



**ЛЬВІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ БЕЗПЕКИ
ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ**

**МАТЕРІАЛИ ДРУКУЮТЬСЯ
УКРАЇНСЬКОЮ, АНГЛІЙСЬКОЮ,
ПОЛЬСЬКОЮ МОВАМИ**

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

*XXI Міжнародної науково-практичної
конференції молодих вчених, курсантів та
студентів*

ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ В УМОВАХ ВІЙНИ

Львів – 2026

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

- Голова:** Дмитро БОНДАР – ректор Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, Заслужений працівник цивільного захисту України, доктор юридичних наук, доцент.
- Заступники голови:** Василь ПОПОВИЧ – проректор з наукової роботи Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, доктор технічних наук, професор;
Ярослав ІЛЬЧИШИН – начальник науково-дослідного центру Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, кандидат педагогічних наук.
- Члени наукового комітету:** Oksana TELAK – MSFS, Warsaw, Poland, Doctor of Sciences;
Jerzy TELAK – ASE, Warszawa, Poland, Doctor of Sciences, Professor;
Bogusław KOGUT – Doktor inżynier, Akademia WSB w Dąbrowie Górniczej;
Вікторія СЕРГІЄНКО – проректор з наукової роботи Львівського національного медичного університету імені Данила Галицького, доктор медичних наук, професор;
Анастасія СИМАХОВА – Голова Ради молодих вчених при Міністерстві освіти і науки України, професор кафедри фінансових технологій та бізнесу Національного університету “Київський авіаційний інститут”, доктор економічних наук, професор;
Дмитро КОБИЛКІН – учений секретар Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, кандидат технічних наук, доцент;
Ольга БАРАБАШ – завідувач науково-дослідної лабораторії актуальних проблем правозастосовної та правоохоронної діяльності навчально-наукового інституту права та правоохоронної діяльності, Голова Ради молодих вчених Львівського державного університету внутрішніх справ, доктор юридичних наук, професор;
Андрій ОСТАП’ЮК – перший проректор Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, кандидат юридичних наук;
Назарій КОВАЛЬ – проректор з персоналу Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, доктор філософії;
Олександр ПРИДАТКО – проректор із навчально-методичної роботи Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, кандидат технічних наук, доцент;
Тарас БОЙКО – проректор з організації служби та підготовки Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, кандидат технічних наук.

**Члени
організаційного
комітету:**

Ірина ФЕДІВ – головний науковий співробітник відділу організації науково-дослідної діяльності науково-дослідного центру ЛДУБЖД, доктор філософії;

Катерина СТЕПОВА – старший науковий співробітник відділу організації науково-дослідної діяльності науково-дослідного центру ЛДУБЖД, кандидат технічних наук, доцент;

Тетяна СКИБА – науковий співробітник відділу організації науково-дослідної діяльності науково-дослідного центру ЛДУБЖД, доктор філософії;

Ярослав КИРИЛІВ – провідний науковий співробітник відділу організації науково-дослідної діяльності науково-дослідного центру ЛДУБЖД, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник;

Олександр ЖОРІНА – фахівець відділу міжнародного співробітництва ЛДУБЖД;

Роман ЯКОВЧУК – начальник навчально-наукового інституту цивільного захисту ЛДУБЖД, доктор технічних наук, доцент;

Ігор КОВАЛЬ – начальник факультету психології і соціального захисту ЛДУБЖД, доктор педагогічних наук;

Богдан БОЙЧУК – начальник навчально-наукового інституту пожежної та техногенної безпеки ЛДУБЖД, доктор філософії;

Ольга МЕНЬШИКОВА – заступник начальника інституту з навчально-наукової роботи навчально-наукового інституту цивільного захисту ЛДУБЖД, кандидат фізико-математичних наук, доцент;

Андрій ДОМІНІК – заступник начальника інституту з навчально-наукової роботи навчально-наукового інституту пожежної та техногенної безпеки ЛДУБЖД, кандидат технічних наук, доцент;

Тетяна ВОЙТОВИЧ – начальник відділу науково-редакційної діяльності науково-дослідного центру ЛДУБЖД, доктор філософії;

Юрій КОПИСТИНСЬКИЙ – начальник докторантури-ад'юнктури ЛДУБЖД, кандидат технічних наук;

Сергій ВОВК – доцент кафедри превентивної діяльності у сфері пожежної та техногенної безпеки навчально-наукового інституту пожежної та техногенної безпеки ЛДУБЖД, кандидат технічних наук, доцент;

Юрій ДОМАНСЬКИЙ – викладач кафедри пожежної тактики та аварійно-рятувальних робіт навчально-наукового інституту пожежної та техногенної безпеки ЛДУБЖД;

Андрій КУЗИК – завідувач кафедри екологічної безпеки навчально-наукового інституту цивільного захисту ЛДУБЖД, доктор сільськогосподарських наук, професор;

Надія СУШКО – доцент кафедри промислової безпеки та охорони праці навчально-наукового інституту цивільного захисту ЛДУБЖД, доктор філософії;

Роман ВЕСЕЛІВСЬКИЙ – доцент кафедри цивільного захисту навчально-наукового інституту цивільного захисту ЛДУБЖД, кандидат технічних наук, доцент;

Олександр ХЛЕВНОЙ – доцент кафедри інформаційних технологій та систем електронних комунікацій навчально-наукового інституту цивільного захисту ЛДУБЖД, кандидат технічних наук, доцент;

Лілія ПИЛИПЕНКО – старший викладач кафедри практичної психології та педагогіки факультету психології та соціального захисту ЛДУБЖД, доктор філософії;

Анна ІВАНІВ – викладач кафедри соціальної роботи, управління та суспільних наук ЛДУБЖД;

Руслана СОДОМА – доцент кафедри права та менеджменту у сфері цивільного захисту навчально-наукового інституту пожежної та техногенної безпеки ЛДУБЖД, кандидат економічних наук, доцент;

Петро СЕНИК – старший викладач кафедри права та менеджменту у сфері цивільного захисту навчально-наукового інституту пожежної та техногенної безпеки ЛДУБЖД, кандидат юридичних наук.

УДК 614.841

АНАЛІЗ ПОЖЕЖНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ПРИ ПОЖЕЖІ ЕЛЕКТРОМОБІЛІЯ В ПІДЗЕМНОМУ ПАРКІНГУ

Захар Хома

Сергій Вовк, кандидат технічних наук, доцент, **Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Львів, Україна**

У роботі із використанням програмного комплексу Fire Dynamics Simulator (FDS) проаналізовано пожежну небезпеку електромобілів у закритих підземних паркінгах. Досліджено поширення небезпечних чинників пожежі (температури, видимості, чадного газу (CO), вуглекислого газу (CO₂)) при горінні електромобіля з літій-іонною батареєю та оцінено вплив температури на залізобетонні конструкції паркінгу і умови безпечної евакуації людей.

Ключові слова: електромобіль, пожежна небезпека, підземний паркінг, літій-іонна акумуляторна батарея, Fire Dynamics Simulator (FDS), моделювання.

FIRE RISK ANALYSIS IN THE EVENT OF A FIRE INVOLVING AN ELECTRIC VEHICLE IN AN UNDERGROUND PARKING LOT

Zakhar Khoma

Serhii Vovk, Ph.D. tech. Science, Associate Professor, **Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine**

Using the Fire Dynamics Simulator (FDS) software package, the fire hazard of electric vehicles in enclosed underground parking lots was analyzed. The spread of hazardous fire factors (temperature, visibility, carbon monoxide (CO), carbon dioxide (CO₂)) during the combustion of an electric vehicle with a lithium-ion battery was investigated, and the effect of temperature on reinforced concrete structures of the parking garage and conditions for safe evacuation of people was assessed.

Keywords: electric vehicle, fire hazard, underground parking garage, lithium-ion battery, Fire Dynamics Simulator (FDS), modeling.

За останнє десятиліття у більшості країн світу ринок електромобілів демонструє різке зростання. Ця тенденція викликана нагальною потребою зменшити викиди парникових газів, знизити залежність від вуглеводневого палива. Схожа ситуація спостерігається й в Україні, де фіксується активне збільшення кількості електромобілів. Станом на 2025 рік в Україні налічується понад 203 800 зареєстрованих електромобілів і прогнозується подальше збільшення.

Паралельно зі збільшенням кількості електромобілів, актуальність питань, пов'язаних із пожежною безпекою, також зростає. Офіційна статистика за 2025 рік засвідчила 4267 займань транспортних засобів в Україні, серед яких

2667 випадків були спричинені дефектами виробництва або порушеннями правил експлуатації машин. Додатково, протягом року у житлових приміщеннях та спорудах зареєстровано 22 691 пожежу [1]. Важливо те, що значна частина сучасного житла обладнана підземними паркувальними зонами, де зберігаються автомобілі, включно з електричними [2].

Активне використання електромобілів породжує нові виклики у сфері протипожежного захисту, особливо коли це стосується обмеженого простору підземних паркінгів. На відміну від авто з ДВЗ, електромобілі оснащені потужними літій-іонними батареями. У випадку їх пошкодження чи перегріву існує ризик виникнення пожежі із потужним виділенням тепла, великою кількістю диму та випарами токсичних речовин.

Особливу небезпеку під час займання електротранспорту становить горіння літій-іонних акумуляторів, що супроводжується утворенням різноманітних токсичних сполук: чадного газу (CO); вуглекислого газу (CO₂); фтороводню (HF) та інших небезпечних продуктів горіння. Фтороводень вважається одним із найнебезпечніших, що утворюються при руйнуванні електролітів у літій-іонних батареях. Його концентрація може суттєво зростати залежно від рівня заряду та загальної ємності акумуляторної системи.

У закритому середовищі підземного паркінгу нагромадження отруйних газів та продуктів горіння може створити серйозну загрозу для життя та здоров'я людей, а також значно ускладнити евакуацію людей та роботу пожежних підрозділів. Крім того, при пожежах електромобілів може виділятися значна температура та негативно впливати на будівельні конструкції, знижуючи їхню межу вогнестійкості.

Для дослідження динаміки розвитку пожежі електромобіля та розповсюдження небезпечних чинників пожежі у підземному паркінгу було застосовано комплекс Fire Dynamics Simulator (FDS). Ця програма, базується на методах обчислювальної гідродинаміки. Завдяки FDS можна аналізувати розподіл температурних полів, продуктів горіння, швидкість розповсюдження диму під час пожежі та ін.

Для дослідження була створена модель підземного паркінгу (рис.1), з розмірами 30×20×3,5 м, що відповідає вимогам [3]. Стіни, перекриття та опори були змодельовані із залізобетону. Осередком займання був електромобіль, обладнаний літій-іонною батареєю на 24 кВт·год, розташований на одному з паркувальних місць.

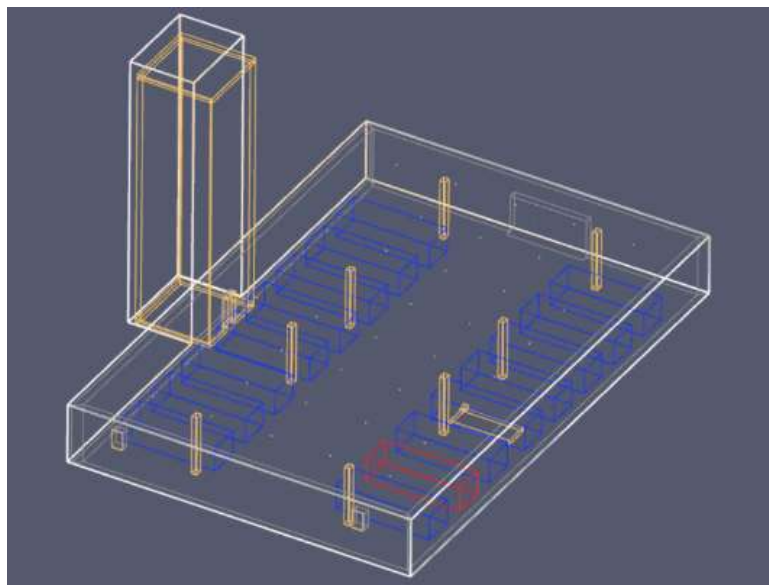


Рисунок 1 – Модель підземного паркінгу з електромобілем

Початкове тепловиділення пожежі було встановлено за показником HRRPUA на рівні 500 кВт/м^2 . Початкові умови для моделювання включали температуру навколишнього середовища $20 \text{ }^\circ\text{C}$ та нормальний атмосферний тиск. Загальний час чисельного моделювання склав 300 секунд. За допомогою чисельного моделювання вдалося отримати розподіл температури ($^\circ\text{C}$), видимості у підземному паркінгу. Аналіз отриманих даних засвідчив швидке поширення задимлення та продуктів горіння у закритому просторі паркінгу вже на ранніх етапах займання видимість дорівнює нулю (рис. 2), що ускладнює евакуацію людей.



Рисунок 2. – Видимість на 108 секунді в підземному паркінгу на висоті 1,75 м

Особливу увагу в дослідженні було приділено оцінці теплового впливу пожежі на залізобетонні конструкції підземного паркінгу. Найбільш

інтенсивний вплив високої температури спостерігається під перекриттям безпосередньо над автомобілем, де утворюється локальна зона перегріву з різким температурним градієнтом (рис.3). Крім того, значні температурні навантаження зазнають колони та стіни, що прилягають до осередку пожежі.

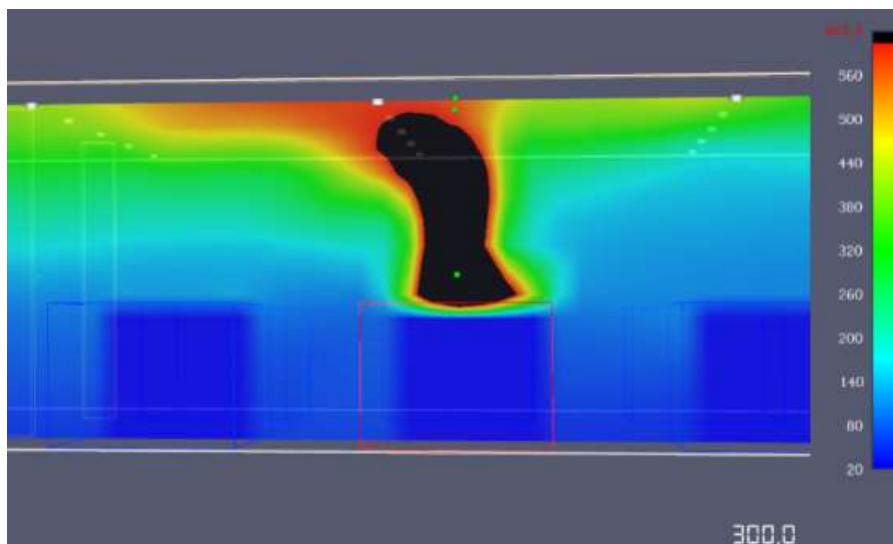


Рисунок 3 – Розподіл температур у зоні перекриття під час пожежі електромобіля

Отримані температурні поля в діапазоні 400-550 °С вказують на формування локальних зон із високими температурами, здатних спричинити відчутне зменшення несучої здатності залізобетонних конструкцій. Встановлено, що при нагріванні до 300–400 °С міцність бетону знижується, і починається процес виділення води з цементного каменю. У діапазоні 500–600 °С імовірно інтенсивне утворення тріщин у бетоні, відшарування захисного шару та погіршення адгезії арматури. При досягненні 700–800 °С спостерігається критична втрата міцності як самого бетону, так і сталеві арматури, що може призвести до місцевого або прогресуючого руйнування будівельних конструкцій.

Результати аналізу підтверджують, що пожежі електромобілів у підземних паркінгах є небезпечними через ряд чинників – інтенсивне утворення тепла, значне задимлення та утворення токсичних продуктів. Локальний перегрів перекриттів та колон може призвести до втрати несучої здатності конструкцій та створює додаткові ризики для безпечної експлуатації.

Отримані результати можуть бути використані як основа для розробки рішень, спрямованих на підвищення рівня протипожежного захисту підземних паркінгів, систем димовидалення, підвищення межі вогнестійкості конструкцій при проектуванні таких об'єктів.

Список літератури

1. Аналітична довідка про пожежі та їх наслідки в Україні за 11 місяців 2025 року. URL: <https://dsns.gov.ua/upload/2/5/3/3/0/6/3/analitichna-dovidka-pro-pozezi-za-11-misiaciv-2025-roku.pdf> (дата звернення: 01.03.2026).
2. Вовк, С. Я., Шаповалова, О. В., Кушнір, А. П., & Ференц, Н. О. (2025). Аналіз шляхів забезпечення протипожежного захисту висотних будівель.
3. ДБН В.2.3-15:2007. Споруди транспорту. Автостоянки і гаражі для легкових автомобілів. Чинний від 2007-02-07. Вид. офіц. Київ: Мінрегіонбуд України, 2007. 37 с.

References

1. Analytical report on fires and their consequences in Ukraine for the first 11 months of 2025. URL: <https://dsns.gov.ua/upload/2/5/3/3/0/6/3/analitichna-dovidka-pro-pozezi-za-11-misiaciv-2025-roku.pdf> (accessed on 01.03.2026).
2. Vovk, S. Ya., Shapovalova, O. V., Kushnir, A. P., & Ferenz, N. O. (2025). Analysis of ways to ensure fire protection of high-rise buildings.
3. DBN V.2.3-15:2007. Transport structures. Parking lots and garages for passenger cars. Effective from 2007-02-07. Official publication. Kyiv: Ministry of Regional Development and Construction of Ukraine, 2007. 37 p.