

DOI <https://doi.org/10.32447/20786662.46.2025.03>

С. Я. Вовк, О. В. Шаповалов, А. П. Кушнір, Н. О. Ференц
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності,
м. Львів, Україна

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5278-3754> – С. Я. Вовк
<https://orcid.org/0000-0001-8444-2006> – А. П. Шаповалов
<https://orcid.org/0000-0002-6946-8395> – А. П. Кушнір
<https://orcid.org/0000-0003-3139-0921> – Н. О. Ференц
✉ sergiy_vovk@ukr.net

АНАЛІЗ ШЛЯХІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОТИПОЖЕЖНОГО ЗАХИСТУ ВИСОТНИХ БУДІВЕЛЬ

Швидка розбудова міст в умовах дефіциту земельних ресурсів, удосконалення будівельних технологій, що передбачають використання нових речовин та матеріалів, спонукає забудовників зводити будівлі, які займають невелику земельну ділянку, але є значними за житловою площею та площею іншого призначення.

Конструктивні та архітектурні особливості висотних будівель висувають високі вимоги до забезпечення протипожежного захисту людей та майна. Законодавство України регламентує низку заходів, спрямованих на забезпечення протипожежного захисту висотних будівель, які часто з різних причин нівелюються людським фактором.

Для забезпечення протипожежного захисту висотних будівель використовуються різні підходи та методи, зокрема встановлення систем автоматичної пожежної сигналізації, автоматичних систем пожежогасіння, забезпечення належного експлуатування електротехнічного обладнання і наявних систем протипожежного захисту, підвищення ефективності евакуаційних заходів, а також використання останніх інноваційних досягнень науки і техніки зі впровадженням таких технологій, як відеоаналітика, штучний інтелект, для швидкого і безпомилкового виявлення пожежі, що може якісно вплинути на протипожежний захист зазначених об'єктів.

У статті проведено аналіз шляхів забезпечення протипожежного захисту висотних будівель, які застосовуються на території України та за кордоном, задля подальшого їх удосконалення та надання рекомендацій щодо підвищення ефективності виявлення та гасіння пожеж.

Для дослідження пожежної безпеки висотних будинків був використаний аналіз вимог нормативних документів, а також літературних джерел щодо нових підходів до вдосконалення протипожежного захисту цих будівель задля пошуку оптимальних, доцільних способів протипожежного захисту.

Для досягнення поставленої мети, окрім використання адресних СПС та спринклерних систем водяного пожежогасіння, якими захищаються висотні будівлі, необхідно провести низку досліджень задля визначення залежностей місць розміщення елементів СПЗ на швидкість виявлення загорання та ймовірності впливу сторонніх факторів на помилкові спрацювання.

Наслідки від пожеж, які виникли у висотних будівлях, зазначають на необхідність проведення досліджень у напрямі побудови більш ефективних механізмів захисту цих будівель від загорань. Створення таких механізмів лежить у напрямі використання сучасного інноваційного обладнання у поєднанні з інтелектуальними системами отримання, обробки та передачі інформації.

Ключові слова: протипожежний захист, висотні будинки, системи виявлення пожежі.

ANALYSIS OF WAYS TO PROVIDE FIRE PROTECTION FOR HIGH-RISE BUILDINGS

Rapid urban development in conditions of land resource shortage, improvement of construction technologies involving the use of new substances and materials, encourages developers to erect buildings that occupy a small land plot, but are significant in terms of living space and area for other purposes.

The structural and architectural features of high-rise buildings impose high requirements for ensuring fire protection of people and property. The legislation of Ukraine regulates a number of measures aimed at ensuring fire protection of high-rise buildings, which in many cases are leveled by the human factor for various reasons.

Various approaches and methods are used to ensure fire protection of high-rise buildings, including the installation of automatic fire alarm systems, automatic fire extinguishing systems, ensuring the proper operation of electrical equipment and existing fire protection systems, increasing the efficiency of evacuation measures, as well as using the latest innovative achievements of science and technology, introducing technologies such as video analytics, artificial intelligence, etc. for quick and accurate fire detection, which can have a qualitative impact on the fire protection of these facilities.

This article analyzes the ways to ensure fire protection of high-rise buildings, which are used in Ukraine and abroad, in order to further improve them and provide recommendations for increasing the efficiency of fire detection and extinguishing.

To study the fire safety of high-rise buildings, an analysis of the requirements of regulatory documents was used, as well as literary sources on new approaches to improving the fire protection of these buildings, in order to find optimal, appropriate methods of fire protection.

To achieve the goal, in addition to the use of addressable fire extinguishing systems and sprinkler water fire extinguishing systems, which protect high-rise buildings, it is necessary to conduct a number of studies in order to determine the dependence of the locations of fire extinguishing elements on the speed of fire detection and the probability of the influence of external factors on false alarms.

The consequences of fires that have occurred in high-rise buildings indicate the need to conduct research in the direction of building more effective mechanisms for protecting these buildings from fires. The creation of such mechanisms lies in the use of modern innovative equipment in combination with intelligent systems for receiving, processing and transmitting information.

Key words: fire protection, high-rise buildings, fire detection systems.

Постановка проблеми. Збільшення темпів науково-технічного прогресу як визначальний чинник у підвищенні якості будівництва і забезпечення пожежної безпеки шляхом вдосконалення систем протипожежного захисту (СПЗ) є основною умовою для інтенсифікації сучасної висотної будівельної галузі в Україні. Урбанізація та збільшення густоти населення призводять до збільшення кількості будівель житлового призначення, зокрема висотних. Такі будівлі надають великим містам виняткової виразності та сучасного індивідуального вигляду.

Висотні будівлі належать до об'єктів, в яких одночасно може перебувати більше 100 людей. Зазвичай вони мають підземні паркінги, а на перших поверхах розташовані приміщення громадського призначення. Пожежі та аварії у таких будівлях можуть призводити до значних жертв.

Підрозділами територіальних органів ДСНС упродовж 9 місяців 2024 року в Україні у житлових будинках та спорудах зареєстровано 20 433 пожежі [1].

За останні роки через пожежі сталися незворотні руйнування будівельних конструкцій висотних будівель різних архітектурних форм як в Україні, так і за кордоном (рис. 1).

Існує чимало прикладів пожеж фасадів будівель, які не відповідають протипожежним нормам. Вони супроводжуються поширенням вогню периметром будинку та руйнуванням фасадних конструкцій (рис. 2).

Яскравим підтвердженням цього стала масштабна пожежа, що виникла в Одесі 29 серпня 2015 року у житловому комплексі “Gagarinn Plaza”, яка за три години з 24-го поверху донизу поширилась на площу 3 000 м². Під час її гасіння, яке тривало більше чотирьох годин, троє співробітників пожежно-рятувальних підрозділів отримали травми. Житловий комплекс було здано в експлуатацію у 2014 році. Причиною швидкого поширення пожежі працівники ДСНС України називають порушення державних архітектурно-будівельних норм, а також відсутність внутрішнього протипожежного водопостачання [2].



а



б



в

Рис. 1. Пожежі у висотних будинках в розвинутих країнах світу: а – факельна вежа (Дубай, 2015 рік); б – Grenfell Tower (Лондон, 2017 рік); в – Едіфіціо Вілтон Паес де Алмейда (Бразилія, 2018 рік)



Рис. 2. Поширення пожежі у висотних будівлях



Рис. 3. Наслідки пожежі в 32-поверховому хмарочосі (Мадрид. Іспанія, 2005 рік)

Відсутність працюючої СПЗ у 32 поверховому хмарочосі «Віндзор» призвела до того, що пожежа, яка виникла на верхніх поверхах, швидко поширилась на всю будівлю, і це призвело до незворотної шкоди. Пожежа повністю знищила хмарочос висотою 106 метрів (рис. 3). Займання сталося на 21 поверсі через коротке замикання в електропроводці.

У місті Стамбул, найбільшому місті Туреччини, 17 липня 2012 року сталася серйозна пожежа у 42-поверховому хмарочосі “Polat Tower” висотою 152 метри. Ця будівля має багатофункціональне призначення і містить квартири, торговельні площі, офіси, кафе та інші приміщення. Зі стін палаючої будівлі вниз падали кулі з розплавленої пластмаси.

Уникненню жертв допомогла досконала система безпеки будівлі.

21 лютого 2015 року виникла пожежа в одному з найвищих житлових хмарочосів у світі, відомому як «Смолоскип», або “The Torch”, розташований у місті Дубаї, Об’єднаних Арабських Еміратів. Цей хмарочос був зведений у 2011 році. Висота будівлі складає 336 метрів, 79 поверхів. Вартість будівництва перевищила 180 мільйонів доларів США. Пожежа виникла на 50 поверсі.

На основі статистики пожеж у США та Великій Британії у роботі [3] зазначено, що основні причини пожеж у житлових будинках – це куріння, несправність електрообладнання та відкрите полум’я. М’які меблі, постільна білизна та матраци є першими предметами, які загоряються

від недопалків (сигарет) та відкритого вогню (сірники, запальнички), що призводить до більшості смертельних випадків. Пожежі від електромереж житлових будинків, на думку авторів [3], посідають друге місце за кількістю смертельних випадків.

Згідно з даними Національної асоціації пожежних США, з 2017 по 2021 роки місцеві пожежні служби щорічно реагували в середньому на 52 948 пожеж. Аналіз показує, що рівень смертності на 1 000 зареєстрованих пожеж у будинках, обладнаних спринклерними системами пожежогасіння, був на 90 % нижчим порівняно з будинками, де такі системи були відсутні (рис. 4).

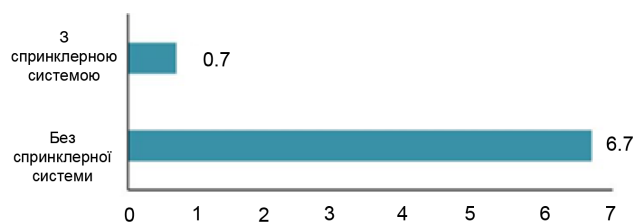


Рис. 4. Рівень смертності на 1 000 зареєстрованих пожеж

Як показано на рис. 5, рівень травмування серед цивільного населення на 1 000 зареєстрованих пожеж у будинках, обладнаних спринклерними системами, був на 31 % нижчим порівняно з будинками, де відсутні автоматичні системи пожежогасіння (АСПГ). Значна частина травм у таких будинках виникла внаслідок пожеж, масштаб яких був недостатнім для активації спринклерів. Ймовірно, деякі постраждалі отримали травми під час спроб самостійно загасити пожежу до моменту спрацювання системи.

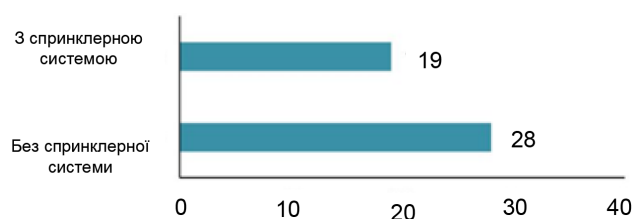


Рис. 5. Рівень травмування на 1 000 зареєстрованих пожеж

У період з 2017 по 2021 роки спринклерні системи активувалися у 92 % випадків пожеж, за умови їх наявності та достатньої інтенсивності пожежі для спрацювання системи. З-поміж пожеж, у яких системи були активовані, у 97 % випадків вони виявилися ефективними у локалізації пожежі. Сукупний аналіз цих показників свідчить про те, що спринклерні системи ефективно спрацювали у 89 % пожеж, які досягли інтенсивності, необхідної для їх активації.

Найпоширенішою причиною відмов спрацювання АСПГ було вимкнення цих систем. Інші причини відмов показано на рис. 6.



Рис. 6. Причини відмов АСПГ

Найнижчий рівень смертності на 1 000 зареєстрованих пожеж був зафіксований у будинках, обладнаних як спринклерними системами, так і дрововими димовими сповіщувачами. Як показано на рис. 7, порівняно з об'єктами, де відсутні як димові сповіщувачі, так і автоматичні системи пожежогасіння (AES), включно з будівлями на стадії будівництва, рівень смертності зменшувався залежно від наявних засобів пожежної безпеки:

- на 34 % – у випадках наявності димових сповіщувачів, що працюють на батарейках, без активної АСПГ;
- на 51 % – за наявності димових сповіщувачів з будь-яким джерелом живлення, без системи АСПГ;
- на 71 % – у будинках з дрововими димовими сповіщувачами, без використання АСПГ;
- на 92 % – у випадках, коли будинок був оснащений як спринклерною системою, так і дрововими димовими сповіщувачами.

Зазначені показники ґрунтуються на наявності різних типів протипожежного захисту. Варто підкреслити, що незначні пожежі в будинках, обладнаних СПС з димовими сповіщувачами, частіше спричиняють виклик пожежної служби, ніж аналогічні випадки у будинках з автономними пожежними сповіщувачами. Як наслідок, такі інциденти частіше фіксуються у звітності. Зазвичай автоматичні димові сповіщувачі є підключеними до приймальних приладів за допомогою дротів (шлейфів пожежної сигналізації).

За даними Міністерства внутрішніх справ Великої Британії, у період з квітня 2023 року по березень 2024 року 29 % пожеж у житлових приміщеннях сталися за наявності сповіщувача, який не спрацював або не подав сигнал тривоги. Основними причинами неспрацювання СПС є: 47 % – продукти горіння не досягли пожежних сповіщувачів; 16 % – пожежа виникла в зоні, не обладнаною

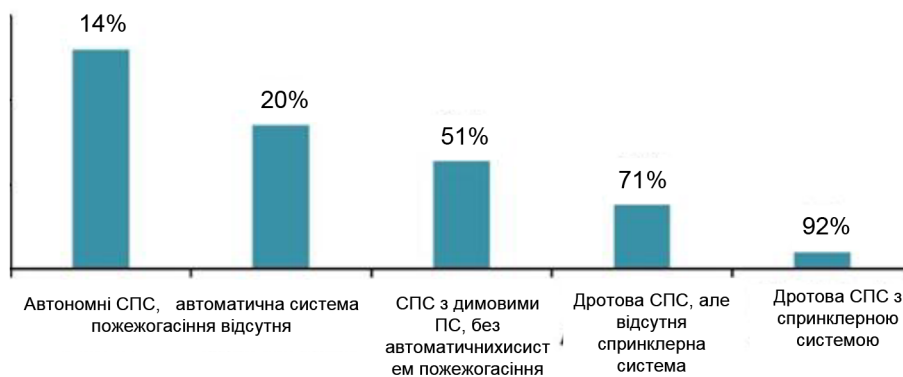


Рис. 7. Рівень смертності на 1 000 зареєстрованих пожеж

СПС; 3,2 % – джерела живлення у автономних пожежних сповісниках; 4 % – несправність джерела живлення; 2,9 % – несправна або неправильно встановлена СПС; 23 % – інші причини, зокрема пошкодження СПС вогнем або невідомі фактори; 4 % – інші фактори, що завадили спрацюванню.

У Лондоні пожежна служба відреагувала на 52 000 хибних тривог за рік. 98 % повідомлень про пожежу були хибними, з яких 90 % спричинені несправностями обладнання.

Згідно з аналізом, проведеним компанією “Personal Injury Claims UK”, було встановлено, що за останні п’ять років пожежно-рятувальні служби Великої Британії відреагували на 747 902 хибні тривоги. Ці помилкові виклики призвели до значного навантаження на ресурси, як фінансово, так і операційно. Дані показують, що між квітнем 2019 року та квітнем 2024 року щорічна кількість помилкових пожежних тривог коливалася від 130 000 до 180 000, що дорівнює понад 400 щоденним інцидентам.

Вдосконалення чинних стандартів та впровадження новітніх технічних засобів для забезпечення протипожежного захисту висотних будівель у разі виникнення пожежі є актуальною проблемою. Забезпечення належного рівня протипожежного захисту висотних будівель та ефективності діяльності пожежно-рятувальних служб у процесі ліквідації пожеж та рятування людей є одним з головних пріоритетів роботи Державної служби України з надзвичайних ситуацій.

Мета роботи. Аналіз шляхів забезпечення протипожежного захисту висотних будівель, які застосовуються на території України та за кордоном, задля подальшого пошуку оптимальних, доцільних способів протипожежного захисту.

Методи дослідження. Для дослідження пожежної безпеки висотних будинків був використаний аналіз вимог нормативних документів, а також літературних джерел щодо нових підходів до вдосконалення протипожежного захисту цих будівель.

Для досягнення поставленої мети потрібно виконати такі завдання:

- проаналізувати статистику пожеж у висотних будівель різних архітектурних форм як в Україні, так і за кордоном;
- провести аналіз нормативних документів щодо забезпечення пожежної безпеки у висотних будівлях;
- провести аналіз досліджень, спрямованих на підвищення ефективності виявлення та гасіння пожеж із застосуванням новітніх технологій для висотних будівель.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Авторами [4] проведений аналіз статистичних даних в Україні щодо пожеж у висотних будинках у довоєнний період. Виявлено, що кількість пожеж впродовж 2010–2019 років у висотних будинках різного призначення з умовною висотою вище 47 м збільшилася у 2,3 рази, з них 91 % пожеж відбувся у житлових висотних будинках. За результатом аналізу розподілу пожеж за досліджуваний період встановлено, що 60,5 % випадків пожеж відбувається внаслідок необережного поводження з вогнем, 30,4 % – порушення вимог правил пожежної безпеки під час влаштування та експлуатації електроустановок, а 9,1 % – з інших причин. Дослідження причин та місць виникнення пожеж вказує на те, що найпоширенішими початковими осередками пожежі є коридори та внутрішні сходові клітки, в яких знаходяться комунікаційні шахти та системи вентиляції, при цьому спостерігається тенденція щодо щорічного зниження кількості пожеж для цих типів приміщень.

У роботі [4] встановлено, що за результатами аналізу 707 пожеж, які сталися впродовж останніх десяти років у висотних будівлях, тільки у 51 випадку (7,2 % від кількості пожеж) будинки були обладнані СПЗ (всього 93 системи), з яких 8 – автоматичними системи пожежогасіння (АСПГ); 46 – системами пожежної сигналізації (СПС); 20 – системами протидимного захисту (СПДЗ); 19 – системами централізованого пожежного

спостереження. Упродовж 2010–2019 років завдяки спрацюванню СПЗ (54,8 % від їх загальної кількості) вдалося запобігти поширенню пожеж на значну площу, забезпечити евакуацію людей та врятувати матеріальні цінності на суму понад 68,2 млн гривень. Водночас 42 системи у житлових будинках не спрацювали. Слід відзначити, що жодна з новобудов, у якій сталася пожежа, не була обладнана СПЗ. За результатом аналізу пожеж за 2010–2019 роки виявлено низку недоліків щодо дотримання вимог пожежної безпеки для забезпечення належного утримання СПЗ, якими обладнуються висотні будинки. Також встановлено, що низька ефективність впровадження системи керування пожежною безпекою об'єктів захисту та їхніми протипожежними системами призводить до відсутності систематичного обслуговування і належного утримання цих систем, що призводить до відмови спрацювання систем, відсутності можливості вчасного виявлення та гасіння пожеж на початковій стадії їх виникнення та, як наслідок, призводить до загибелі і травмування людей, а також значних матеріальних збитків.

Аналіз статистичних даних щодо пожеж у висотних житлових будинках в Україні за 2010–2019 роки свідчить про зростання кількості пожеж у 2,3 рази, більшість яких відбулась у житлових будівлях. Основними причинами займання є необережне поводження з вогнем і порушення правил експлуатації електроустановок. Виявлено низький рівень оснащення висотних житлових будівель системами протипожежного захисту (СПЗ), а також їх незадовільне технічне утримання, що значно знижує ефективність реагування на пожежі та сприяє зростанню людських і матеріальних втрат. Аналогічна ситуація спостерігається і за кордоном, зокрема у США, де більшість смертей унаслідок пожеж стається у будинках без працездатних СПЗ. Це підкреслює необхідність досліджень задля удосконалення систем протипожежного захисту у висотних будівлях.

У роботі [5] зазначають, що наявні протипожежні заходи не завжди забезпечують достатній рівень пожежної безпеки у висотних будівлях. Вони часто базуються на мінімальних стратегіях пом'якшення небезпеки та не враховують сучасні виклики, пов'язані з пожежною небезпекою. Важливим кроком для зменшення пожежної небезпеки є вдосконалення засобів протипожежного захисту, ефективне регулювання та виконання сучасних будівельних норм. Підвищення обізнаності громадськості щодо пожежної безпеки та використання сучасних технологій є також важливими аспектами в цьому контексті. Дослідження та навчання у сфері пожежної безпеки мають

включати розроблення економічно ефективних СПЗ, раціональне проєктування пожежних підходів та оцінювання нових матеріалів. Ці кроки є важливими для подальшого підвищення рівня пожежної безпеки у висотних будівлях.

Нинішній рівень протипожежних заходів у висотних житлових будівлях є недостатнім для ефективного забезпечення пожежної безпеки, оскільки він часто ґрунтується на застарілих нормативних вимогах. Для зниження пожежної небезпеки необхідно вдосконалювати системи протипожежного захисту, впроваджувати сучасні будівельні норми, підвищувати обізнаність населення та контроль за експлуатуванням, а також застосовувати новітні технології. Подальший розвиток у сфері пожежної безпеки повинен включати розроблення економічно ефективних рішень, оптимальне проєктування СПЗ.

Аналіз статистичних даних про пожежі показує, що пожежна безпека висотних будівель забезпечується на етапі проєктування, будівництва та експлуатації об'єкта.

У нормативній літературі [6–10] встановлено вимоги пожежної безпеки до житлових будинків, СПЗ, обмеження шляхів поширення пожежі, наведено класифікацію житлових будинків залежно від умовної висоти.

Зокрема, у будівельних нормах [6] встановлено загальні вимоги пожежної безпеки до житлових будинків, які спрямовані на обмеження поширення пожежі між ними, обмеження поширення пожежі всередині будинків, убезпечення евакуації людей, створення умов для гасіння пожежі та проведення рятування людей під час пожежі, а також застосування систем протипожежного захисту.

Для класифікації житлових будинків використовують умовну висоту будинку, яку визначають різницею позначок найнижчого рівня проїзду (встановлення) пожежних автодрабин (автопідйомників) і підлоги верхнього поверху без урахування верхніх технічних поверхів, якщо на технічних поверхах розміщено лише інженерні обладнання та комунікації будинку. Умовна висота житлових будинків, у яких на верхньому поверсі розташовані лише квартири у двох рівнях, визначається за позначкою нижнього рівня квартир, якщо вихід з квартир до загального коридору будинку (на сходову клітку) влаштовано лише на нижньому рівні квартир [6]. За умовною висотою житлові будинки поділяють на такі: малоповерхові – заввишки $H < 9$ м; багатоповерхові – заввишки $9 \text{ м} < H < 26,5$ м; підвищеної поверховості – заввишки $26,5 \text{ м} < H < 47$ м; висотні – заввишки $H > 47$ м.

Для проектування нових і реконструкції, капітального ремонту житлових будинків з умовною висотою до 73,5 м, включно з одноквартирними та багатоквартирними, у тому числі спеціалізованими квартирними житловими будинками для осіб літнього віку і осіб з інвалідністю, а також гуртожитками, використовують будівельні норми [7]. Під час визначення поверховості надземної частини багатоквартирного житлового будинку до кількості поверхів включають усі надземні (зокрема, мансардний), у тому числі технічні і цокольний, якщо верх його перекриття розташований вище середньої планувальної позначки землі не менше ніж на 2 м. За різної кількості поверхів у різних частинах будинку на ділянці з ухилом поверховість визначають окремо для кожної частини будинку. Технічний поверх, розташований над верхнім житловим поверхом, під час визначення поверховості будинку не враховують.

У таких будинках необхідно встановлювати СПДЗ та АСПГ згідно з правилами [7]. Вилучення диму та гарячих газоподібних продуктів згоряння з поверхових коридорів у будинках з незадимлюваними сходовими клітками слід передбачати через спеціальні шахти з примусовою витяжкою і клапанами, які влаштовуються на кожному поверсі з розрахунку одна шахта на 30 м довжини коридору. Для кожної шахти тепло- та димовидалення, згідно з вимогами [7], слід передбачати окремий вентилятор. Шахти димовидалення повинні бути з негорючих матеріалів і мати клас вогнестійкості не менше ніж EI 180 – у висотних житлових і громадських будинках для транзитних повітроводів і шахт, розташованих за межами протипожежного відсіку, що ними обслуговується, та EI 120 – для вертикальних повітроводів і шахт у межах протипожежного відсіку, що ними обслуговується, системи підпору повітря проєктують у ліфтові шахти, сходові клітки, тамбур-шлюзи і ліфтові холи житлових будинків, а відповідні системи скидання надлишкового тиску з об'ємів, що захищаються, необхідно проєктувати згідно з правилами [8].

Проектування та будівництво висотних житлових будинків з умовною висотою понад 73,5 м і до 100 м здійснюється згідно з будівельними нормами [9]. Такі висотні будівлі повинні оснащуватися СПДЗ на основі адресованих і адресовано-аналогових технічних засобів. Усі вбудовані і прибудовані до них громадські та інші нежитлові приміщення (автостоянки, допоміжні, технічні, сміттєзбірні, стовбур сміттєпроводу тощо) слід обладнувати АСПГ.

СПС і АСПГ мають відповідати [9]. СПС повинна мати ієрархічну структуру з поділом по протипожежних відсіках і забезпечувати можливість

роботи системи кожного відсіку в автономному режимі. Розміщувати пожежні сповіщувачі необхідно так, щоб кожна точка контрольованого приміщення перебувала в межах робочих радіусів двох пожежних сповіщувачів згідно з вимогами [9]. У разі пошкодження шлейфів пожежної сигналізації в одному або декількох приміщеннях (квартирах) повинен забезпечуватись зв'язок з елементами системи, які встановлені в інших приміщеннях (квартирах), шляхом відключення пошкодженої ділянки. Дозволяється використовувати кільцеві шлейфи пожежної сигналізації з відгалуженнями в кожне приміщення (квартиру) з автоматичним захистом від короткого замикання у відгалуженні.

Системи оповіщення про пожежу та керування евакуюванням людей, системи диспетчеризації та автоматизації СПЗ повинні мати блочну структуру з поділом по протипожежних відсіках і також забезпечувати можливість роботи систем кожного відсіку в автономному режимі.

У роботі [10] пропонується для убезпечення людей та майна влаштовувати у новобудовах або під час реконструкції висотних житлових будинків спринклерні системи з накопиченою водою з повною або зниженою місткістю трубопроводів від резервуару. Використання цих систем здатне вплинути на поширення пожежі і як наслідок підвищити рівень захисту висотного житлового будинку.

Нормативні вимоги до побудови СПС і АСПГ, зокрема ієрархічна та блочна структура з автономною роботою по протипожежних відсіках, є технічно обґрунтованими та спрямованими на підвищення надійності функціонування систем у надзвичайних ситуаціях. Проте на практиці ці вимоги часто не виконуються через складність реалізації, технічну недосконалість обладнання, відсутність належного контролю за проєктуванням і монтажем, а також ігнорування експлуатаційної стійкості систем у разі пошкоджень. Існує потреба у перегляді та оновленні регламентів з урахуванням сучасних технологічних можливостей, а також у запровадженні жорсткіших механізмів контролю за їх дотриманням.

Висотні будівлі повинні обладнуватися пожежними ліфтами не менше двох у будівлі або в кожній секції будівлі. Улаштування пожежних ліфтів у висотних будівлях здійснюється відповідно до вимог ДСТУ EN 81-72, ДСТУ-НБВ.2.2-38.

Необхідність обладнання житлових висотних будинків, вбудованих (прибудованих) нежитлових приміщень СПЗ, а також вимоги до цих систем формується згідно з правилами [8]. Житлові висотні будинки з умовною висотою від 26,5 м до

73,5 м повинні мати у передпокоях квартир, позаквартирних коридорах та ліфтових холах пожежні сповіщувачі спонукальної системи СПДЗ з використанням адресних компонентів. Вбудовані приміщення різного призначення слід обладнувати СПЗ незалежно від площі. У будинках з умовною висотою понад 47 м сигнали від пожежних приймально-контрольних приладів автоматичних установок пожежної сигналізації треба виводити на пульт централізованого спостереження, а приміщення будинків з умовною висотою від 73,5 м до 100 м, окрім СПДЗ, необхідно обладнувати АСПГ. Обладнання будинків висотою понад 100 м СПС та АСПГ визначається індивідуальними технічними вимогами.

Висотні житлові будинки та приміщення підлягають обладнанню системами керування евакуюванням людей щодо систем оповіщення про пожежу та показників напрямку евакуювання з умовною висотою від 26,5 м до 73,5 м 1-го типу, а понад 73,5–100 м – 4-го типу [9]. За даними Національної асоціації протипожежного захисту (NFPA), СПЗ можуть зменшити кількість смертельних випадків до 87 % і збиток майна до 36 %.

Наявні нормативні вимоги щодо оснащення житлових висотних будинків СПЗ деталізовано регламентують умови застосування різних систем залежно від висоти будівлі та типу приміщень, що є важливим для підвищення пожежної безпеки. Водночас недоліком є складність реалізації цих вимог на практиці через значне варіювання технічних рішень, обмеження у фінансуванні, а також недостатній контроль з боку уповноважених органів за їх виконанням. Індивідуальний підхід до обладнання будівель понад 100 м без чітких уніфікованих стандартів створює ризики суб'єктивного трактування і зниження рівня безпеки. Попри доведену ефективність СПЗ за даними NFPA, їх широке впровадження обмежується слабкою нормативною відповідальністю за невиконання.

Для запобігання поширенню пожеж у висотних будівлях передбачають комплекс заходів, спрямованих на обмеження площі, інтенсивності та тривалості горіння [7; 8]. Найбільш ефективними з них є об'ємно-планувальні заходи безпеки, як-от:

- поділ будинку по вертикалі і горизонталі на протипожежні відсіки, обмеження площі і висоти відсіків;
- обмеження висоти розташування приміщень, гасіння пожежі в яких ускладнено, а також виділення цих приміщень протипожежними перешкодами;
- обмеження кількості шахт ліфтів, що перетинають межі пожежних відсіків, а також

обмеження зв'язку з шахтами ліфтів підземних і надземних поверхів;

- поділ будівлі протипожежними перешкодами, які блокують поширення пожежі за межі приміщень, між групами приміщень різної функціональної пожежної небезпеки, між поверхами та секціями, а також між пожежними відсіками.

Розподіл висотних будівель на протипожежні відсіки по вертикалі пропонується здійснювати протипожежними перекриттями, по горизонталі – протипожежними стінами, протипожежні перекриття повинні мати клас вогнестійкості не менше REI 180 або розділятися технічним поверхом з протипожежними перекриттями класом вогнестійкості не менше REI 120. На межі протипожежних відсіків (на рівні протипожежного перекриття) слід передбачати карниз по контуру будівлі, що виступає за межі фасаду не менше ніж на 0,75 м з класом вогнестійкості не менше EI 90, або зовнішні огорожувальні конструкції (перегородки, вікна, вітражі тощо) першого поверху наступного протипожежного відсіку повинні відповідати класу вогнестійкості не менше EI 90 хв. Житлова частина будинку повинна мати самостійні виходи і бути відокремленою від приміщень іншого функціонального призначення протипожежними стінами та перекриттями. Найбільша площа надземного поверху (відсіку) між протипожежними стінами – площа протипожежного відсіку – повинна бути не більше 1500 м² (для готелів), не більше 2000 м² (для житлових приміщень), не більше 2500 м² в інших випадках. Висота кожного протипожежного відсіку надземної частини будівлі не повинна перевищувати 50 м (16 поверхів).

Під час розміщення приміщень різної функціональної пожежної небезпеки всередині пожежного відсіку та будівлі необхідно враховувати, що приміщення, розраховані на одночасне перебування більше 500 осіб, повинні відокремлюватися від інших приміщень протипожежними стінами та перекриттями, а відстань від цих приміщень до незадимлюваних сходових кліток не повинна перевищувати 20 м.

Висотні будівлі через особливості конструкцій, як зазначено у роботах [11; 12], характеризуються підвищеним рівнем пожежної небезпеки порівняно із забудовою стандартної поверховості. Пожежа у висотній будівлі створює безліч проблем і висуває особливі критерії щодо забезпечення безпеки людей. Перш за все це стосується застосування пожежних сходів, евакуації людей, особливостей формування вогнища загоряння і поширення вогню, а також складності ліквідації надзвичайних ситуацій. Такі будинки часто

стають місцем виникнення великих пожеж через їх висоту, для них характерні швидке поширення вогню по вертикалі будівлі, обмежені можливості евакуації та складність ліквідації таких пожеж. Основна проблема полягає у тому, що шляхи евакуації швидко блокуються продуктами згоряння, а це створює небезпеку під час евакуації мешканців. Дим та отруйні гази швидко заповнюють приміщення, роблячи їх непридатними для перебування людей. Щоб запобігти подібним ситуаціям, необхідно дотримуватися вимог стандартів безпеки для будівельних матеріалів, якими утеплюють стіни та оздоблюють шляхи евакуації. Також наявні недоліки у системах протипожежного захисту висотних будівель під час виявлення пожеж, евакуації та оповіщення людей, димовидалення, недостатньою є межа вогнестійкості будівельних конструкцій та інші фактори, що сприяють зростанню пожежної небезпеки. Усунення цих причин пожежної небезпеки у висотних будинках на законодавчому рівні та вдосконалення протипожежних рішень за допомогою науково-технічного прогресу допоможе зменшити кількість пожеж, матеріальних збитків та забезпечити більшу безпеку для мешканців висотних будівель.

У роботі [13] автори вказують на особливості пожежної небезпеки висотних будинків, такі як швидке поширення пожежі та диму, тривалий час евакуації, значна тривалість пожежі, змішане розташування, обмежене водопостачання, складність пожежогасіння. Дослідники рекомендують вжити конкретних заходів для підвищення пожежної безпеки висотних будинків, включно зі стратегією «захисту на місці» або поетапною евакуацією, покращенням робочих характеристик та резервуванням активних і пасивних систем протипожежного захисту, підвищенням стійкості до руйнування, розробленням технології евакуації наступного покоління (захищений/посилений ліфт, зовнішні евакуаційні пристрої, пристрої для спуску по сходах), що забезпечують надійну передачу інформації в режимі реального часу та за межі приміщення.

Ефективне керування пожежною безпекою, як вважають дослідники [13], є важливим аспектом забезпечення безпеки висотних будівель, особливо з огляду на те, що житлові приміщення належать до категорії пожежонебезпечних. Забезпечення належного рівня пожежної безпеки в житлових приміщеннях відіграє вирішальну роль у збереженні життя мешканців та захисті їхнього майна. У роботі [13] проводиться оцінка заходів протипожежного захисту задля зниження ризику виникнення пожеж. Результатом цієї праці є розроблення контрольного списку для аналізу ризиків

і заходів протипожежного захисту. Цей контрольний список включає 32 фактори, які можуть спричинити пожежу, а також 25 заходів протипожежного захисту. Така система аналізу дає можливість визначити ключові аспекти пожежної безпеки та ефективно впроваджувати заходи для запобігання пожежам та їхнім наслідкам у житлових приміщеннях. Проте запропоновані рішення можуть бути складними для широкого впровадження через високу вартість, технологічну складність та обмежену нормативну інтеграцію. Крім того, відсутність дієвого механізму практичного застосування контрольного списку на рівні експлуатації житлових будинків обмежує його ефективність як інструмента керування пожежною безпекою.

Автори у роботі [14] звертають увагу на те, що стратегія ефективної профілактики виникнення пожеж у висотних будівлях повинна будуватись на основі цілей і задач створення безпеко-орієнтованого середовища та мінімізації наслідків в разі настання надзвичайної події. У своїй роботі вони провели аналіз методів оцінювання пожежних ризиків в Україні, країнах Америки та ЄС в результаті чого виявили недосконалості у сценаріях розвитку пожеж.

В результаті проведеної роботи автори встановили, що потрібно ґрунтовніше підходити до вибору можливих сценаріїв пожеж у комплексі оцінювання пожежних ризиків. Окрім того, автори виявили недосконалість вітчизняної методики розрахунку часу початку евакуації, що суттєво впливає на остаточний розрахунок індивідуальних та соціальних ризиків в комплексі інжинірингу пожежної безпеки. Також автори запропонували розробити методології вибору необхідних сценаріїв розвитку пожеж, що відповідатимуть параметрам пожежної безпеки, та вдосконалити методики розрахунку загального часу евакуації людей з урахуванням часу її початку.

Автори [15] також розглянули концепцію оцінки безпеки мешканців у багатоповерхових житлових будинках, в основі якої лежить визначення часу, протягом якого мешканці конкретної будівлі можуть бути евакуйовані у безпечне місце до того, як виникнуть умови, несприятливі для евакуації. В результаті проведеного дослідження автори стверджують, що моделювання пожежної небезпеки у висотних житлових будинках може бути виконано точно, враховуючи параметри ASET і RSET. Однак брак ресурсів і експертів у використанні відповідного програмного забезпечення робить цей метод, заснований на продуктивності, важкодоступним.

СПЗ, призначені для виявлення, контролю та гасіння пожеж, забезпечують раннє запобігання

та дають можливість здійснити оперативну евакуацію. СПС приводять в дію АСПГ, протипожежні двері, системи димовилучення та підпору повітря тощо. За оптимальної роботи ці системи можуть рятувати життя, зменшувати кількість травм і зводити до мінімуму пошкодження майна. Дослідженню і розробленню ефективних СПЗ на основі новітніх технологій присвячено низку наукових праць [16–23].

У роботі [17] розглядається необхідність вдосконалення протипожежного захисту висотних будівель за допомогою інтелектуальних систем «Інтернету речей». Основним ключем рівня сприйняття є технологія виявлення пожеж. Від чутливості детектора залежить, чи може система «Інтернету речей» працювати коректно, об'єктивно і ефективно в разі виявлення пожеж. У наявній СПС «рівень сприйняття» в архітектурі забезпечується димовими, тепловими сповіщувачами, сповіщувачами полум'я, газовим детектором та іншими моніторинговими пристроями СПЗ. Обладнання передає інформацію про пожежу та стан роботи системи шляхом виявлення фізичних параметрів, як-от температура, дим, випромінювання полум'я та атмосферний тиск. Однак чутливість і автоматизація детекторів та іншого обладнання в традиційній СПС не можуть повністю відповідати вимогам до детекторів у системі «Інтернету речей» для пожеж. Відсутність необхідного інтелектуального аналізу та оцінки, покращення та удосконалення системи також є центром майбутніх досліджень та розробок. Дослідники [17] стверджують, що пожежну безпеку висотних будинків можна покращити всебічно, використовуючи передові технології, такі як дрони, роботи та «Інтернет речей». Водночас критичним недоліком є те, що дослідження залишається переважно теоретичним, без належної практичної апробації або прикладів ефективної інтеграції таких рішень у реальні умови експлуатації. Крім того, реалізація подібних технологій потребує значних інвестицій, кваліфікованого обслуговування та змін у нормативно-правовій базі, що наразі гальмує їх широке впровадження.

Автори [18] підкреслюють, що важливим аспектом у висотних будівлях є автоматизований процес прийняття рішення як за нормального функціонування об'єкта керування (для таких випадків розроблені алгоритми «відпрацювання»), так і під час виникнення нестандартних (надзвичайних) ситуацій. При цьому вони зазначають, що всі надзвичайні ситуації неможливо передбачити, але важливо виробити критерії, за досягнення яких втрати будуть мінімальними. За виникнення пожежі у приміщенні, охопленому

полум'ям, за наявності людей буде оптимальним один алгоритм роботи системи, що забороняє відключення вентиляції, а за їх відсутності – інший, який передбачає відключення вентиляції для швидкого гасіння пожежі. Цих заходів необхідно вжити в межах автоматизованої системи контролю зі зворотним зв'язком, враховуючи системи резервування, які б виключали так званий людський фактор.

Аналіз результатів повномасштабних випробувань СПС NIST, спільно з використанням двоетапного RTI і даних про температуру відмови під час випробувань на нагрівання, проведений дослідниками [19], показав, що час від спрацювання сигналізації до її теплової відмови можливо оцінити. Тести показали, що конструкції димових сповіщувачів забезпечують необхідні 30 хв від спрацювання до втрати чутливості або виходу з ладу, при цьому мінімальний час становить понад 2 хв. У зв'язку зі збільшенням швидкості розвитку пожеж у житлових приміщеннях через зміну меблів та оздоблювальних матеріалів виробники димових сповіщувачів повинні переглянути конструкції та матеріали своїх пожежних сповіщувачів, щоб забезпечити відповідність нормативним вимогам щодо швидкості виявлення пожежі. Також важливо, щоб звукова сигналізація продовжувала працювати протягом принаймні 30 секунд після спрацювання, перш ніж втратить свою функціональність через температурні впливи пожежі.

У роботі [19] слушно наголошується на важливості впровадження автоматизованих систем прийняття рішень з урахуванням сценаріїв як стандартних, так і надзвичайних ситуацій, що підвищує ефективність реагування систем протипожежного захисту у висотних будівлях. Дослідження також акцентує на необхідності адаптації алгоритмів до наявності людей у зоні пожежі та вдосконаленні конструкцій пожежних сповіщувачів відповідно до сучасних викликів. Однак критика полягає у відсутності конкретних технічних рішень щодо реалізації цих алгоритмів, обмежній деталізації параметрів систем резервування та слабкій увазі до можливих збоїв у зворотному зв'язку системи. Крім того, пропозиція щодо оновлення конструкцій пожежних сповіщувачів потребує узгодження з виробничими стандартами та нормативною базою, що наразі не розглянуто достатньою мірою.

Під температурним режимом пожежі автори [20] розуміють зміну температури пожежі в часі. За температуру пожежі в приміщенні приймають середньооб'ємну температуру газового середовища, в якому відбувається пожежа. Температура

пожежі в приміщенні істотно залежить від його об'єму, часу розвитку пожежі, площі пожежі, пожежного навантаження, виду горючої речовини (теплоти згоряння речовини, масової швидкості вигорання речовини, швидкості поширення горіння), інтенсивності газообміну, тепловтрат на нагрівання конструкцій, температури повітря, що надходить у приміщення. Якщо повітрообмін у приміщенні не обмежений, то інтенсивність горіння збільшується, зростає температура в зоні реакції горіння. З іншого боку, це повітря має достатньо низьку температуру, тому температура пожежі може падати. Те, який саме з цих двох факторів буде впливовішим, залежить від конкретної ситуації.

Газообмін на пожежі, як стверджують автори [20], відіграє вирішальне значення у забезпеченні безпеки людей, які перебувають всередині приміщення, і забезпеченні умов для організації і вжиття заходів для їх порятунку, гасінню пожежі. За пожежі в приміщенні, залежно від умов газообміну, на певній висоті від рівня підлоги фізичні параметри газового середовища (густина, тиск) відповідають фізичним параметрам повітря поза приміщенням. Цю площину прийнято називати нейтральною зоною або площиною рівних тисків. Визначення рівня нейтральної зони за пожежі в огороженні необхідне для організації евакуації людей, роботи особового складу в зоні задимлення з використанням індивідуальних засобів захисту.

Основними способами регулювання газообміну пожежі в приміщенні, на думку дослідників [20], можуть бути такі:

- зниження тиску у верхній частині приміщення шляхом відкачки нагрітих продуктів згоряння пересувними димовсмоктувачами і використання систем примусового вилучення диму та вентиляції;
- відкриття витяжних отворів у зоні, де створюється максимальна температура і тиск продуктів горіння (відкриваються димові та аераційні люки у верхній частині приміщення);
- зниження температури продуктів горіння, отже, їх тиску за допомогою тонкорозпиленних струменів води;
- регулювання співвідношення площі припливних і витяжних отворів: за збільшення площі витяжних отворів відбувається підвищення рівня нейтральної зони, поліпшується процес аерації приміщення, нейтральна зона завжди розташовується ближче до тих отворів, площа яких більше.

Попри теоретичну ґрунтовність, у дослідженні [20] відсутні практичні методики або моделі визначення нейтральної зони в реальних умовах

пожежі. Також не розглядається вплив складних форм архітектури приміщень на параметри газообміну та можливі труднощі точного вимірювання середньооб'ємної температури. Відсутність посилання на стандартизовані способи моделювання пожежного розвитку (наприклад, CFD-моделі) обмежує застосовність наведених висновків у проєктуванні СПЗ.

Раннє попередження про пожежу у висотних будівлях, як зазначають автори [21], є важливим засобом попередження мешканців та запобігання пожежі. У їхній роботі щодо пожеж у висотних будівлях проаналізовано причини виникнення пожеж у висотних будинках у 2019 році та узагальнено причини виникнення пожеж у висотних будівлях. Запропоновано інтелектуальну систему раннього попередження про пожежу у висотних будівлях на основі злиття багатовимірних даних. На основі фактичних даних прогнозу система, заснована на злитті багатовимірних даних, аналізується за допомогою моделювання “Matlab”, перевіряючи здійсненність і надійність створеної системи раннього попередження про пожежу. Результати досліджень мають певне орієнтовне значення для оповіщення про пожежу у висотних будівлях.

Одним з найважливіших аспектів пожежної безпеки, як вважають автори [22], є раннє виявлення пожежі. Традиційних димових пожежних сповіщувачів може бути недостатньо у багатоповерхових будинках через їх складне планування та значні розміри. Щоб подолати цю проблему, були розроблені вдосконалені системи виявлення пожежі:

- відеовиявлення полум'я та диму: ці системи використовують алгоритми відеоаналізу для виявлення полум'я та диму, вони здатні виявити пожежу ще до того, як традиційні сповіщувачі спрацюють;
- удосконалені багатоканальні сповіщувачі: ці сповіщувачі поєднують кілька сенсорів, таких як сенсорів диму, тепла та СО, щоб забезпечити комплексні можливості виявлення пожежі, вони можуть точніше відрізнити ознаки пожежі від ознак, які не пов'язані з пожежею;
- бездротові сенсорні мережі: ці мережі складаються з взаємопов'язаних сповіщувачів диму та тепла, що забезпечує моніторинг у реальному часі та миттєве сповіщення персоналу керування.

Дослідники доходять висновку, що відеосистеми виявлення полум'я та диму забезпечують раннє виявлення пожежі, що впливає на площу пожежі.

СПС для виявлення пожежі, як вважають дослідники [23], відіграють важливу роль

у запобіганні великих пожеж та зменшенні втрат, пов'язаних з пожежею. СПС можуть бути реалізовані за допомогою візуальних датчиків (відеокамер) або комбінуванням сповіщувачів, залежно від конкретного середовища та вимог. Використання відеоаналізу у виявленні пожежі дає можливість ідентифікувати візуальні ознаки, такі як дим і полум'я. Однак недоліком є те, що необхідно мати хорошу якість зображення. У роботі [23] підкреслено ефективність використання пожежних відеосповіщувачів, які використовують алгоритми виявлення загорання за допомогою різних методів визначення характеристик полум'я та диму, базуючись на спектральних, просторових або часових властивостях. Такі рішення дійсно підвищують точність і швидкість реагування систем пожежної сигналізації, особливо в умовах складної архітектури. Хоча автори слушно акцентують на перевагах новітніх технологій, вони недостатньо розглядають їхні обмеження у практичному застосуванні. Наприклад, ефективність відеоаналізу значно знижується за умов низької видимості (дим, ніч, технічні несправності камер). Крім того, в роботах бракує аналізу можливих хибних спрацювань, що можуть зменшити довіру до систем.

Автори [24–29] проаналізували роботу різних типів сповіщувачів та за допомогою моделювання спрогнозували їх роботу за різних умов експлуатування. Так, у роботі [24] аналізуються різні типи пожежних сповіщувачів: теплові, димові, мультисенсорні та пожежні сповіщувачі полум'я. Залежно від умов їх використання, перешкод, які можуть бути на об'єкті, формуються висновки щодо доцільності використання тих чи інших пожежних сповіщувачів. Враховуючи значні збитки від пожеж, час є критичним фактором виявлення пожежі. На швидкість виявлення займання пожежним сповіщувачем, окрім різних чинників, впливає те, наскільки правильно і якісно розроблено алгоритм роботи пожежних сповіщувачів. В роботах [26–28] пропонується зменшити час виявлення загорання ПС за рахунок розробок алгоритмів роботи на основі нечіткої логіки та нейронних мереж. Ці та інші дослідження, які виконують у цій галузі, необхідно враховувати під час вибору пожежних сповіщувачів для захисту приміщень у висотних будівлях.

У роботах [24–28] обґрунтовано важливість удосконалення систем пожежогасіння та виявлення пожежі у висотних житлових будинках, зокрема через впровадження спринклерних систем і вдосконалення алгоритмів роботи пожежних сповіщувачів з використанням сучасних технологій – нечіткої логіки та нейронних мереж. Такі підходи сприяють підвищенню швидкості

реагування та загального рівня безпеки. Запропоновані рішення є перспективними, в роботах недостатньо уваги приділено питанням технічної реалізації в умовах наявної інфраструктури, особливо під час реконструкції. Впровадження інтелектуальних алгоритмів вимагає значних ресурсів, тестування на надійність і кіберзахист, що автори оминають. Крім того, відсутній глибокий аналіз експлуатаційної надійності спринклерних систем у реальних сценаріях, зокрема за обмеженого водопостачання або відмови елементів.

В роботі [29] за допомогою комп'ютерного моделювання у програмному середовищі “Fire Dynamics Simulator”, яка працює на платформі інтерфейсу “PyroSim”, змодельовано температурні режими пожежі та залежності задимлення на одиницю довжини від часу в приміщенні кабінету, адміністративному приміщенні і приміщенні виробництва фанери. За допомогою нейронної мережі апроксимовано ці криві. Модель нейронної мережі була побудована та навчена в пакеті “Neural Network Start GUI” програмного середовища “MATLAB 2020a”. Отримані залежності можна використати для дослідження розвитку пожежі в приміщеннях висотних будівель. Маючи ці апроксимовані криві, можна навчити нейронну мережу розрізняти ознаки пожежі від оманливих явищ, не пов'язаних з пожежею.

На основі проведеного аналізу СПЗ у висотних будівлях можна дійти таких висновків:

- статистика пожеж у висотних будівель показала, що, незважаючи на низку наявних протипожежних заходів, ця тематика залишається актуальною для подальших досліджень;
- наявна нормативна документація щодо забезпечення пожежної безпеки у висотних будівлях неповністю враховує останні інноваційні технології;
- не розглядаються методи для визначення складових СПЗ, виходячи з конкретних умов;
- одним зі способів підвищення протипожежного захисту є використання та вдосконалення наявних СПЗ, а також розроблення інноваційних елементів систем, які забезпечать швидке і безпомилкове виявлення пожежі.

Висновки. Проведений аналіз наукових робіт з дослідження пожежної небезпеки висотних будівель та чинних стандартів показав, що для забезпечення пожежної безпеки цих будівель рекомендуються різноманітні заходи, а саме встановлення СПЗ, належне експлуатування його та іншого електротехнічного обладнання, підвищення ефективності евакуаційних заходів. Однак наведені рекомендації не забезпечують повною мірою пожежну безпеку висотних будівель, тому потребують додаткових досліджень та удосконалень.

Небезпеки, які виникають під час пожежі у висотних будівлях, спонукають до розроблення більш ефективних засобів захисту зазначених будівель від пожеж. Одним зі способів підвищення протипожежного захисту є використання та вдосконалення наявних СПЗ, а також розроблення новітніх елементів систем, які забезпечать швидке і дійсне виявлення пожежі. Особливо забезпечити надійний захист з дотриманням вимог нормативних документів можна зі впровадженням СПС з використанням аспіраційних, інтелектуальних точкових пожежних сповіщувачів та відеосповіщувачів, які використовують алгоритми виявлення загорання з різними методами визначення характеристик полум'я та диму, базуючись на спектральних, просторових або часових властивостях.

Для досягнення поставленої мети, окрім використання адресних СПС та спринклерних систем водяного пожежогасіння, якими захищаються висотні будівлі, необхідно провести низку досліджень задля визначення залежностей місць розміщення елементів СПЗ від швидкості виявлення загорання та гасіння, а також ймовірності впливу сторонніх факторів на помилкові спрацювання. Для використання сучасних інтелектуальних ПС та пожежних відеосповіщувачів необхідно вдосконалити наявні рекомендації щодо впровадження інтелектуальних ПС та розробити нові рекомендації для останніх, враховуючи те, що в Україні відсутня нормативна база щодо їх застосування, а міжнародні нормативні документи не дають вичерпних вимог до впровадження пожежного відеоспостереження для захисту об'єктів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Аналітична довідка про пожежі та їх наслідки в Україні за 9 місяців 2024 року. URL: <https://dsns.gov.ua/upload/2/2/8/5/6/0/5/analitichna-dovidka-pro-pojeji-092024.pdf>
2. Башинський О. І., Пелешко М. З., Судніцин Ю. Т. Аналіз причин пожежної небезпеки висотних будинків та будинків підвищеної поверховості міста Львів. *Пожежна безпека*. 2019. № 34. С. 10–15. DOI: 10.32447/20786662.34.2019.02
3. Troitzsch, J. H. Fires, statistics, ignition sources, and passive fire protection measures. *Journal of fire sciences*. 2016. № 34(3). Р. 171–198.
4. Одинець А. В., Балло Я. В., Голікова С. Ю., Несенюк Л. П. Аналіз стану з пожежами у висотних будинках в Україні. *Цивільний захист та пожежна безпека*. 2020. № 2(10). С. 91–102.
5. Kodur, V., Kumar, P., Rafi, M. M. Fire hazard in buildings: review, assessment and strategies for improving fire safety. *PSU Research Review*. 2019. 4.1. Р. 1–23.
6. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги: ДБН В.1.1-7:2016 [чинний від 2017-06-01]. Мінрегіонбуд України, 2017. 35 с.
7. Житлові будинки. Основні положення ДБН В.2.2-15:2019 [чинний від 01.12.2019]. Мінрегіонбуд України, 2019. 41 с.
8. ДБН В.2.2-41:2019 Висотні будівлі. Основні положення [чинний від 2020-01-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіонбуд України, 2019. 53 с.
9. Системи протипожежного захисту. Зі Зміною № 1: ДБН В.2.5-56:2014 [чинний від 13.11.2014]. Мінрегіонбуд України, 2019. 97 с.
10. Стационарні системи пожежогасіння. Автоматичні спринклерні системи для захисту об'єктів для проживання і перебування людей. Проектування, монтування та технічне обслуговування ДСТУ EN 16925:2019 (EN 16925:2018, IDT) [чинний від 2020-01-01] ДП «УкрНДНЦ», 2019. 77 с.
11. Cowlard A., Bittern A., Abecassis-Empis C., Torero J. Fire safety design for tall buildings. *Procedia Engineering*. 2013. 62. Р. 169–181.
12. Балло Я. В., Голікова С. Ю., Сізіков О. О., Жихарев О. П., Савченко О. В., Несенюк Л. П. Вимоги пожежної безпеки до висотних громадських будівель з умовною висотою від 100 м до 150 м. *Цивільний захист та пожежна безпека*. 2021. № 2(12). С. 30–42.
13. Gautami, Chirag, Mayuri Prajapati, Ronak Khurana. Analysis of factors affecting fire safety management of residential building. *Int. Res. J. Eng. Technol*. 2020. № 7. Р. 81–87.
14. Оношко І. А., Ковалишин В. В. Аналіз методології оцінювання пожежних ризиків. *Пожежна безпека*. 2022. № 41. С. 94–102. DOI: 10.32447/20786662.41.2022.1
15. Kurniawan, T. A., Tambunan, L., Imaniar, L. N. Fire Safety Parameters of High-Rise Residential Building: A Literature Review of Performance-Based Analysis Method. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (may 2018). Chicago. DOI: 10.1088/1755-1315/152/1/012030
16. Xiuyu Liu, Hao Zhang, Qingming Zhu. Factor analysis of high-rise building fires reasons and fire protection measures. *Procedia Engineering*. 2012. № 45. Р. 643–648.
17. Song, L Z., Zhu, J., Liu, S. T., Qu, Z. J. Recent Fire Safety Design of High-Rise Buildings. *Journal of Urban Development and Management*. 2022. № 1(1). Р. 50–57. DOI: <https://doi.org/10.56578/judm010106>
18. Мельничук М. М., Шостачук А. М., Шостачук Д. М. Управління висотною будівлею як складним об'єктом. Моделі реакції системи. *Вісник ЖДТУ*. 2013. № 4(67). С. 17–21.
19. Geraldine Martin, Haavard Boehmer, Stephen M. Olenick. Thermally-Induced Failure of Smoke Alarms. *Fire Technology*. 2020. V. 56. Р. 673–692. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10694-019-00898-6>

20. Температурний режим пожежі у приміщенні. URL: <http://edu-mns.org.ua/avtomat/lessons/2/2.html>
21. Kong S., Fang X., Yang P., Yang Z., & Wang W. Research on High-rise Building Fire Early Warning System Based on Multidimensional Data Fusion. *5th International Workshop on Advances in Energy Science and Environment Engineering*. 12 May 2021 P. 1–5.
22. Ridhani M. F., Mahmudy W. F. Advancements in Fire Alarm Detection using Computer Vision and Machine Learning: A Literature Review. *Journal of Information Technology and Computer Science*. 2023. № 8.2. P. 86–97.
23. Шаповалов О. В., Вовк С. Я., Ференц Н. О., Оношко І. А., Кіндрацький Ю. Ю. Аналіз та шляхи вдосконалення систем протипожежного захисту логістичних складів. *Пожежна безпека*. 2024. № 44. С. 81–97.
24. Оношко І. А., Кушнір А. П., Вовк С. Я., Кобко В. А. Аналіз можливостей підвищення протипожежного захисту авіаційних ангарів шляхом вдосконалення високотехнологічних систем виявлення пожежі. *Пожежна безпека*. 2023. № 43. С. 99–112. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.32447/20786662.43.2023.12>
25. Kushnir A., Kopchak B. Development of Multiband Flame Detector with Fuzzy Correction Block. *2021 IEEE XVII International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH)*, Polyana, Ukraine, May 12–16, 2021, pp. 58–63. DOI: 10.1109/MEMSTECH53091.2021.9468075
26. Kushnir A., Kopchak B., Oksentyuk V. Development of Heat Detector Based on Fuzzy Logic Using Arduino Board Microcontroller. *2023 IEEE 17th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems, CADSM 2023*, Jaroslaw, Poland, 22–25 February 2023, pp. 1–5. DOI: 10.1109/CADSM58174.2023.10076536
27. Uduak Umoh, Udoinyang G. Inyang, Emmanuel E. Nyoho. Interval Type-2 Fuzzy Logic for Fire Outbreak Detection, *International Journal on Soft Computing. Artificial Intelligence and Applications (IJSCAI)*, August 2019. Vol. 8. No. 3, pp. 27–46.
28. Robert A. Sowah, Kwaku Apeadu, Francis Gatsi, Kwame O. Ampadu, and Baffour S. Mensah. Hardware Module Design and Software Implementation of Multisensor Fire Detection and Notification System Using Fuzzy Logic and Convolutional Neural Networks (CNNs). *Journal of engineering*. 2020. Article ID 3645729. DOI: <https://doi.org/10.1155/2020/3645729>.
29. Кушнір А. П., Копчак Б. В., Вовк С. Я. Апроксимація динамічних характеристик пожежі нейронною мережею для розробки інтелектуальних пожежних сповіщувачів з сенсорами диму та тепла. *Пожежна безпека*. 2022. № 41. С. 73–86. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.32447/20786662.41.2022.09>

REFERENCES

1. Analitychna dovidka pro pozhezhi ta yikh naslidky v Ukraini za 9 misiatsiv 2024 roku [Analytical report on fires and their consequences in Ukraine for 9 months of 2024]. Retrieved from: <https://dsns.gov.ua/upload/2/2/8/5/6/0/5/analitychna-dovidka-pro-pojeji-092024.pdf> [in Ukrainian].
2. Bashynskiy, O. I., Peleshko, M. Z., & Sydnitsyn, T. Yu. (2019). Analiz prychyn pozhezhoyi nebezpeky vysotnykh budynkiv ta budynkiv pidvyschenoyi poverkhovosti mista L'viv. [Analysis of reasons of high-rise buildings fire hazard in Lviv]. *Fire safety*, 34, 10–15 [in Ukrainian].
3. Troitzsch, J. H. (2016). Fires, statistics, ignition sources, and passive fire protection measures. *Journal of fire sciences*. 34(3). P. 171–198.
4. Odynets, A. V., Ballo, Ya. V., Golikova, S. Yu., & Nesenyuk, L. P. (2020). Analiz stanu z pozhezhamy u vysotnykh budynkakh v Ukraini. [Analysis of the situation with fires in high-rise buildings in Ukraine]. *Civil protection and fire safety*. № 2(10), 91–102 [in Ukrainian].
5. Kodur, V., Kumar, P., & Rafi, M. M. (2019). Fire hazard in buildings: review, assessment and strategies for improving fire safety. *PSU Research Review*. 4.1. P. 1–23.
6. Pozhezhna bezpeka ob'yektiv budivnytstva. Zahal'ni vymohy [Fire safety of construction sites. General requirements]. (2017). DBN B.1.1-7:2016 from 1th June 2017. Minrehionbud Ukraine [in Ukrainian].
7. Zhytlovi budynky. Osnovni polozhennya. [Residential buildings. Basic provisions]. (2019). DBN B.2.2-15-2019 from 1th December 2019. Minrehionbud Ukraine [in Ukrainian].
8. Vysotni budivli. Osnovni polozhennya. [High-rise buildings. Basic provisions]. (2019). DBN B.2.2-41:2019 from 1th January 2019 [in Ukrainian].
9. Systemy protypozhezhnoho zakhystu. Zi Zminoyu № 1. [Fire protection systems. With Amendment No. 1]. (2019). From 13th November 2014. Minrehionbud Ukraine [in Ukrainian].
10. Statsionarni systemy pozhezhozasinnya. Avtomatychni sprynklerni systemy dlya zakhystu ob'yektiv dlya prozhyvannya i perebuvannya lyudey. Proektuvannya, montuvannya ta tekhnichne obsluhovuvannya. [Stationary fire extinguishing systems. Automatic sprinkler systems for the protection of residential and occupied facilities. Design, installation and maintenance]. (2019). DSTU EN 16925:2019 (EN 16925:2018, IDT) from 1th January 2020. “UkrNDNC” [in Ukrainian].
11. Cowlard, A., Bittern, A., Abecassis-Empis, C., & Torero, J. (2013). Fire safety design for tall buildings. *Procedia Engineering*. 62. P. 169–181.
12. Ballo, Ya. V., Holikova, S. Yu., Sizikov, O. O., Zhykharyev, O. P., Savchenko, O. V., & Nesenyuk, L. P. Vymohy pozhezhnoyi bezpeky do vysotnykh hromads'kykh budivel' z umovnoyu

vysotoyu vid 100 m do 150 m. [Fire safety requirements for high-rise public buildings with a nominal height of 100 m to 150 m.]. *Civil protection and fire safety*. № 2(12), 30–42 [in Ukrainian].

13. Gautami, Chirag, Mayuri Prajapati, & Ronak Khurana. (2020). Analysis of factors affecting fire safety management of residential building. *Int. Res. J. Eng. Technol.* 7, 81–87.

14. Onoshko, I. A., & Kovalyshyn, V. V. (2022). Analiz metodolohiyi otsynuyannya pozhezhnykh ryzykiv. [Analysis of the methodology for assessing fire risks] *Fire safety*. 1 (1), 50–57. DOI: <https://doi.org/10.56578/judm010106> [in Ukrainian].

15. Kurniawan, T. A., Tambunan, L., & Imaniar, L. N. (2018). Fire Safety Parameters of High-Rise Residential Building: A Literature Review of Performance-Based Analysis Method. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (May 2018). DOI: 10.1088/1755-1315/152/1/012030

16. Xiuyu Liu, & Hao Zhang, Qingming Zhu. (2012). Factor analysis of high-rise building fires reasons and fire protection measures. *Procedia Engineering*, 45. P. 643–648.

17. Song, L. Z., Zhu, J., Liu, S. T., Qu, Z. J. (2022). Recent Fire Safety Design of High-Rise Buildings. *Journal of Urban Development and Management*. 1 (1), 50–57. DOI: <https://doi.org/10.56578/judm010106>

18. Mel'nychuk M. M., Shostachuk A. M., Shostachuk D. M. (2013). Upravlinnya vysotnoyu budivleyu yak skladnym ob'yektom. Modeli reaktsiyi systemy. [Management of a high-rise building as a complex object. Models of system response]. *Bulletin of ZhDTU*. № 4(67), 17–21 [in Ukrainian].

19. Geraldine Martin, Haavard Boehmer, Stephen M. Olenick. (2020). Thermally-Induced Failure of Smoke Alarms. *Fire Technology*. V. 56, 673–692.

20. Temperaturnyy rezhym pozhezhi u prymishchenni. [Temperature regime of fire in the room]. Retrieved from <http://edu-mns.org.ua/avtomat/lessons/2/2.html> [in Ukrainian].

21. Kong S., Fang X., Yang P., Yang Z., & Wang W. (2021). Research on High-rise Building Fire Early Warning System Based on Multidimensional Data Fusion. 5th International Workshop on Advances in Energy *Science and Environment Engineering*, 12 May. P. 1–5.

22. Ridhani, M. F., & Mahmudy, W. F. (2023). Advancements in Fire Alarm Detection using Computer Vision and Machine Learning: A Literature Review. *Journal of Information Technology and Computer Science*. 8.2, 86–97.

23. Shapovalov, O. V., Vovk, S. Ya., Ferents, N. O., Onoshko, I. A., & Kindrats'kyi, Yu. Yu. (2024). Analiz ta shlyakhy vdoskonalennya system protypozhezhnoho zakhystu lohistychnykh skladiv. [Analysis and ways to improve fire protection systems of logistics warehouses]. *Fire safety*. 44, 81–97 [in Ukrainian].

24. Onoshko, I. A., Kushnir, A. P., Vovk, S. Ya., & Kobko, V. A. (2023). Analiz mozhyvostey pidvyshchennya protypozhezhnoho zakhystu aviatsiynykh anhariv shlyakhom vdoskonalennya vysokotekhnolohichnykh system vyyavleniya pozhezhi. [Analysis of the possibilities of increasing the fire protection of aircraft hangars by improving high-tech fire detection systems]. № 43, 99–112. DOI: <https://doi.org/10.32447/20786662.43.2023.12>

25. Kushnir, A., & Kopchak, B. (2021). Development of Multiband Flame Detector with Fuzzy Correction Block. 2021 *IEEE XVII International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH)*, Polyana, Ukraine, May 12–16, pp. 58–63. DOI: 10.1109/MEMSTECH53091.2021.9468075

26. Kushnir, A., Kopchak, B., & Oksentyuk, V. (2023). Development of Heat Detector Based on Fuzzy Logic Using Arduino Board Microcontroller. 2023 *IEEE 17th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems, CADSM 2023*, Jaroslav, Poland, 22–25 February, pp. 1–5. DOI: 10.1109/CADSM58174.2023.10076536

27. Uduak Umoh, Udoinyang G. Inyang, Emmanuel E. (2019). Nyoho. *Interval Type-2 Fuzzy Logic for Fire Outbreak Detection, International Journal on Soft Computing. Artificial Intelligence and Applications (IJSCAI)*, August, Vol. 8. No. 3, pp. 27–46.

28. Robert A. Sowah, Kwaku Apeadu, Francis Gatsi, & Kwame O. (2020). Ampadu, and Baffour S. Mensah. Hardware Module Design and Software Implementation of Multisensor Fire Detection and Notification System Using Fuzzy Logic and Convolutional Neural Networks (CNNs). *Journal of engineering*. Volume 2020. Article ID 3645729. DOI: <https://doi.org/10.1155/2020/3645729>

29. Kushnir, A. P., Kopchak, B. V., & Vovk, S. Ya. Aproksymatsiyadynamichnykhkharakterystykpozhezhi neyronnoyu merezheyu dlya rozrobky intelektual'nykh pozhezhnykh spovishchuvachiv z sensoramy dymu ta tepla. [Approximation of dynamic fire characteristics by a neural network for the development of intelligent fire detectors with smoke and heat sensors]. *Fire safety*. № 41, 73–86. DOI: <https://doi.org/10.32447/20786662.41.2022.09>

© С. Я. Вовк, О. В. Шаповалов, А. П. Кушнір, Н. О. Ференц

Оглядова стаття

Надійшла до редакції 27.03.2025

Прийнято до публікації 04.06.2025