

МОДЕЛЮВАННЯ СЦЕНАРІЇВ РОЗВИТКУ НЕБЕЗПЕЧНИХ СИТУАЦІЙ

Розвинені системи безпеки потребують підходів, що дозволяють працювати з невизначеністю та багатофакторністю, які характерні для ризикогенних середовищ. Значний досвід застосування когнітивного моделювання у сферах управління ризиками підтверджує ефективність цього методу для аналізу аварійних процесів і прогнозування критичних подій [1]. Когнітивні карти представляють собою орієнтовані графові моделі, де вузли відображають ключові фактори, а ребра — причинно-наслідкові зв'язки з певною інтенсивністю впливу. Наявність вагових коефіцієнтів дозволяє врахувати силу взаємодій між елементами складних систем, що робить метод особливо корисним для аналізу середовищ з невизначеністю та неповними даними [2]. У сучасній науковій літературі вирізняють класичні когнітивні карти та нечіткі когнітивні карти (Fuzzy Cognitive Maps, FCM). Останні дають змогу враховувати експертні оцінки, лінгвістичні змінні та неповні знання про систему, що суттєво підвищує точність моделювання у сферах безпеки та ризик-менеджменту. Огляд застосувань FCM свідчить, що вони активно використовуються в інженерії, медичних системах, управлінні ризиками та промисловій безпеці [3,6]. У виробничих та промислових системах нечіткі когнітивні карти використовуються для виявлення критичних факторів та аналізу причинно-наслідкових зв'язків, що дозволяє зменшити кількість аварій та підвищити ефективність управління безпекою. У сфері охорони праці FCM успішно застосовуються для моделювання ефективності процесів систем управління, що дозволяє визначити найбільш впливові чинники, наприклад, організаційне лідерство, дисципліну, якість навчання персоналу. У дослідженнях інтеграції технологій (BIM–IoT) у систему безпеки будівництва FCM застосовуються для моделювання складних взаємодій між технологічними, організаційними та поведінковими факторами, забезпечуючи кількісний аналіз впливів та прогнозування наслідків різних управлінських рішень [2,3]. Сценарний аналіз «що, якщо». Застосування когнітивних карт дає можливість прогнозувати розвиток подій за зміни окремих факторів. Системні моделі дозволяють оцінювати як стандартні, так і малоймовірні, але потенційно катастрофічні сценарії, зокрема ескалацію небезпеки через зростання впливу критичних чинників або порушення технологічних регламентів. Когнітивні підходи дозволяють аналізувати не лише прямі, але й опосередковані ланцюги впливів, що значно підвищує точність прогнозування в ризикогенних системах надзвичайних ситуацій [4]. Для аналізу когнітивних карт застосовуються методи системного аналізу, моделювання, імітаційного прогнозування та комп'ютерних експериментів. Дослідження демонструють, що FCM дозволяють одночасно враховувати прямі та непрямі причинно-наслідкові зв'язки, моделювати динамічні процеси та проводити комплексну оцінку сценаріїв розвитку подій [5]. Основними перевагами когнітивних карт є наочність, можливість поєднання формальних і експертних знань, адаптивність до невизначених систем та придатність до цифрової інтеграції. Обмеження включають суб'єктивність вагових оцінок, складність повної формалізації складних систем та чутливість до якості вихідних даних. У сфері охорони праці когнітивні карти дозволяють виявляти приховані залежності між факторами ризику, прогнозувати розвиток аварійних ситуацій, обґрунтовувати превентивні заходи та оптимізувати управлінські рішення. Методика також сприяє удосконаленню корпоративних систем управління безпекою та підвищенню ефективності навчання персоналу. [6] Отже, когнітивні карти є універсальним інструментом моделювання складних небезпечних сценаріїв. Їх інтеграція з цифровими технологіями, системами підтримки прийняття рішень та штучним інтелектом відкриває широкі можливості для підвищення безпеки в промисловості, енергетиці, транспорті та інших галузях.

Список літератури

1. Bakhtavar E., Valipour M., Yousefi S. та ін. Fuzzy cognitive maps in systems risk analysis: a comprehensive review. *Complex & Intelligent Systems*, 2021.
2. Amiri M., Saghatforoush E., Shayganmehr M. A Fuzzy Cognitive Mapping Based Dynamic Modelling of BIM–IoT Integration for Construction Safety Culture. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 2026.
3. Mitras C., Xanthopoulos A., Koulouriotis D. Techniques and Models for Addressing Occupational Risk Using Fuzzy Logic... *Applied Sciences*, 2025. [mdpi.com]
4. Sklad A. Application of Fuzzy Cognitive Maps for Modelling OSH Management Systems. [ebrary.net]
5. Sklad A. Assessing the impact of processes on OSH Management System's effectiveness using FCM. *Safety Science*, 2019.
6. Longo F., Padovano A., Nicoletti L. та ін. Fuzzy Cognitive Map-Based Knowledge Representation of Hazardous Industrial Operations. 2021.