що дозволяє підвищити точність прогнозів і ефективність реагування. У цьому ж напрямку працюють і інші дослідники, які використовують агентні моделі для симуляції евакуацій у метрополітенах, наголошуючи на важливості правильної поведінки натовпу та стратегій виходу [4].

Значна увага також приділяється використанню штучного інтелекту [5]. При цьому роль штучного інтелекту полягає в прийнятті рішень у реальному часі, що дозволяє підвищити швидкість і точність реагування служб під час кризових ситуацій. Це особливо важливо при роботі з різними сценаріями криз, де використання машинного навчання допомагає автоматизувати процеси реагування та підвищити адаптивність систем.

Попри прогрес у моделюванні надзвичайних ситуацій, залишається низка викликів, таких як складність інтеграції різних типів моделей, робота з непередбачуваними факторами та недостатня адаптивність систем до нових викликів. Є потреба у створенні більш гнучких і багатофункціональних моделей, що можуть швидко адаптуватися до змінних умов під час кризових подій.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Незважаючи на значний прогрес у розвитку методів моделювання процесів реагування на надзвичайні ситуації, залишається низка невирішених питань. Одним із таких завдань є створення інтегрованих моделей, які б охоплювали всі етапи реагування – від раннього виявлення і прогнозування до координації дій після завершення надзвичайної ситуації. Більшість існуючих моделей фокусуються лише на окремих аспектах кризового управління, що обмежує їх використання у складних та динамічних умовах сучасних надзвичайних ситуацій.

Крім того, недостатньо дослідженим є питання адаптації моделей до умов швидких змін у реальному часі. Випадки природних катастроф або техногенних аварій часто супроводжуються різкими змінами обставин, що потребує негайного перегляду стратегій реагування. Поточні моделі не завжди здатні оперативно підлаштовуватися до нових умов, що ставить під сумнів їх ефективність у таких ситуаціях.

Мета статті. Метою цієї статті є огляд сучасних напрямів моделювання процесів реагування на надзвичайні ситуації, аналіз існуючих підходів та технологій, а також визначення перспектив їхнього подальшого розвитку для покращення систем управління кризовими ситуаціями.

Виклад основного матеріалу.

Надзвичайна ситуація – ситуація на окремій території чи суб'єкті господарювання на ній або водному об'єкті, яка характеризується порушенням нормальних умов життєдіяльності населення, спричинена катастрофою, аварією, пожежею, стихійним лихом, епідемією, епізоотією, епіфітотією, застосуванням засобів ураження або іншою небезпечною подією, що призвела (може призвести) до виникнення загрози життю або здоров'ю населення, великої кількості загиблих і постраждалих, завдання значних матеріальних збитків, а також до неможливості проживання населення на такій території чи об'єкті, провадження на ній господарської діяльності [6].

Існують різні підходи до класифікації надзвичайних ситуацій. Згідно з Національним класифікатором ДК 019:2010, надзвичайні ситуації поділяються на 4 класи за джерелом походження та на 4 рівні за масштабом прояву. На рис. 1 зображена схема класифікації надзвичайних ситуацій.

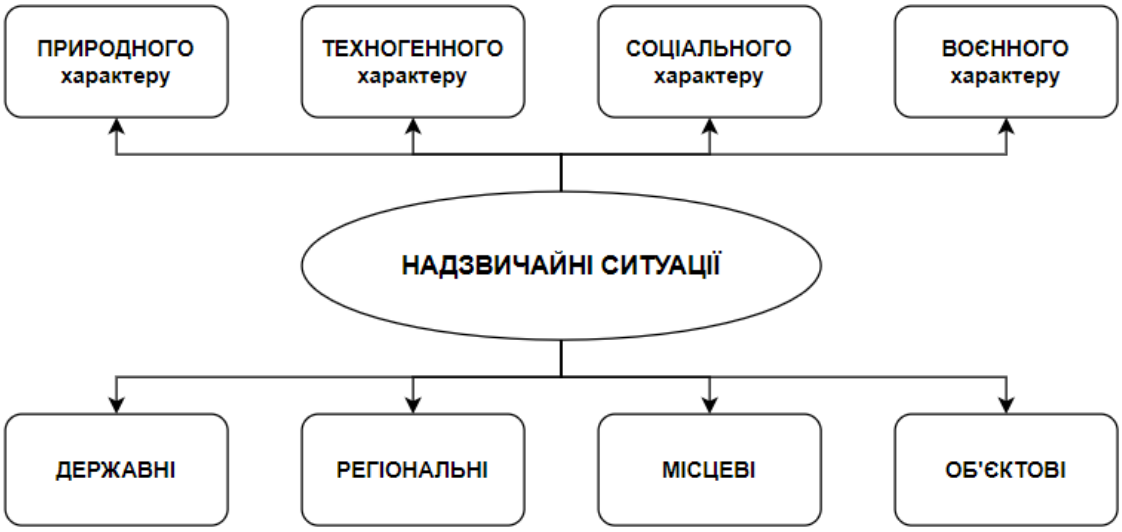

Рис. 1. Схема класифікації надзвичайних ситуацій

Залежно від обсягів заподіяних надзвичайною ситуацією наслідків, кількості постраждалих і загиблих, обсягів технічних і матеріальних ресурсів, необхідних для ліквідації її наслідків, визначають такі рівні надзвичайних ситуацій [7]:

– державний;
– регіональний;
– місцевий;
– об'єктовий.

Залежно від характеру походження подій, що можуть зумовити виникнення надзвичайних ситуацій на території України, визначають такі види надзвичайних ситуацій [7]:

– техногенного;
– природного;
– соціального;
– воєнного.

Усвідомлення природи та різноманітності надзвичайних ситуацій є критично важливим для розробки ефективних систем моделювання та реагування.

Моделювання надзвичайних ситуацій – це процес створення віртуальних моделей і сценаріїв, які імітують розвиток реальних кризових подій, таких як природні катастрофи, техногенні аварії або соціальні потрясіння. Мета моделювання полягає в аналізі можливих наслідків надзвичайних ситуацій, оцінці ризиків та перевірці ефективності рі-

зних стратегій реагування. Моделі можуть враховувати багато факторів, включаючи характер події, ресурсні обмеження, динаміку розвитку та взаємодію різних служб, що беруть участь у ліквідації наслідків.

Моделювання є важливим інструментом для покращення підготовленості до надзвичайних ситуацій, оскільки дозволяє досліджувати потенційні сценарії розвитку подій без ризику для життя і ресурсів. Воно допомагає розробити та оптимізувати плани реагування, визначити вразливі місця в системах управління, а також мінімізувати час і витрати на ліквідацію наслідків. Крім того, моделювання дозволяє проводити навчання для рятувальних служб і підвищувати їх готовність до непередбачуваних ситуацій, що в кінцевому результаті сприяє зниженню кількості жертв і збитків.

Останнім часом у моделюванні надзвичайних ситуацій набувають популярності кілька перспективних напрямів. Серед них особливу увагу заслуговують агентно-орієнтоване моделювання, моделі на основі теорії ігор, системна динаміка та моделювання на основі машинного навчання.

На рис. 2 можна побачити схему сучасних тенденцій у моделюванні процесів реагування на надзвичайні ситуації.

Рис. 2. Сучасні тенденції в моделюванні процесів реагування на надзвичайні ситуації

Агентне моделювання – це моделювання дій і взаємодії автономних агентів (як окремих, так і колективних організацій, таких як організації чи групи), щоб зрозуміти поведінку системи та те, що керує її результатами. Воно поєднує в собі елементи теорії ігор, складних систем, емерджентності, обчислювальної соціології, багатоагентних систем та еволюційного програмування.

Моделі на основі агентів використовуються для вивчення взаємодії між людьми, речами, місцями та часом [8]. Агенти запрограмовані на поведінку та взаємодію з іншими агентами та середовищем певним чином. Ці взаємодії спричиняють виникнення ефектів, які можуть відрізнятися від ефектів окремих агентів. Агентне моделювання відрізняється від традиційних методів на основі регресії тим, що, як і моделювання системної динаміки, воно дозволяє досліджувати складні системи, які демонструють незалежність індивідів і петлі зворотного зв'язку в причинно-наслідкових механізмах. Воно не обмежується даними спостережень і може використовуватися для моделювання експериментів, які неможливо або неетично проводити в реальному світі. Однак моделювання на основі агентів не позбавлене обмежень. Параметри даних (наприклад, рівень репродуктивності при інфекційних захворюваннях) часто важко знайти в літературі. Крім того, валідність

моделі може бути важко оцінити, особливо при моделюванні неспостережуваних асоціацій. Загалом моделі на основі агентів надають додатковий інструмент для оцінки впливу на результати. Це особливо корисно, коли відомо чи підозрюється наявність взаємозв'язку, взаємності та петель зворотного зв'язку або коли експерименти в реальному світі неможливі.

У контексті надзвичайних ситуацій агентно-орієнтоване моделювання дозволяє створювати детальні моделі реагування, які враховують поведінку окремих рятувальників, жителів, урядових органів та інших учасників. Це моделювання може використовуватися для прогнозування того, як різні групи реагують на кризову ситуацію, як відбувається евакуація, розподіл ресурсів і координація між різними організаціями.

Прикладом системи реагування з використанням агентно-орієнтованого моделювання є FLEE. Це набір інструментів для моделювання на основі агентів, створений для імітації пересування людей між географічними точками під час кризових ситуацій, таких як конфлікти чи природні катастрофи. FLEE активно використовується для моделювання переміщень біженців і внутрішньо переміщених осіб.

Із застосування агентного моделювання пов'язані наступні переваги [9]:

1. Розуміння мікрорівня. Деталі мають вирішальне значення для агентного моделювання, оскільки агенти можуть представляти що завгодно – окремих осіб, групи чи організації. Таким чином, це дозволяє аналізувати та розуміти на мікрорівні.

2. Симуляція в реальному світі. Агентне моделювання допомагає в реалістичному моделюванні та розумінні складних систем шляхом інтеграції різних компонентів та їх взаємозалежностей.

3. Гнучкість. Забезпечується гнучкість і можливість моделювати системи з кількома складними взаємодіями, які традиційні методи моделювання часто вважають складними.

4. Візуалізований процес. Забезпечується візуальний спосіб представлення складних систем, допомагаючи концептуальному розумінню та інтерпретації.

Попри переваги агентного моделювання, існують потенційні проблеми [9]:

1. Обчислювальна інтенсивність. Оскільки модель включає в себе безліч агентів, які взаємодіють одночасно, вона може стати вимогливою до обчислень і ресурсів.

2. Обмежена масштабованість. Хоча можна представити багато агентів у моделі, керування правилами та взаємодією цих агентів стає складним, оскільки їх кількість зростає. Таким чином, це накладає обмеження на масштабованість моделі.

3. Перевірка моделі. Оскільки агентне моделювання має справу зі складними системами та стохастичною поведінкою, перевірка цих моделей може бути складною справою, а точність їх прогнозування може бути неточною.

Незважаючи на ці недоліки, агентний підхід у моделюванні є потужним інструментом для розуміння та управління складними процесами реагування на надзвичайні ситуації.

Моделі на основі теорії ігор – це підхід до моделювання, що використовує математичні теорії ігор для аналізу й оптимізації стратегій у ситуаціях, де результат залежить від взаємодії кількох агентів або гравців [10]. Теорія ігор вивчає, як ці гравці ухвалюють рішення, щоб досягти найкращих результатів для себе, враховуючи можливі рішення інших учасників.

Моделі на основі теорії ігор можуть бути корисним інструментом для моделювання процесів реагування на надзвичайні ситуації, оскільки дозволяють аналізувати стратегічні взаємодії між різними учасниками, такими як урядові органи, служби порятунку та інші зацікавлені сторони. Теорія ігор допомагає зрозуміти, як ці учасники ухвалюють рішення в умовах конфлікту інтересів та обмежених ресурсів, що може бути критично важливим для ефективного управління кризовими ситуаціями.

Такий підхід може бути застосований для моделювання процесів безпечної евакуації натовпу в надзвичайних ситуаціях [11].

Прикладом системи, що використовує теорію ігор для моделювання процесів прийняття рішень різними учасниками під час реагування на НС, є RescueSim. У цій системі теорія ігор використовується для моделювання взаємодії між рятувальними службами або державними структурами, де кожен учасник може мати власну стратегію дій.

Системна динаміка – це підхід до вивчення поведінки складних систем у часі, який враховує структуру системи та взаємодію між її елементами. У тому числі: запасів і потоків, петель зворотних зв'язків, табличних функцій, затримок реакції, впливу середовища та інших.

Цей підхід вивчає взаємодію різних елементів системи та їх вплив на загальну динаміку її функціонування. Системна динаміка використовує математичні моделі для опису і симуляції процесів, що протікають у системах. Наприклад, запаси й потоки, затримки реакції та петлі зворотного зв'язку. Це дозволяє моделювати складні взаємодії в процесах реагування на надзвичайні ситуації, зосереджуючись на довгострокових ефектах і взаємозалежностях між різними елементами системи. Зазначений підхід допомагає аналізувати вплив рішень і дій служб реагування на розвиток кризової ситуації з плином часу. Це особливо корисно для прогнозування наслідків і розробки стратегій управління кризовими ситуаціями.

У контексті моделювання процесів реагування на надзвичайні ситуації підхід системної динаміки застосовується для дослідження структури зворотного зв'язку та моделі поведінки складної системи, а також та широко використовується для вирішення складних проблем управління надзвичайними ситуаціями, особливо при постачанні та плануванні ресурсів у надзвичайних ситуаціях [12-13], процесах евакуації [14], а також надзвичайних ситуацій у разі повені [15].

Однак, моделі системної динаміки можуть бути складними у створенні через необхідність точного визначення параметрів і залежностей системи. Вони також потребують якісних даних для точного опису системи і її динаміки. Недостатність даних може обмежити точність результатів.

Одним з інструментів для моделювання з використанням системної динаміки є програмне середовище Vensim. Воно надає графічний інтерфейс моделювання з діаграмами запасів і потоків, причинно-наслідкових циклів на основі текстової системи рівнянь декларативною мовою програмування, яке може використовуватися для аналізу процесів реагування на НС.

Моделювання на основі машинного навчання використовує алгоритми та статистичні моделі для навчання з даних та виявлення закономірностей, які можуть бути використані для прогнозування і прийняття рішень. В основі машинного навчання лежить ідея, що моделі можуть автоматично вдосконалюватися та адаптуватися в міру надходження нових даних.

Алгоритми машинного навчання дуже підходять для обробки великих обсягів просторово-часових даних, які генеруються в таких ситуаціях. Таким чином, протягом багатьох років вони використовувалися в управлінні надзвичайними ситуаціями, щоб допомогти особам, які першими реагують, і особам, які ухвалюють рішення в таких ситуаціях, і, зрештою, покращити запобігання катастрофам, готовність, реагування та відновлення [16].

Цей підхід дозволяє автоматизувати прийняття рішень, аналізувати реальні сценарії в режимі реального часу і швидко адаптуватися до змінних умов. Моделі машинного навчання, такі як нейронні мережі та методи кластеризації, можуть прогнозувати розвиток кризових подій, оптимізувати евакуаційні маршрути, розподіл ресурсів і координацію дій служб порятунку.

Однак обмеженням є те, що моделі машинного навчання вимагають великого обсягу якісних даних для навчання і можуть бути менш ефективними в умовах, де доступ до даних обмежений або дані є неточними.

Для моделювання процесів реагування на надзвичайні ситуації можуть бути використані такі інструменти машинного навчання: TensorFlow і PyTorch для глибокого навчання, Scikit-learn для загальних задач машинного навчання, таких як класифікація та регресія, H2O.ai для аналізу великих даних і прогнозування.

Висновки. Кожен розглянутий напрям моделювання процесів реагування на надзвичайні ситуації має свої унікальні можливості для аналізу й оптимізації реагування на надзвичайні ситуації, які можуть сприяти підвищенню ефективності управлінських і оперативних рішень.

Агентноорієнтоване моделювання забезпечує детальне вивчення взаємодій між різними учасниками й елементами системи, дозволяючи врахувати складні динаміки кризових ситуацій. Моделі на основі теорії ігор пропонують інструменти для оптимізації координації між різними агентами, що є важливим для узгоджених і ефективних дій. Системна динаміка дозволяє довгостроково прогнозувати наслідки й оцінювати вплив змін у системі, а моделювання на основі машинного навчання використовує сучасні алгоритми для прогнозування та оптимізації, забезпечуючи адаптивність і обробку великих даних.

Попри значні переваги, кожен з підходів має певні обмеження. Агентно-орієнтоване моделювання може бути складним у реалізації, моделі на основі теорії ігор потребують точного визначення стратегій, системна динаміка може бути чутливою до припущень, а машинне навчання вимагає якісних даних і обчислювальних ресурсів.

Загалом, впровадження і вдосконалення цих методів може значно покращити управління надзвичайними ситуаціями, підвищити готовність до кризових ситуацій і забезпечити більш ефективну реакцію. Розвиток і інтеграція цих підходів є критично важливими для підвищення стійкості суспільства до надзвичайних ситуацій та забезпечення безпеки і благополуччя населення.

Список використаних джерел

1. Naif, R. Alrehaili. The Need for Emergency Management Models / Naif R. Alrehaili, Yousef N. Almutairi, Hamdan M. Alghamdi, Musaad S. Almuthaybiri // Journal of Emergency Management and Disaster Communications. – 2023. – Vol. 4, No 1. – Pp. 17-31. DOI: 10.1142/S2689980923500021.

2. Chuanjun, Ren. Agent-Based Modeling and Simulation on Emergency Evacuation / Chuanjun Ren, Chenghui Yang & Shiyao Jin // Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering. Complex Sciences. Complex. – 2009. – Vol. 5. DOI: 10.1007/978-3-642-02469-6_25.

3. Wang, Z. A novel agent-based model for tsunami evacuation simulation and risk assessment / Z. Wang, G. Jia // Nat Hazards. – 2021. – Vol. 105, № 2. – Pp. 2045-2071. DOI: 10.1007/s11069-020-04389-8.

4. Edrisi, A. Simulating Metro Station Evacuation using Three Agent-based Exit Choice Models / A. Edrisi, B. Lahoorpoor, R. Lovreglio // Case Studies on Transport Policy. – 2021. – Vol. 9, № 3. – Pp. 1261-1272. DOI: 10.1016/j.cstp.2021.06.011.

5. Jieyu, Chen. Pedestrian evacuation simulation in indoor emergency situations: Approaches, models and tools / J. Chen, T. Shi, N. Li // Safety Science. – 2021. – Vol. 142. DOI: 10.1016/j.ssci.2021.105378.

6. Кодекс цивільного захисту України (2013) (Україна) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://web.archive.org/web/20170912044125/http:/zakon3.rada.gov.ua/laws/show/5403-17.

7. Класифікатор надзвичайних ситуацій ДК 019:2010 (2010) (Україна). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va457609-10#Text.

8. Agent-Based Modeling. [Electronic resource] // Columbia University Mailman School of Public Health. – Access mode: https://www.publichealth.columbia.edu/ research/population-health-methods/agent-based-modeling.

9. What is Agent-Based Modeling? [Electronic resource] // AI Master Class. – Access mode: https://www.aimasterclass.com/glossary/agent-based-modeling.

10. Gupta, U. Multievent crisis management using noncooperative multistep games / U. Gupta, N. Ranganathan // IEEE Transactions on Computers. – 2007. – Vol. 56, № 5. – Pp. 577-589. DOI: 10.1109/TC.2007.1023.

11. Maria, Gul. A Game-Theoretic Approach to Safe Crowd Evacuation in Emergencies / Maria Gul, Imran Ali Khan, Gohar Zaman, Atta Rahman, Jamaluddin Mir, Sardar Asad Ali Biabani, May Issa Aldossary, Mustafa Youldash, Ashraf Saadeldeen, Maqsood Mahmud, Asiya Abdus Salam, Dania Alkhulaifi, Abdullah AlTurkey // Computers, Materials and Continua. – 2024. –Vol. 79, № 1. – Pp. 1631-1657. DOI: 10.32604/cmc.2024.048289.

12. Qiu, Y. System dynamics mechanism of cross-regional collaborative dispatch of emergency supplies based on multi-agent game / Ying Qiu, Meng Shi, Xinna Zhao & Yongping Jing // Complex Intell. Syst. – 2023. – Vol. 9. – Pp. 2321-2332. DOI: 10.1007/s40747-021-00303-2.

13. Heng, Shao. A Study on Modeling and Simulation Engineering of Emergency Resources Supply Based on System Dynamics / Heng Shao, Hong Zhao, Feng Hu // Systems Engineering Procedia. – 2012. – Vol. 5. – Pp. 307-312. DOI: 10.1016/j.sepro.2012.04.048.

14. Shuangyan, Xu. System dynamics research of non-adaptive evacuation psychology in toxic gas leakage emergencies of chemical park / Shuangyan Xu, Jinghong Wang, Jia Li, Yan Wang, Zhirong Wang // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. – 2021. – Vol. 72. DOI: 10.1016/j.jlp.2021.104556.

15. Berariu, R. Training decision-makers in flood response with system dynamics / Berariu, R., Fikar, C., Gronalt, M. and Hirsch, P. // Disaster Prevention and Management. – 2016. – Vol. 25, No 2. – Pp. 118-136. DOI: 10.1108/DPM-06-2015-0140.

16. Christos, Kyrkou. Machine Learning for Emergency Management: A Survey and Future Outlook / Proceedings of the IEEE. – 2023. – № 1. – Pp. 19-41. DOI: 10.1109/JPROC.2022.3223186.

References

1. Alrehaili, Naif & Almutairi, Yousef & Alghamdi, Hamdan & Almuthaybiri, Musaad. (2022). The Need for Emergency Management Models. *Journal of Emergency Management and Disaster Communications,* 04. 10.1142/S2689980923500021.

2. Ren, Chuanjun & Yang, Chenghui & Jin, Shiyao. (2009). Agent-Based Modeling and Simulation on Emergency Evacuation. *Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering, 5,* 1451-1461. 10.1007/978-3-642-02469-6_25.

3. Wang, Zhenqiang & Jia, Gaofeng. (2021). A novel agent-based model for tsunami evacuation simulation and risk assessment. *Natural Hazards, 105,* 1-27. 10.1007/s11069-020-04389-8.

4. Edrissi, Ali & Lahoorpoor, Bahman & Lovreglio, Ruggiero. (2021). Simulating Metro Station Evacuation using Three Agent-based Exit Choice Models. *Case Studies on Transport Policy,* 9. 10.1016/j.cstp.2021.06.011.

5. Chen, Jieyu & Shi, Tianxing & Li, Nan. (2021). Pedestrian evacuation simulation in indoor emergency situations: Approaches, models and tools. *Safety Science,* 142. 105378. 10.1016/j.ssci.2021.105378.

6. Kodeks tsyvilnoho zakhystu Ukrainy [Code of Civil Protection of Ukraine]. (2013). *Bulletin of Verkhovna Rada of Ukraine, 34-35.* Art. 458. URL: http:/zako n3.rada.gov.ua/laws/show/5403-17.

7. Klasyfikator nadzvychainykh sytuatsii DK 019:2010 [Classifier of emergency situations DK 019:2010]: Order of the State Consumer Standard of Ukraine from 11.10.2010, № 457. https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va457609-10#Text.

8. Columbia University Mailman School of Public Health. *Agent-Based Modeling.* https://www.publichealth.columbia.edu/research/population-health-methods/agent-based-modeling.

9. AI Master Class. *What is Agent-Based Modeling?* https://www.aimasterclass.com/glossary/agent-based-modeling.

10. Gupta, U. & Ranganathan, N. (2007). Multievent Crisis Management Using Noncooperative Multistep Games. *IEEE Transactions on Computers, 56,* 577-589. 10.1109/TC.2007.1023.

11. Gul, M., et al. (2024). A Game-Theoretic Approach to Safe Crowd Evacuation in Emergencies. Computers, *Materials & Continua, 79,* 1-27. 10.32604/cmc.2024.048289.

12. Qiu, Y., Shi, M., Zhao, X. & Jing, Y. (2021). System dynamics mechanism of cross-regional collaborative dispatch of emergency supplies based on multi-agent game. *Complex & Intelligent Systems,* 9. 10.1007/s40747-021-00303-2.

13. Shao, H., Zhao, H. & Hu, F. (2012). A Study on Modeling and Simulation Engineering of Emergency Resources Supply Based on System Dynamics. *Systems Engineering Procedia,* 5. 307–312. 10.1016/j.sepro.2012.04.048.

14. Xu, S., Wang, J., Li, J., Wang, Y. & Wang, Z. (2021). System dynamics research of non-adaptive evacuation psychology in toxic gas leakage emergencies of chemical park. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries,* 72, 104556. 10.1016/j.jlp.2021.104556.

15. Berariu, Romana & Fikar, Christian & Gronalt, Manfred & Hirsch, Patrick. (2016). Training decision-makers in flood response with system dynamics. *Disaster Prevention and Management,* 25, 118-136. 10.1108/DPM-06-2015-0140.

16. Kyrkou, C., Kolios, P., Theocharides, T. & Polycarpou, M. (2022). Machine Learning for Emergency Management: A Survey and Future Outlook. *Proceedings of the IEEE.* PP. 1-23. 10.1109/JPROC.2022.3223186.

Отримано 18.09.2024

UDC 004.94

Vladyslav Pryshchepa[1], Artem Zadorozhnii[2]

[1]PhD Student, Recipient of the Doctor of Philosophy degree in specialty 122
Chernihiv National Polytechnic University (Chernihiv, Ukraine)
E-mail: vladpryshchepa1@gmail.com**. ORCID:** https://orcid.org/0009-0002-7627-0456

[2]PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information Technology and Software Engineering.,
Chernihiv National Polytechnic University (Chernihiv, Ukraine)
E-mail: zaotroy@gmail.com. **ORCID:** https://orcid.org/0000-0002-3424-7293

STUDY OF MODERN DIRECTIONS OF MODELING EMERGENCY RESPONSE PROCESSES

This article is a review. Emergencies arise due to natural disasters, man-made accidents, or social conflicts and can lead to significant human losses, economic damages, and environmental consequences. The importance of timely and accurate responses to such events cannot be overstated, as delays or incorrect actions during crises can result in even more severe consequences. Each year, the scale and complexity of emergencies increase, demanding the use of more advanced methods for managing and coordinating the actions of rescue services, government agencies, and other participants in the process.

The correctness and speed of emergency response depend on the ability to effectively predict the development of events, optimize resources, and coordinate the actions of various services in real time. Despite the availability of various emergency management models, emergency management is often inefficient. There is a growing need to implement modern modeling methods that allow for the assessment of potential scenarios, forecast the consequences of decisions, and optimize response processes.

Modeling emergencies is becoming an important tool that allows for the creation of realistic event simulations, testing of various response strategies, and ensuring their adaptation to rapidly changing conditions. This approach improves the preparedness of management systems for real-world challenges, ensures accurate coordination of actions, and more effectively utilizes available resources to minimize damage and risks during crises. As the number of emergencies increases, it becomes crucial to integrate the latest developments into existing systems, underscoring the importance of this research.

The problem statement addresses the increasing complexity of emergencies and the challenges decision-makers face in managing these situations. Traditional crisis management approaches are often ineffective when it comes to making swift, accurate decisions based on real-time analysis of large amounts of data. Many existing models lack flexibility and cannot quickly adapt to the dynamic conditions of an evolving emergency.

This article provides an overview of modern approaches to modeling emergency response processes. It describes the main trends in the application of various types of models to ensure the simulation of emergency response processes. In particular, it examines agent-based modeling, game theory-based models, the use of system dynamics, and machine learning-based modeling.

Future research should focus on improving the adaptability of models to rapidly changing real-time conditions, as emergencies often involve sudden shifts in circumstances. This requires the development of flexible, multifunctional models capable of quickly adjusting to new scenarios and leveraging advancements like artificial intelligence and big data analytics. Additionally, exploring methods to integrate diverse modeling approaches is essential to ensure seamless cooperation between systems, enhancing the effectiveness and speed of emergency response.

Fig.: 2. References: 16.

Владислав О. П., Задорожній А. О. Дослідження сил опору з боку магнітно-абразивного інструменту при обробленні тонких деталей типу лопатка ГТД. *Технічні науки та технології.* 2024. № 3(37). С. 153-161.