

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ  
ЛЬВІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

**Андрій ІВАНУСА, Сергій ЄМЕЛЬЯНЕНКО,  
Олександр ХЛЄВНОЙ, Зоряна ІВАНУСА**

**ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В УПРАВЛІННІ ПРОЄКТАМИ БЕЗПЕЧНОЇ  
ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ МАСОВОГО ПЕРЕБУВАННЯ ЛЮДЕЙ**

**Монографія**

Львів - 2023

**ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В УПРАВЛІННІ ПРОЄКТАМИ БЕЗПЕЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ МАСОВОГО ПЕРЕБУВАННЯ ЛЮДЕЙ.** – Монографія. – Львів : Вид-во ЛДУ БЖД, 2022. – 261 с.

Монографія містить основні поняття, методи та моделі безпеко-орієнтованого управління при реалізації проєктів планування, будівництва чи реконструкції об'єктів масового перебування людей.

Розглядаються нові поняття, методи та моделі безпеко-орієнтованого управління при реалізації проєктів планування, будівництва чи реконструкції об'єктів різного класу призначення (житловий будинок, стадіон, культурно-видовищна будівля).

Монографія призначена для магістрів освітніх програм: менеджмент, інформаційних технологій та комп'ютерних наук, пожежна безпека, цивільний захист. Може бути корисним фахівцям, що працюють в області проектування інформаційних систем підтримки регіональних органів влади, Державної служби України з надзвичайних ситуацій, практичним працівникам, аспірантам і науковцям.

*Рекомендовано до друку Вченою Радою Львівського державного університету безпеки життєдіяльності (протокол № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.)*

**Наукове видання**

**ІВАНУСА Андрій Іванович** – доцент кафедри права та менеджменту у сфері цивільного захисту Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, кандидат технічних наук, доцент  
**ЄМЕЛЬЯНЕНКО Сергій Олександрович** – начальник наукового відділу Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, кандидат технічних наук.

**ХЛЄВНОЙ Олександр Вікторович** – старший викладач кафедри інформаційних технологій та телекомунікаційних систем Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, кандидат технічних наук.

**ІВАНУСА Зоряна Зенонівна** – старший науковий співробітник відділу організації наукової роботи Львівського державного університету внутрішніх справ, кандидат юридичних наук.

**Рецензенти:**

**Данченко Олена Борисівна** - доктор технічних наук, професор, професор кафедри комп'ютерних наук та системного аналізу Черкаського державного технологічного університету.

**Ткачук Ростислав Львович** - доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри управління інформаційною безпекою Львівського державного університету безпеки життєдіяльності.

**Лиса Наталія Климентіївна** - доктор технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизованих систем управління Національного університету «Львівська політехніка».

Видавництво ЛДУБЖД, Україна, 79007, м. Львів, вул. Клепарівська, 35  
тел./факс: +380967402224; e-mail: ivaanusa@gmail.com

©Івануса А.І.,Ємельяненко С.О.,  
Хлевной О.В., Івануса З.З., 2022  
©Видавництво ЛДУБЖД, 2022

## ЗМІСТ

<b>ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....</b>	<b>6</b>
<b>ПЕРЕДМОВА.....</b>	<b>7</b>
<b>РОЗДІЛ 1. ГЕНЕЗИС ПРОБЛЕМИ БЕЗПЕКО-ОРІЄНТОВАНОГО УПРАВЛІННЯ НА ОБ'ЄКТАХ МАСОВОГО ПЕРЕБУВАННЯ ЛЮДЕЙ.....</b>	<b>8</b>
1.1. Характеристики проектів безпечної експлуатації об'єктів масового перебування людей.....	8
1.2. Особливості безпеко-орієнтованого управління проектами в системі цивільного захисту.....	13
1.3. Аналіз нормативно-правової бази безпеко-орієнтованого управління в проектах побудови та експлуатації об'єктів масового перебування людей.....	18
1.4. Тенденції розвитку наукової проблеми безпеко-орієнтованого управління проектами в системі цивільного захисту.....	28
Висновки до розділу 1.....	31
<b>РОЗДІЛ 2. МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ УПРАВЛІННЯ ПРОЄКТАМИ БЕЗПЕЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ МАСОВОГО ПЕРЕБУВАННЯ ЛЮДЕЙ.....</b>	<b>33</b>
2.1. Класифікація проектів безпечної експлуатації об'єктів масового перебування людей .....	33
2.2. Моделі та методи управління часом та зацікавленими сторонами в проектах безпечної експлуатації об'єктів масового перебування людей... 2.3. Інструментальні засоби обґрунтування проектів безпечної експлуатації об'єктів масового перебування людей .....	40
2.4. Причинно-наслідкові зв'язки в проектах забезпечення безпеки життєдіяльності людей на об'єктів масового перебування людей.....	43
Висновки до розділу 2.....	49
Висновки до розділу 2.....	52

<b>РОЗДІЛ 3. МЕТОД І ТОПОЛОГІЧНА МОДЕЛЬ ВИЗНАЧЕННЯ АРХІТЕКТУРИ ПРОЄКТІВ БЕЗПЕЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ МАСОВОГО ПЕРЕБУВАННЯ ЛЮДЕЙ .....</b>	<b>54</b>
3.1. Характеристики успішної реалізації проєктів безпечної експлуатації об'єктів масового перебування людей.....	54
3.2. Методи оптимізації проєктів безпечної експлуатації об'єктів масового перебування людей .....	56
3.3. Аналіз топологічних схем маршрутизації та моделювання руху зацікавлених сторін проєктів безпечної експлуатації об'єктів масового перебування людей.....	60
3.4. Алгоритм оптимізації проєктів безпечної експлуатації об'єктів масового перебування людей.....	68
Висновки до розділу 3.....	74
<b>РОЗДІЛ 4. ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ РОЗРАХУНКУ ТРИВАЛОСТІ ЕВАКУАЦІЇ ПІД ЧАС ПОЖЕЖІ НА ОБ'ЄКТАХ МАСОВОГО ПЕРЕБУВАННЯ ЛЮДЕЙ .....</b>	<b>76</b>
4.1. Сучасний стан моделювання руху евакуаційних потоків .....	76
4.2. Огляд сучасних програмно-моделюючих комплексів для розрахунку часу евакуації людей з під час пожежі .....	79
4.3. Клітинно-автоматні моделі руху людей .....	86
4.4. Алгоритм інтелектуальної системи розрахунку тривалості евакуації на основі клітинно-автоматної моделі руху.....	88
4.5. Інтелектуальні системи управління евакуацією.....	109
4.6. Інформаційні технології визначення параметрів руху учасників евакуації.....	114
4.6.1. Детектування рухомих об'єктів.....	115
4.6.2. Автоматичне визначення групи мобільності учасника евакуації.....	117
4.6.3. Принцип роботи та визначення швидкості евакуації.....	121

Висновки до розділу 4.....	125
<b>РОЗДІЛ 5. УПРАВЛІННЯ БЕЗПЕКОЮ В ПРОЄКТАХ ПОБУДОВИ БАГАТОКВАРТИРНИХ ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ.....</b>	<b>127</b>
5.1. Визначення розрахункової тривалості евакуації людей із приміщень багатоквартирного житлового будинку.....	127
5.1.1. Розрахунок фактичного часу евакуації з 15-го поверху.....	131
5.1.2. Розрахунок фактичного часу евакуації з типового поверху..	140
5.1.3. Розрахунок фактичного часу евакуації з 2-го поверху.....	151
5.1.4. Розрахунок фактичного часу евакуації з 1-го поверху.....	154
5.1.5. Розрахунок фактичного часу евакуації з поверхів через сходові клітки.....	158
5.2. Моделювання часу блокування шляхів евакуації небезпечними чинниками пожежі.....	159
5.2.1. Моделювання часу блокування шляхів евакуації небезпечними чинниками пожежі на 15-му поверсі житлового будинку. Сценарій пожежі №1.....	164
5.2.2. Моделювання часу блокування шляхів евакуації небезпечними чинниками пожежі на типовому поверсі житлового будинку. Сценарій пожежі №2.....	171
5.2.3. Моделювання часу блокування шляхів евакуації небезпечними чинниками пожежі на 2-му поверсі житлового будинку. Сценарій пожежі №3.....	175
5.2.4. Розрахунок тривалості блокування шляхів евакуації небезпечними чинниками пожежі на 1-му поверсі житлового будинку. Сценарій пожежі №4.....	180
Висновки до розділу 5.....	183
<b>РОЗДІЛ 6. ПОЖЕЖНИЙ РИЗИК-МЕНЕДЖМЕНТ НА ОБ'ЄКТАХ МАСОВОГО ПЕРЕБУВАННЯ ЛЮДЕЙ .....</b>	<b>185</b>

6.1. Аналіз сучасного стану системи пожежного ризик-менеджменту в Україні.....	185
6.2. Характеристика інженерно-технічних особливостей об'єктів громадського призначення на прикладі Львівського державного палацу естетичного виховання молоді.....	187
6.3. Оцінювання пожежних ризиків на об'єктах масового перебування людей.....	192
6.4. Розрахунок індивідуального пожежного ризику в громадській будівлі .....	205
Висновки до розділу 6.....	207
<b>РОЗДІЛ 7. ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ МОДЕЛЕЙ ТА МЕТОДІВ БЕЗПЕКО-ОРІЄНТОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ІНФОРМАЦІЙНИМИ СИСТЕМАМИ ТА ПРОЄКТАМИ НА ОБ'ЄКТАХ МАСОВОГО ПЕРЕБУВАННЯ ЛЮДЕЙ.....</b>	<b>209</b>
7.1. Алгоритм управління архітектурою проєктів безпечної експлуатації спортивно-видовищних споруд.....	209
7.2. Реалізація ІТ-проєкту створення прикладного програмного продукту для аналізу стану безпеки спортивно-видовищних споруд на прикладі стадіону «Арена Львів».....	217
7.3. Практичні аспекти підвищення рівня безпеки людей на стадіонах.....	231
Висновки до розділу 7.....	241
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ .....</b>	<b>243</b>
<b>ДОДАТКИ</b>	

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ**

<b>БЕ СВС</b>	безпечна експлуатація спортивно-видовищних споруд;
<b>БЖД</b>	безпека життєдіяльності;
<b>ГТЛ</b>	граф технологічної лінії;
<b>ДСНС України</b>	Державна служба України з питань надзвичайних ситуацій;
<b>ЛДУ БЖД</b>	Львівський державний університет безпеки життєдіяльності;
<b>НС</b>	надзвичайні ситуації;
<b>СВС</b>	спортивно-видовищна споруда, стадіон;
<b>ТЛПЕ</b>	технологічна лінія процесу евакуації;
<b>ОМПЛ</b>	об'єкт (-ти) масового перебування людей;
<b>УЄФА</b>	Союз європейських футбольних асоціацій;
<b>УАФ</b>	Українська асоціація футболу;
<b>ЯПФ</b>	ярусно-паралельна форма;
<b>КА</b>	клітинні автомати.

## ПЕРЕДМОВА

Реалізація проекту побудови об'єкта з масовим перебуванням людей передбачає виконання комплексу заходів для забезпечення їх безпеки. Враховуючи велику кількість людей та їх психофізіологічні властивості, унікальність проектування споруди, непрогнозованість проведення масових заходів, досвід з експлуатації спортивних споруд, особливого підходу до забезпечення безпеки людей потребують проекти безпечної експлуатації спортивно-видовищних споруд (БЕ СВС). Реалізація проектів БЕ СВС, своєю чергою, потребує проведення аналізу нормативно-правової бази в галузі забезпечення безпеки людей, її відповідності світовим нормам та впровадження цих норм в практичну діяльність.

Хоча науково-технічний прогрес набув великих масштабів, проте питання безпеки людини на спортивно-видовищних спорудах (СВС) залишається і надалі актуальним, про що свідчать трагедії, які часто виникають на об'єктах цього типу в процесі їх експлуатації. Одним із можливих напрямів вирішення завдання підвищення безпеки людей в проектах БЕ СВС є проведення та впровадження в практику результатів наукових досліджень з методології управління проектами в умовах надзвичайних ситуацій (НС), а також управління зацікавленими сторонами таких та часом реалізації проектів.



## Висновки до розділу 1

У першому розділі розглянуто сучасний стан системи БЖД людей на СВС на підставі чого можна зробити такі висновки:

1) аналіз успішних практик реалізації проектів БЕ СВС засвідчив, що основним способом забезпечення безпеки людей на СВС є створення умов для проведення своєчасної та безперешкодної евакуації людей у випадку НС із споруди у безпечну зону. При цьому процес евакуації із СВС, згідно із світовими вимогами, не повинен перевищувати 8 хвилин;

2) аналіз сучасного стану реалізації проектів БЕ СВС в процесі проведення спортивних та культурно-масових заходів засвідчив що: постійне підвищення рівня безпеки та комфорту СВС при організації будь-яких заходів міжнародного значення потребує реалізації проектів побудови нових або реконструкції старих СВС, існує невідповідність вимог чинного українського законодавства світовим у плані забезпечення безпеки людей, висока вартість реалізації проектів БЕ СВС спричинена унікальністю їх побудови, відсутня нормативно-правової база та «Правила поведінки», які б визначали порядок реалізації проектів у сфері забезпечення безпеки людей на спорудах масового їх перебування, доцільно використовувати проектне управління при реалізації проектів БЕ СВС;

3) аналіз перспектив розвитку евакуаційної системи СВС завдяки використанню сучасних інформаційних технологій та методології управління проектами визначив доцільність розробки моделей управління зацікавленими сторонами, а також вдосконалення існуючих методів оптимізації часу в проектах БЕ СВС в умовах виникнення НС, які спрямовані на збереження людського життя та здоров'я;

4) встановлено, що при розробці моделей слід враховувати стан турбулентного середовища, рівень проведення спортивних змагань (територіального, державного, міжнародного значення), ключові фактори успіху

реалізації проєктів, нормативно-правову базу країни-виконавця та рекомендації організатора заходу, рівень підготовки і компетентність обслуговуючого персоналу, особливості поведінки глядачів, стратегічні цілі проєктів БЕ СВС, показники результативності, причинно-наслідкові зв'язки глядацьких емоцій тощо.

## Висновки до розділу 2

У другому розділі висвітлені теоретичні аспекти розв'язку задачі стовсовно обґрунтування проектів БЕ СВС та отримано такі результати:

1) проведена класифікація СВС за параметрами безпеки та класифікаційними ознаками забезпечує швидкий автоматизований доступ до достовірної інформації в процесі управління проектами БЕ СВС, в результаті чого забезпечується раціональність в управлінні матеріальними, інформаційними, людськими, фінансовими ресурсами тощо та розв'язується задача мінімізації витрат, рентабельності та прогнозування стану споруди;

2) розроблено теоретичні засади, які базуються на основі топологічного аналізу та синтезу систем управління потоками людей, що є зацікавленими сторонами проектів БЕ СВС. В основу інструментальних засобів щодо реалізації таких проектів покладено формалізацію методів і моделей, які інформують про стан їх поточної реалізації. Розроблено концептуальну модель управління проектами БЕ СВС, кінцевим результатом якої є збережене життя та здоров'я зацікавлених сторін проектів.

3) встановлено, що для проведення розрахунку часу евакуації зацікавлених сторін проектів БЕ СВС із секторів на променаді найбільш оптимальним є використання аналітичної моделі, що враховує топологію руху людського потоку, а з променаді в безпечну зону – моделі індивідуально-потокowego руху людини в складі потоку, яка показана у вигляді модифікованої функції Ерланга. У результаті синтезу математичних моделей розроблено граф-схему вдосконаленого методу розрахунку часу зацікавлених сторін проектів із СВС, що враховує топологію евакуаційних шляхів. Запропоновано метод обчислення часу реалізації проектів БЕ СВС, в якому в ролі інформаційної бази використані деякі результати проведених експериментальних досліджень.

### Висновки до розділу 3

У третьому розділі роботи проаналізовано ключові фактори, які впливають на успіх реалізації проектів БЕ СВС, в результаті чого було встановлено, що оптимізацію проектів спортивно-видовищного типу необхідно здійснювати за часовим критерієм.

Розглянуто методологічні засади щодо управління проектами БЕ СВС на основі використання методу критичного шляху, де оптимізаційний синтез евакуаційного маршруту зацікавлених сторін представлено як топологічну схему технологічної лінії, а сам евакуаційний шлях розбито на окремі частини.

За допомогою імовірнісного методу та оптимізаційного синтезу гнучких технологічних ліній розроблено топологічні моделі управління зацікавленими сторонами та часом у проектах БЕ СВС на прикладі стадіону «Арена Львів».

Використовуючи методи критичного шляху запропоновано граф-схему алгоритму оптимізації часу в проектах БЕ СВС в якій окремий проект розглянуто як топологічну схему технологічної лінії процесу евакуації. За допомогою вдосконаленого методу оптимізації ТЛПЕ зацікавлених сторін підвищується ефективність управління проектами БЕ СВС.

## Висновки до розділу 4

Адекватне моделювання складної динаміки евакуаційних потоків вимагає збирання великих обсягів даних для визначення характеру відповідних моделей та їх калібрування. Разом з тим, проведення класичних натурних спостережень є трудозатратним заходом, реалізація якого не завжди можлива. Сукупність цих факторів призводить до недостатнього наповнення баз емпіричних даних та недостатньої точності встановлених залежностей між швидкістю та щільністю руху учасників евакуації різних груп мобільності.

Як відомо, більшість результатів натурних спостережень отримують за результатами обробки записів камер відеоспостереження різних об'єктів. Разом з тим отримання кількісних даних з таких камер стикається з суттєвими проблемами, що стосуються теорії та практики обробки відеозображень. У цьому розділі досліджено практичне застосування деяких нейромережевих технологій для визначення основних характеристик евакуаційних потоків, що спостерігаються камерами відеоспостереження, окреслено можливі проблеми, та варіанти їх вирішення. Для відстеження та ідентифікації учасників евакуації запропоновано варіант застосування згорткових нейронних мереж. Прості варіанти нейронної мережі доцільно використовувати для автоматизації при отриманні прикладів для навчання глибшої нейронної мережі YOLOv4.

Мережа YOLOv4 можна використовувати для оцінки характеристик руху (швидкість, щільність потоку) учасників евакуації. Це потужна і гнучка модель, що добре показала себе під час вирішення завдань аналізу руху людей. Водночас, було встановлено, що її використання для онлайн-аналізу відео з великим розширенням вимагає великих обчислювальних потужностей. Відтак, для спеціалізованих завдань є зміст використовувати менш глибокі варіанти YOLO або адаптовані альтернативи (Tensorflow hub models).

Результати роботи запроектованої системи показали задовільну збіжність із результатами, отриманими під час обробки даних «в ручному режимі».

### Висновки до розділу 5

Найшвидше відбувається блокування шляхів евакуації з поверху за втратою видимості – на 306-й секунді пожежі.

Порівнявши час блокування шляхів евакуації з часом евакуації отримано дані що наведені в таблиці

Таблиця 5.12

Порівняння часу блокування шляхів евакуації з часом евакуації з 1-го поверху

Відсік (приміщення)	Час блокування шляхів евакуації, с	Час евакуації, с
1-й поверх	306	220

Отже, можна зробити підсумок, що безпечна евакуація з 1-го поверху забезпечена.

### Висновок до розділу 6

Для підвищення рівня пожежної безпеки Львівський державний палац естетичного виховання молоді необхідно забезпечити ремонт і проведення у належний стан систем протипожежного та протидимного захисту. Установки пожежної автоматики слід під'єднати до пульта централізованого пожежного спостереження сигналів.

Внаслідок проведених розрахунків за Методом [66] встановлено, що індивідуальний пожежний ризик у Львівському державному палаці естетичного виховання учнівської молоді перевищує допустиме значення і становить  $R_I = 9,3 \cdot 10^{-5}$ , тому існує необхідність у розробленні додаткових протипожежних заходів. Наприклад сценічне приміщення обладнати протипожежною завісою для захисту глядацького залу.

Знизити рівень ризиків загибелі від пожежі до  $R_I = 9,1 \cdot 10^{-8}$ , можна зменшенням часу евакуації, що досягається використанням протипожежної завіси та системи пожежної сигналізації у сценічному приміщенні Львівського державного палацу естетичного виховання молоді.

## Висновки до розділу 7

Сьомий розділ роботи присвячений практичному впровадженню отриманих результатів, а саме:

1) розроблені автором моделі управління зацікавленими сторонами, метод проведення розрахунку часу та вдосконалений метод оптимізації проектів БЕ СВС використані при розробці авторським колективом програмного комплексу «ТОПАЛ-ЕВАКАС 1.0», який здійснює автоматизацію проведення обчислень в процесі реалізації проектів на стадіоні «Арена Львів»;

2) на основі отриманих розрахункових даних проведено оптимізацію маршрутів руху людей у безпечну зону із секторів верхнього та нижнього ярусів, спеціально відведених місць для неповносправних людей, VIP – персон та адміністративної будівлі стадіону «Арена Львів» у безпечне місце;

3) апробація розроблених моделей і методів управління проектами БЕ СВС підтвердила їх дієвість для підвищення рівня безпеки людей на спорудах даного типу в умовах виникнення НС. Зокрема, на основі отриманих даних проведено оптимізацію часу реалізації проектів безпечної експлуатації стадіону «Арена Львів» при виникненні НС шляхом визначення оптимальних маршрутів руху зацікавлених сторін проектів.



### Список використаних інформаційних джерел

1. Gwynne, S. A review of the methodologies used in the computer simulation of evacuation from the built environment / S. Gwynne, E.R. Galea, M. Owen, P. J. Lawrence, L. Filippidis // *Building and Environment*. –1999. – Vol. 34. – P. 741-749.
2. Kuligowsky, E.D. A review of building evacuation models/ E.D. Kuligowsky, R.D. Peacock. – National Institute of Standards and Technology, U.S. Department of Commerce, Technical note 1471, 2005. – 156p.
3. Daamen, W. First-order pedestrian traffic flow theory / W. Daamen, S.P. Hoogendoorn, P.H.L. Bovy // *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. – 2005. – Vol. 1934, N.1. – P. 43-52.
4. Bruno, L. Non-local first-order modelling of crowd dynamics: A multidimensional framework with applications / L. Bruno, A. Tosin, P. Tricerri, F. Venuti // *Applied Mathematical Modelling*. – 2011. – Vol. 35, N. 1. – P. 426-445.
5. Colombo, R.M. A macroscopic model for pedestrian flows in panic situations / R.M. Colombo, P. Goatin, M.D. Rosini // *International Series Mathematical Sciences and Applications*. – 2010. – Vol. 32. – P. 255-272.
6. Helbing, D. Dynamics of crowd disasters: An empirical study / D. Helbing, A. Johansson, H. Z. Al-Abideen // *Physical Review E*. – 2007. – Vol. 75. – P. 46-109.
7. SIMULEX [Електрон. ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: [www.iesve.com/Software/VE-Pro/Simulex](http://www.iesve.com/Software/VE-Pro/Simulex).
8. PYROSIM [Електрон. ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://pyrosim.ru/raschet-vremeni-ehvakuacii-lyudej>
9. FDS+Evac Miscellaneous Examples [Електрон. ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: [http://virtual.vtt.fi/virtual/proj6/fdsevac/examples\\_fds6.html](http://virtual.vtt.fi/virtual/proj6/fdsevac/examples_fds6.html)
10. EVACNET 4 [Електрон. ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: [http://www.iklimnet.com/hotelfires/fire\\_egress\\_software\\_10.html](http://www.iklimnet.com/hotelfires/fire_egress_software_10.html)
11. Traffgo [Електрон. ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: [www.traffgoht.com/en/pedestrians/products/pedgo/index](http://www.traffgoht.com/en/pedestrians/products/pedgo/index).

12. Blue, V.J. Cellular automata modeling of pedestrian movements / V.J. Blue, M. Embrechts, J.L. Adler // *Computational Cybernetics and Simulation*, 1997 IEEE International Conference. – 1997. – Vol. 3. – P. 2320 - 2323.
13. ДСТУ 8828:2019. Пожежна безпека. Загальні положення. [Чинний від 2020-01-01]. Вид. офіц. Київ, 2018. 163 с.
14. Yamamoto, K. Simulation for pedestrian dynamics by real-coded cellular automata (RCA) / K. Yamamoto, S. Kokubo, K. Nishinari // *Physica A*. – 2007. – Vol. 379. – P. 654-660.
15. Nicolis (1974). "Dissipative Structures, Catastrophes, and Pattern Formation: A Bifurcation Analysis" (PDF). *PNAS*. 71 (7): 2748–2751. Retrieved 25 March 2017.
16. Vedant Kumar. Applications of Artificial Intelligence in Fire & Safety. Overview of the applications of AI in mitigating the dangers due to fire.
17. Eric Wai Ming Lee. Application of Artificial Neural Network to Fire Safety Engineering [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-13639-9\\_15](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-13639-9_15)
18. Chrysanthos Maraveas, Dimitrios Loukatos, Thomas Bartzanas, Konstantinos G. Arvanitis. Applications of Artificial Intelligence in Fire Safety of Agricultural Structures
19. Gwynne, S. A review of the methodologies used in the computer simulation of evacuation from the built environment / S. Gwynne, E.R. Galea, M. Owen, P. J. Lawrence, L. Filippidis // *Building and Environment*. –1999. – Vol. 34. – P. 741-749.
20. YoloV5 Wheelchair detector URL: <https://newjerseystyle.github.io/en/2021/YoloV5-Wheelchair-detector/>
21. Lan J, Li J, Hu G, Ran B, Wang L. Vehicle speed measurement based on gray constraint optical flow algorithm. *Optik - Int J Light Electron Opt* 2014;125(1):289–95. doi: 10.1016/j.ijleo.2013.06.036 .
22. Gomes S.L., de S Rebouças E, Neto E.C., Papa J.P., de Albuquerque VHC, Filho P.P.R., et al. Embedded real-time speed limit sign recognition using image processing and machine learning techniques. *Neural Comput Appl* 2017;28(1):573–84. doi: 10.1007/s00521-016-2388-3 .

23. Neto E.C., Gomes S.L., Filho P.P.R., de Albuquerque VHC. Brazilian vehicle identification using a new embedded plate recognition system. *Measurement* 2015;70:36–46. doi: 10.1016/j.measurement.2015.03.039 .
24. Будинки і споруди. Громадські будинки і споруди. Основні положення: ДБН В 2.2-9-09 – [Чинні від 2010-07-01]. – К. : Мінрегіонбуд України, 2010. – 51 с. – (Державні будівельні норми України).
25. Будинки і споруди. Спортивні та фізкультурно-оздоровчі споруди: ДБН В 2.2-13-2003 – [Чинні від 2004-03-01]. – К. : Держбуд України, 2004. – 101 с. – (Державні будівельні норми України).
26. Данченко О. Б. Огляд методів аналізу ризиків в проектах / О. Б. Данченко, В. О. Занора // *Управління проектами та розвиток виробництва* : зб. наук. пр. – Луганськ : СНУ ім. В. Даля, 2007. – №1 (21). – С. 57-64.
27. Данченко О. Б. Підходи до класифікації ризиків в проекті / О. Б. Данченко, В. О. Занора // III Міжн. наук.-прак. конф. «Управління проектами: стан та перспективи». – Миколаїв, 2007. – С. 91-93.
28. Дунець Р., Дунець Б. Алгоритм перетворення графів в ярусно-паралельну форму на основі операцій алгебри логіки // *Поліграфія і видавнича справа*. – 1997. – Вип. 33 – С. 17-24.
29. Закон України № 962-V від 19.04.2007 «Про організацію проведення фінальної частини чемпіонату Євро 2012 року з футболу в Україні» / Верховна Рада України. [Електронний ресурс]. – Режим доступу:<http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/962-16>
30. Закон України № 3673-VI від 08 липня 2011 року «Про особливості забезпечення громадського порядку та громадської безпеки у зв'язку з підготовкою та проведенням футбольних матчів/ Верховна Рада України. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/3673-17>
31. Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва: ДБН В.1.1-7–2002. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу:<http://document.ua/zashita-ot-pozhara.-pozharaj-a-bezopasnost-obektov-stroitels-nor2817.html>

32. Інженерне обладнання будинків і споруд. Системи протипожежного захисту Пожежна автоматика будинків і споруд: ДБН В.2.5-56-2010 – [Чинні від 2011-10-01]. – К. : Мінрегіонбуд України, 2010. – 285 с. – (Державні будівельні норми України).
33. Кодекс України про адміністративні правопорушення : № 8074-10 від 07.12.1984 / Верховна Рада України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/80731-10>
34. Новаківський І. І. Проектно-орієнтована організаційна система управління як ціль еволюції проектного менеджменту [Електронний ресурс] / І. І. Новаківський // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – Львів, 2009. – № 640 – С. 163-174.
35. Овсяк В. К. Алгоритми: аналіз методів, алгебра впорядкувань, моделі, моделювання. – Львів, 1996. – 132 с.
36. Овсяк В. К. Засоби еквівалентних перетворень алгоритмів інформаційно-технологічних систем // Доповіді Національної академії наук України. – 1996. – №9. – С. 83-89.
37. Пономаренко О. В. Механізми державного управління соціальними проектами та програмами: монографія [Текст] / О. В. Пономаренко. – Донецьк : Технопарк, 2010. – 344 с.
38. Пономаренко О., Пономаренко В. Системні методи в економіці, менеджменті та бізнесі. – К. : Либідь. 1995. – 240 с.
- 39.** Пожежна безпека. Терміни та визначення (Система стандартів безпеки праці) : ДСТУ 2272-93. – [Чинні від 1995-01-01]. – К. : Держстандарт України, 1993. – 26 с. – (Державний стандарт України).
40. Протипожежний захист. Знаки безпеки. Форма та колір (ISO 6309:2007. IDT) : ДСТУ ISO 6309:2007 . – [Чинні від 2007-10-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2008. – 101 с. – (Національний стандарт України).
41. «Технічний регламент будівельних виробів, будівель та споруд»: Постанова Кабінету Міністрів України від 20.12.06 № 1764.

42. «Про порядок підготовки спортивних споруд та інших спеціально відведених місць для проведення масових спортивних та культурно-видовищних заходів»: Постанова Кабінету Міністрів України від 18.12.98 №2025.
43. «Про затвердження Державної цільової програми підготовки та проведення в Україні фінальної частини чемпіонату Європи 2012 року з футболу»: Постанова КМУ від 14 квітня 2010 р. № 357.
44. Рак Ю. П. Алгоритм оптимізації технологічних ліній малих друкарських систем. / Рак Ю. П. // Зб. наук. праць Інституту проблем моделювання в енергетиці НАН України. – Вип. 7. – К. : ПІМЕ, 1999. – С. 112-116.
45. Рак Ю. П. Критерії та етапи оптимізації технологічних процесів малих друкарських систем. / Рак Ю. П. // Вісник ДУ "Львівська політехніка" № 373. Комп'ютерні системи проектування. Теорія і практика. — Львів, 1999. – С. 91-96.
46. Рак Ю. П. Малі друкарські системи: прогнозування, аналіз, синтез / Рак Ю. П.– К. : Наук. думка, 1999. – 256 с.
47. Рак Ю. П. Механізми формування регіональних портфельів проектів удосконалення безпеки життєдіяльності / Ю. П. Рак, О. Б. Зачко, Т. Є. Рак, Т. Б. Брич // Вісник ЛДУ БЖД. – 2009. – №3. – С. 8-15.
48. Рач В. А. Інновації в проектній діяльності та закономірності «провалів» продуктів проектів / В. А. Рач, В. В. Калюжний / Управління проектами та розвиток виробництва: зб. наук. пр. – Луганськ : СНУ ім. В. Даля, 2007. – №3 (23). – С. 31-41.
49. Рач В. А. Управління проектами: практичні аспекти реалізації стратегій регіонального розвитку / В. А. Рач, О. В. Россошанська, О. М. Медведєва // навч. пос. – Луганськ : К. : Лондон : [К.І.С.], 2010. – 276 с.
50. Рач В. А. Методологія системного підходу та наукових досліджень / В. А. Рач, О. В. Ігнатова // навч. посібник. – Луганськ : СНУ ім. В. Даля, 2010. – 224 с.
51. Рач В. А. Компетентність управління проектом на основі системно-динамічної моделі методу освоєного обсягу / В. А. Рач, В. А. Запорожченко, О. В.

Бирюков // Управління проектами та розвиток виробництва: зб. наук. праць. – Луганськ : СНУ ім. В. Даля, 2006. – №3(19). – С.54-63.

52. Рач В. А. Портфельне управління розвитком соціально-економічних систем. Частина 1. Модель визначення бенчмаркінгових значень показника стратегічної мети із використанням теорії нечітких множин / В. А. Рач, О. П. Коляда // Управління проектами та розвиток виробництва: зб. наук. праць. – Луганськ : СНУ ім. В. Даля, 2009. – № 1. – С. 144-151.

61. Ярошевська В. М. Безпека життєдіяльності : Підручник для вузів / В. М. Ярошевська. – К. : Професіонал, 2004. – 559 с.

62. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2009 році. – К. : МНС Укр., Мін. Екології та природних ресурсів Укр., Нац. Академія наук Укр. – 2010. – 252 с.

63. Розпорядження кабінету міністрів від 22 січня 2014 року № 37-р «Про схвалення Концепції управління ризиками надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/37-2014-%D1%80#n8>

64. Постанова Кабінету Міністрів України від 10 травня 2018 р. № 342 «Про затвердження методики розроблення критеріїв, за якими оцінюється ступінь ризику від провадження господарської діяльності та визначається періодичність здійснення планових заходів державного нагляду (контролю), а також уніфікованих форм актів, що складаються за результатами проведення планових (позапланових) заходів».

65. Постанова Кабінету Міністрів України № 715 «Про затвердження критеріїв, за якими оцінюється ступінь ризику від провадження господарської діяльності та визначається періодичність здійснення планових заходів державного нагляду (контролю) у сфері техногенної та пожежної безпеки Державною службою з надзвичайних ситуацій [Електронний ресурс] [Чинний від 12 вересня 2018 р.]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/715-2018-%D0%BF>

66. ДСТУ 8828:2019 «Пожежна безпека. Загальні положення» [Чинний від 2020–01–01]

67. CFAST – Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport (Version 6) /

- Software and Experimental Validation Guide. – Chapters 5 – 11 // 5036-5-1 RU National Institute of Standards and Technology U.S. – Department of Commerce. – 2008. – 54 p.
68. FDS simulation of fire spreading on facade heat insulating system Yakovchuk, R., Kuzyk, A., Kagitin, O., Ivanusa, A., Yemelyanenko, S. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 635(1),012009, 2021 DOI 10.1088/1755-1315/635/1/012009
69. Fire Dangerous Properties of the Most Common Plants of Grass Ecosystems in Ukraine, S.O. Yemelianenko, K.L. Drach, A.D. Kuzyk, ECOLOGIA BALKANICA–Volume 12, Issue 1/June 2020, p. 147-154.
70. Computer simulation of fire test parameters façade heat insulating system for fire spread in fire dynamics simulator (FDS) Yakovchuk, R., Kuzyk, A., Skorobagatko, T., (...), Borys, O., Dobrostan, O., News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences, 2020, 4(442), pp. 35-44.
71. Fire risks of public buildings Yemelyanenko, S., Ivanusa, A., Yakovchuk, R., Kuzyk, A. News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences, 2020, 6(444), pp. 75-82.
73. Yemelyanenko, S., Rudyk, Y., Kuzyk, A., Yakovchuk, R. Geoinformational system of rescue services. MATEC Web of Conferences. Volume 247, 10 December 2018, Номер статті 000302018 Fire and Environmental Safety Engineering, FESE 2018; Lviv State University of Life SafetyLviv; Ukraine;
83. Allan Grice Fire risk. Fire safety Lav and its Practical Application / Allan M. Grice. – London : Printed in the UK by Marston Digital. – 2009. – 230 p.
84. Hasofer A. M. Risk Analysis in Building Fire Safety Engineering / A. M. Hasofer, V. R. Beck, I. D. Bennetts. – Amsterdam, 2007. – 189 p.
85. Jonkman S. N. An overview of quantitative risk measures for loss of life and economic damage / S. N. Jonkman, P.H.A.J.M. van Gelder, J. K. Vrijling // Journal of Hazardous Materials. – 2002. – A99. – P. 1-30.
86. Janik P. Ocena ryzyka w procesie przeciwdziałania zagrożeniom ludzi i środowiska [Електронний ресурс] / Pawel Janik. – Режим доступу: [http://www.ochronaprzeciwpozarowa.pl/ocena\\_ryzyka\\_w\\_procesie\\_przeciwdzialania\\_z](http://www.ochronaprzeciwpozarowa.pl/ocena_ryzyka_w_procesie_przeciwdzialania_z)

agrozeniom\_ludzi\_i\_srodowiska\_cz.\_1a,artykul,pl,112,0.html

89. FRAME. (Fire Risk Assessment Method for Engineering) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.framemethod.net/indexen.html>

92. De Smed, E. (2008). FRAME [Електронний ресурс]. Theoretical basis and technical reference guide. – режим доступу : <http://www.framemethod.net>

94. Програма FDS (Fire Dynamics Simulator) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [http://fds.sitis.ru/docs/FDS\\_5\\_User\\_Guide.pdf](http://fds.sitis.ru/docs/FDS_5_User_Guide.pdf)

95. Smokeview [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [http://fds.sitis.ru/docs/SMV\\_5\\_User\\_Guide.pdf](http://fds.sitis.ru/docs/SMV_5_User_Guide.pdf)

98. Aven T. Quantitative risk assessment : the scientific platform / T. Aven // Norway : University of Stavanger, Cambridge University Press, 2011. – 211 p.

99. Yung D. Principles of fire risk assessment in buildings / David Tin Lam Yung // Canada : 2008. – 227 p.

100. Yung D. Consideration of reliability and performance of fire protection systems in FiRECAM / D. Yung, N. Bénichou // Proc. In FIRE Conference. – Ottawa : 2000. – P. 1–11.

101. Yung D. A description of the probabilistic and deterministic modeling used in FiRECAM. / D. Yung, G. V. Hadjisophocleous, G. Proulx // International Journal on Engineering Performance-Based Fire Codes, 1999. – Vol. 1. – P. 18-26.

104. Бегун В. В. Моніторинг безпеки на основі аналізу імовірнісних структурно-логічних моделей виробництва / В. В. Бегун // Моделювання та інформаційні технології: Зб. наук. пр. – К. : ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України, 2009. – Вип. 52. – С. 53-75.

105. Климась Р. В. Розрахунок ризиків виникнення аварій із застосуванням програми SAPHIRE / Р. В. Климась // Сучасні проблеми охорони праці та аерології гірничих підприємств. – Донецьк : ДонНТУ. – 2011. – С. 6-9.

106. Dow's Fire and Explosion Index Hazard Classification Guide. – New York: Dow Chemical Company, American Institute of Chemical Engineers, 1994. – P. 25-32.

107. NFPA 101A, Alternative Approaches to Life Safety. – Quincy, MA: National Fire Protection Association, 2001. – P. 56-73.

108. Hultquist H. Evaluation of a Fire Risk Index Method for Multistorey Apartment



Buildings / H. Hultquist, B. Karlsson. – Sweden : Lund University, 2000. – № 3088. – P. 34-46.

109. Karlsson B. Fire Risk Index Method — Multi Storey Apartment Buildings. FRIM-MAB. Version 2.0. / B. Karlsson // Trätek, Rapport 0212053. –2002. – P. 22-28.

110. Evaluation en Vue de la Determination de la Grandeur des Compartiments Coupe-Feu. Note Explicative de Protection Incendie. – VKF/AEAI. – 2007. – 115 p.

111. Evaluation of Fire Hazard and Determining Protective Measures (According to Method M. Gretener). Association of Cantonal Institutions for Fire Insurance, Fire Prevention Service for Industry and Trade. – 1973. – P. 12-16.

112. Fontana M. (1984). Swiss Rapid Risk Assessment Method / M. Fontana / of Structural Engineering, SIA 81. — Zurich, Switzerland : ETH. – P. 20-28.