**УДК 004.942:614.8**

***Ніна Рашкевич,*** PhD, доцент,
доцент кафедри державного нагляду у сфері пожежної та
техногенної безпеки навчально-наукового інституту
пожежної та техногенної безпеки
Національного університету цивільного захисту України,
м. Черкаси, Україна

# КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЯК ІНСТРУМЕНТ ДОСЛІДЖЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ІНЖЕНЕРНИХ РІШЕНЬ

**Анотація**. У роботі розглянуто комп'ютерне моделювання як інструмент розвитку технічних наук та аналізу небезпечних процесів під час небезпечних подій або надзвичайних ситуацій. Обґрунтовано доцільність поєднання розрахункових моделей для оцінювання параметрів небезпечного сценарію. Показано можливість використання результатів моделювання для виявлення небезпечних ділянок та порівняння технічних рішень.

**Ключові слова:** комп'ютерне моделювання, евакуація, пожежа, димовидалення, стійкість конструкцій, програмні комплекси.

**Abstract.** The paper considers computer modelling as a tool for the development of technical sciences and the analysis of hazardous processes during dangerous events or emergency situations. The expediency of combining calculation models for assessing the parameters of a hazardous scenario is substantiated. The possibility of using modelling results to identify hazardous areas and compare technical solutions is shown.

**Keywords:** computer modelling, evacuation, fire, smoke extraction, structural stability, software packages.

Сучасна наука й освіта активно використовують цифрові інструменти, зокрема комп'ютерне моделювання, для аналізу складних інженерних процесів, небезпечних сценаріїв та оцінювання технічних рішень. У сфері пожежної й техногенної безпеки воно застосовується для дослідження евакуації людей, поширення диму й температур, роботи протидимного захисту, стійкості конструкцій та впливу аварійних факторів на безпеку людей і технічних систем.

У наукових дослідженнях розглянуто різні напрями застосування комп'ютерного моделювання для розв'язання прикладних задач у сфері пожежної та техногенної безпеки. Зокрема, у роботі [6] проаналізовано використання програмного забезпечення PATHFINDER для моделювання евакуації людей при пожежі. Такий підхід дає змогу визначати розрахунковий час евакуації, оцінювати пропускну здатність евакуаційних шляхів і виходів, а також виявляти ділянки можливого скупчення людей. Окремим напрямом є моделювання евакуації вразливих категорій населення [7].

У дослідженні [2] розглянуто моделювання можливої зони задимлюваності у зруйнованому укритті. У таких задачах враховуються межі поширення диму, зміна видимості й температури, напрямки руху димогазового середовища та вплив руйнувань на вентиляційні процеси.

Питання розрахунку стійкості та надійності конструктивних систем висвітлено у працях [3,5]. У цих дослідженнях розглянуто методики оцінювання прогресуючого обвалення, а також моделювання взаємодії системи «ґрунт–фундамент–будівля» за умов силових і високотемпературних впливів. Це дозволяє аналізувати поведінку будівель у разі локального пошкодження несучих елементів, перерозподілу зусиль, зміни жорсткості системи та втрати несучої здатності окремих конструкцій.

У роботі [1] досліджено моделювання вогнезахисту світлопрозорих фасадних конструкцій із використанням зрошувачів. Такий підхід дає змогу оцінити вплив інженерної системи зрошення на температурний режим фасаду та можливість зменшення теплового навантаження на огороджувальні елементи.

Розрахунок елементів системи димовидалення в програмному комплексі Ventus наведено у дослідженні [4]. У межах таких розрахунків визначаються витрати повітря, параметри повітроводів, аеродинамічний опір мережі, характеристики вентиляторів і робота клапанів, що дає змогу оцінити ефективність видалення диму з приміщень та шляхів евакуації.

Комп’ютерне моделювання небезпечних процесів складається з кількох етапів. Спочатку створюється геометрична модель об’єкта: приміщень, коридорів, сходових кліток, евакуаційних виходів, вентиляційних каналів, укриттів, фасадних конструкцій або несучих елементів. Її якість безпосередньо впливає на точність розрахунків, оскільки визначає умови руху людей, поширення диму та роботи інженерних систем.

Далі задаються вихідні параметри. Для евакуації це кількість і розміщення людей, швидкість руху, час початку евакуації, ширина проходів і кількість виходів. Для пожежі враховуються пожежне навантаження, місце займання, тепловиділення, властивості матеріалів, вентиляція та робота інженерних систем. Для конструктивного розрахунку задаються характеристики матеріалів, навантаження, температурний вплив, граничні умови та схема опирання.

Моделювання евакуації у PATHFINDER дозволяє визначити час евакуації, траєкторії руху людей, щільність потоків, швидкість переміщення та завантаженість виходів. Отримані результати допомагають виявити скупчення людей, затримки руху, нерівномірне використання виходів і потребу в коригуванні навігації, організації руху або планувальних рішень.

Моделювання пожежі та задимлення у PyroSim/FDS дає змогу досліджувати поширення небезпечних факторів пожежі в просторі й часі: температури, диму, видимості, продуктів горіння, напрямків димових потоків і часу досягнення критичних умов. Результатом такого моделювання може бути визначення моменту, коли видимість на шляхах евакуації знижується до небезпечного рівня або температура перевищує допустимі межі.

Важливим є зіставлення результатів моделювання пожежі з розрахунковим часом евакуації. Якщо критичні умови настають раніше, ніж завершується евакуація, необхідно переглядати планувальні, організаційні чи інженерні рішення: кількість і розташування виходів, маршрути евакуації, роботу систем димовидалення, протипожежні перешкоди або алгоритм оповіщення.

Розрахунок систем протидимного захисту у Ventus дає змогу визначати параметри димовидалення та підпору повітря: витрату повітря, тиск у мережі, втрати тиску, продуктивність вентиляторів, характеристики повітроводів, клапанів і решіток. Такі розрахунки дозволяють перевірити ефективність системи щодо обмеження поширення диму, підтримання видимості на шляхах евакуації та забезпечення умов для роботи пожежно-рятувальних підрозділів.

Моделювання конструктивних систем у ЛІРА-САПР або подібних комплексах застосовується для оцінювання напружено-деформованого стану, несучої здатності, переміщень, деформацій і стійкості конструкцій. У задачах пожежної безпеки чи аварійних впливів можуть враховуватися температурні поля, зниження міцності матеріалів, локальне пошкодження елементів, вилучення колони або зміна жорсткості вузлів. Результатом є визначення найбільш навантажених елементів, можливого перевищення граничних станів і здатності системи до перерозподілу зусиль.

Під час дослідження прогресуючого обвалення модель має враховувати послідовний розвиток пошкодження: локальне руйнування несучого елемента, реакцію всієї системи, перерозподіл зусиль, збільшення прогинів, зміну роботи суміжних елементів, утворення пластичних зон або втрату стійкості. Це дає змогу оцінити, чи зберігає конструктивна система несучу здатність після локального пошкодження, чи руйнування може поширюватися далі.

Комплексне застосування різних програмних засобів дає змогу поєднати кілька видів аналізу. Наприклад, у моделі пожежі визначається температурний вплив на окремі конструкції; ці дані можуть бути використані для подальшого конструктивного розрахунку. Результати моделювання задимлення можуть застосовуватися для уточнення умов евакуації. Дані про роботу систем димовидалення можуть бути використані для оцінювання зміни видимості та температури на шляхах руху людей.

Для підвищення коректності результатів доцільно виконувати сценарний аналіз. До можливих сценаріїв належать: виникнення пожежі в одному з приміщень, блокування основного евакуаційного виходу, відмова вентилятора димовидалення, пошкодження захисної споруди, локальне руйнування несучої конструкції, дія високої температури на фасадні елементи, евакуація дітей або осіб з обмеженими можливостями. Порівняння таких сценаріїв дозволяє встановити, які фактори найбільше впливають на безпеку.

Практичне використання комп'ютерного моделювання передбачає не лише отримання числових результатів, а й їх інженерну інтерпретацію. Наприклад, перевищення часу евакуації не завжди саме по собі пояснює причину проблеми. Необхідно встановити, чи пов'язана вона з недостатньою шириною виходу, неправильною організацією потоків, віддаленістю евакуаційного маршруту, затримкою початку руху або впливом диму на доступність шляхів евакуації.

Водночас достовірність моделювання залежить від повноти та точності вихідних даних.

Таким чином, комп'ютерне моделювання дозволяє переходити від окремого розрахунку до комплексного аналізу небезпечного процесу. Його результати можуть використовуватися для обґрунтування інженерних рішень, перевірки ефективності систем протипожежного захисту, оцінювання евакуаційної безпеки, аналізу стійкості конструктивних систем та підготовки рекомендацій щодо зниження ризиків.

Подальший розвиток цього напряму пов'язаний з уточненням вихідних даних, удосконаленням розрахункових моделей, поєднанням різних видів інженерного аналізу та використанням результатів моделювання у практиці проєктування, експлуатації та оцінювання безпеки об'єктів.

## Список використаних джерел

1. Майборода Р. І., Рашкевич Н. В., Отрош Ю. А., Балдук П. Г. Моделювання вогнезахисту світлопрозорих фасадних конструкцій з влаштуванням зрошувачів.

*Механіка та математичні методи*. 2024. Т. 6, № 2. С. 160–174. https://doi.org/10.31650/2618-0650-2024-6-2-160-174.
2. Олейник О. С., Отрош Ю. А., Рашкевич Н. В., Шаповал С. В. Моделювання можливої зони задимлюваності в зруйнованому укритті. *Комунальне господарство міст*. 2023. Т. 4, вип. 178. С. 210–218. https://doi.org/10.33042/2522-1809-2023-4-178-210-218.
3. Отрош Ю. А., Майборода Р. І., Рашкевич Н. В., Ромін А. В. Дослідження методик розрахунку прогресуючого обвалення. *Механіка та математичні методи*. 2023. Вип. 2. С. 25–40. https://doi.org/10.31650/2618-0650-2023-5-2-25-40.
4. Отрош Ю. А., Рашкевич Н. В., Ковальов А. І., Балдук П. Г. Розрахунок елементів системи димовидалення в ПК Ventus. *Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація*. 2024. Т. 8, № 2. С. 84–93. https://doi.org/10.31731/2524.2636.2024.8.2.84.93.
5. Пурденко Р. Р., Отрош Ю. А., Рашкевич Н. В., Сур'янінов М. Г. Моделювання стійкості та надійності системи ґрунт-фундамент-будівля при дії силових та високотемпературних впливів. *Механіка та математичні методи*. 2024. Т. 6, № 1. С. 36–48. https://doi.org/10.31650/2618-0650-2024-6-1-36-48.
6. Рубан А. В., Рашкевич Н. В., Отрош В. Ю. Моделювання евакуації людей при пожежі в програмному забезпеченні PATHFINDER. *Modern Technologies for Solving Actual Society's Problems* / edited by O. Nestorenko, I. Ostopolets. Katowice : Publishing House of University of Technology, 2022. С. 412–420.
7. Щолоков Е. Е., Майборода Р. І., Рашкевич Н. В., Отрош Ю. А., Балдук П. Г. Дослідження ефективності системи оповіщення та евакуації дітей з порушенням слуху у закладах освіти. *Механіка та математичні методи*. 2025. Т. 7, № 1. С. 26–47. https://doi.org/10.31650/2618-0650-2025-7-1-26-47