

УДК 614.841

DOI: <https://doi.org/10.31731/2524.2636.2024.8.2.206.227>

**Олександр ЛАЗАРЕНКО**, канд. техн. наук, доцент.

(ORCID: 0000-0003-0500-0598)

**Володимир-Петро ПАРХОМЕНКО**, канд. техн. наук, доцент.

(ORCID: 0000-0001-7431-4801)

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

## ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМИ ПОЖЕЖОГАСІННЯ ВИСОКОГО ТИСКУ «COBRA» ПІД ЧАС ГАСІННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ

*Проаналізовано теоретичні основи використання COBRA для гасіння акумуляторних батарей електромобілів. Визначено критерії ефективності використання різноманітних вогнегасних засобів для гасіння літій-іонних елементів живлення які є основою акумуляторних батарей електромобілів. Наведено та проаналізовано експериментальні результати та практичний випадок використання системи пожежогасіння високого тиску «COBRA» під час гасіння акумуляторної батареї електромобіля. У випадку теоретичного та практичного застосування «COBRA» визначено основні відмінності та загалом проаналізовано дії оперативно-рятувальних підрозділів щодо організації та ведення гасіння.*

*Встановлено, що на практиці загальний час гасіння акумуляторної батареї може перевищувати експериментальний в п'ять разів, а кількість використаних сил і засобів значно переважати теоретичні розрахунки. Додатково встановлено, що оператор «COBRA» під час його використання за умов щільного задимлення та обмеженого простору може потребувати додаткових засобів захисту.*

*Теоретичне та практичне застосування «COBRA» загалом підтвердило свою ефективність та безпечність однак у випадку лише гасіння акумуляторних батарей виконаних з призматичних чи пакетних літій-іонних елементів живлення.*

**Ключові слова:** літій-іонний елемент живлення, гасіння електромобіля, COBRA.

**Вступ.** Використання альтернативних джерел енергії, зокрема акумуляторних батарей великої ємності дозволяє суспільству отримати певну незалежність та енергоефективність від традиційних засобів, зокрема вуглеводневого палива. Безперечним проривом в напрямку використання акумуляторних батарей є їх успішне використання як основного джерела енергії для транспортних засобів. Починаючи з 2010 року в країнах світу фіксується стрімке зростання кількості електричних транспортних засобів [1], особливо малогабаритних таких як електросамокати, електровелосипеди, гіроборди, гіроскутери тощо. Одночасно з тим загальні статистичні данні свідчать про зростання кількості випадків загорань та повноцінного горіння електричних транспортних засобів. Якщо з початком використання таких засобів випадки їхнього загорання були поодинокими то станом на сьогодні кожного року в

країнах Європейського Союзу та світу фіксується близько 40-100 та більше таких випадків [2-5]. Додатково випадки горіння електротранспорту стають все більш збитковішими, а наслідки їх горіння більш значущими [6].

Численні дослідження вже неодноразово довели, що саме акумуляторна батарея і особливо літій-іонні елементи живлення (ЛІЕЖ) є джерелом безпосередньої небезпеки в електротранспорті [7, 8]. Практично та експериментально на сьогодні визначено, що основним способом гасіння акумуляторної батареї є її безпосереднє охолодження водою та водними розчинами. Однак, на сьогодні не існує єдиного тактичного підходу щодо гасіння подібних пожеж.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Як зазначено вище питання гасіння електричних транспортних засобів, зокрема електромобілів є новим та потребує подальшого вивчення відповідними фахівцями та спеціалістами. Враховуючи практичний досвід та наукові здобутки сьогодні визначено основні підходи та алгоритми такого гасіння [9-11, 16-17].

Відповідно до [9] основною вогнегасною речовиною для гасіння ЛІЕЖ та акумуляторної батареї є вода та водні розчини. Зважаючи на високу теплоємність води вона ефективно здійснює охолодження ЛІЕЖ внаслідок чого припиняє ланцюгову реакцію горіння в акумуляторній батареї та припиняє безпосередньо продовження термохімічної реакції горіння її хімічних елементів. Відповідно основним викликом, що стоїть перед рятувальниками безпечно та швидко здійснити відповідно подачу води на гасіння акумуляторної батареї. Однак саме цей процес є чи не найскладнішим в алгоритмі гасіння електромобіля адже сама акумуляторна батарея, як правило, розміщується в днищі автомобіля з відповідним ступенем захисту від механічного пошкодження. Таким чином, на практиці пропонується використання спеціальних стволів-пробійників чи технічних засобів, використання яких в автоматичному чи напівавтоматичному режимі дозволяє пробити твердий корпус акумуляторної батареї та подати вогнегасний засіб. Практично всі технічні засоби на сьогодні використовувалися в умовах проведення тестування чи навчання, детально описаних прикладів реального застосування наразі практично немає.

Як альтернатива використанню технічних засобів також можливе застосування відповідних тактичних рішень, зокрема сюди можна віднести використання спеціальних вогнетривких ковдр які повністю обмежують та практично припиняють горіння. Однак, застосування такого рішення не вирішує безпосередню проблему гасіння самої батареї, адже вже неодноразово засвідчено, що акумуляторна батарея може самозайматися впродовж навіть 24 годин після гасіння внаслідок недостатнього її охолодження та не припинення термохімічної реакції в ЛІЕЖ.

Наступними цікавими та практично 100% ефективними рішення можна вважати безпосереднє занурення електромобіля в контейнер з водою, після попередньої локалізації (ліквідації горіння). Відповідні рішення широко сьогодні застосовуються в країнах Європейського союзу, зокрема Данії, Норвегії, Нідерландах, Бельгії.

Одночасно з цим сьогодні набуває популярності інший варіант гасіння, що передбачає безпосередню локалізацію пожежі та убезпечення оточуючих від шкідливих наслідків такого горіння. Забезпечивши відповідні умови вважається за доцільне здійснювати гасіння методом самовигорання та поступового обмеження дії полум'я.

Зазначені тактичні прийоми загалом також мають зміст, однак так само мають певні обмеження. У випадку використання контейнерів для занурення необхідне застосування значної кількості технічних засобів, що значно підвищує вартість виклику рятувальників. Варіант не здійснювати активних дій по гасінню також далекий від ідеального, адже забезпечення безпечних умов горіння, як правило в міській забудові, малоімовірний варіант і це не враховуючи виділення шкідливих продуктів згорання та решти імовірних другорядних чинників.

Враховуючи зазначене вище можна стверджувати, що сьогодні питання дослідження та вдосконалення методики проведення гасіння акумуляторних батарей електромобілів потребує додаткових досліджень, а особливо реальних практичних відпрацювань. Оскільки те, що зазвичай працює в теорії на практиці не завжди доцільне до використання.

**Виклад основного матеріалу.** Одним з універсальних рішень щодо гасіння акумуляторної батареї електромобілів можна вважати використання системи пожежогасіння під високим тиском «COBRA» [12]. Серед відповідних/подібних технічних засобів «COBRA» та її аналоги має низку переваг:

- наявність в більшості оперативно-рятувальних підрозділів ЄС навіть в Україні;
- швидкість проникнення в конструкцію акумуляторної батареї. Здатна за 10 секунд прорізати отвір в металі товщиною 3 мм.
- мобільність використання, тощо.

Шведська агенція з надзвичайних ситуацій (MSB) [13] провела дослідження щодо тактики гасіння та, зокрема, ефективності використання COBRA під час гасіння акумуляторної батареї електромобіля. На прикладі реальних акумуляторних батарей як у вигляді окремих взірців, так і в самому електромобілі було експериментально визначено ефективність використання води як основної вогнегасної речовини. Дослідні взірці акумуляторних батарей були виконанні як з призматичних так і пакетних літій-іонних елементів живлення (ЛІЕЖ), нажаль циліндричні ЛІЕЖ не приймали участь в експериментальних дослідженнях.

З практичної точки зору найбільш актуальним був етап дослідження та відпрацювання тактики гасіння акумуляторної батареї та електромобіля з використанням системи пожежогасіння високого тиску «COBRA» (далі COBRA). Горіння електромобіля було ініційоване безпосередньо в акумуляторній батареї, для досягнення повноцінної реалістичності гасіння електромобіля відбулося після 15 хв вільного розвитку горіння, додатково варто відмітити, що видимі ознаки горіння спостерігалися лише через 3 хв від початку горіння ЛІЕЖ.

Для зниження рівня задимленості, збиття полум'я та збільшення видимості було використано дрібно розпилений струмінь води з «COBRA». Для контролю температури в салоні електромобіля використовувався пожежний тепловізор. Після завершення підготовчих робіт, зниження задимленості та зовнішньої температури було використано «COBRA» для безпосереднього прорізання отвору в корпусі акумуляторної батареї (300 бар і потік води 58 з витратою 58 л/хв під тиском 300 атм з абразивом) та подальшого її гасіння.

Загальний час гасіння акумуляторної батареї склав 10 хвилин протягом якого було використано 750 літрів води. Гасіння зупинилося при відсутності видимих ознак горіння та стабільній температурі акумуляторної батареї 50 °C, що підтверджувалося даними пожежного тепловізора.

Загалом, за підсумками дослідження було визначено, що

- використання пожежного тепловізора не дає змоги чітко ідентифікувати ступінь поширення горіння безпосередньо в акумуляторній батареї, однак його можна ефективно використовувати для загального контролю температури в салоні після проведення гасіння та подальшого визначення місць додаткового гасіння;

- важливо перед початком проведення гасіння безпосередньо ознайомитися (через спеціальні застосунки) з будовою та розташуванням основних вузлів електромобіля (акумуляторної батареї, місць відключень електроенергії);

- безпосередній розвиток горіння в електромобілі є індивідуальним адже залежить від будови та компонування електромобіля;

- використання систем на зразок COBRA значно скорочує оперативний час гасіння електромобіля.

Отримані результати стали підґрунтям для дискусії оскільки питання безпеки рятувальників під час гасіння акумуляторної батареї під напругою залишилося не визначеними, що передбачає виконання додаткових засобів безпеки. Зокрема, робота оператора «COBRA» також супроводжується відносним ризиком адже інструмент працює під високим тиском та має певні застереження під час роботи, що в умовах сильного задимлення та температури може бути суттєвою перешкодою. Одним з найскладніших та небезпечних сценаріїв гасіння електромобіля можна вважати імовірне горіння електромобіля на паркінгу, а особливо закритому паркінгу в багатоповерховій будівлі. Зважаючи на щільно припарковані сусідні автомобілі динаміку горіння електромобіля така імовірна пожежа може швидко розповсюдитися по всій площі поверху на завдати значної шкоди.

Однак, теоретичні напрацювання MSB Швеції [14, 15] стали в нагоді під час гасіння реального займання електромобіля в м. Прага Чеська Республіка. В березні 2023 року на багаторівневому паркінгу під час заряджання електромобіля Jaguar I-Pace сталося загорання акумуляторної батареї. Необхідно зазначити, що сигнал про пожежу був надісланий безпосередньо на пульт чергового оператора оперативно-рятувальної служби міста від пожежного сповіщувача. Пожежа сталася на “-1” поверсі паркінгу по прибуттю підрозділів на місце виклику черговий персонал паркінгу не був обізнаним про факт виникнення пожежі.

Детальна хронологія подій та відповідні дії оперативно-рятувальних підрозділів наведені в таблиці 1.

Таблиця 1.

### Хронологія оперативних дій із гасіння пожежі електромобіля на підземному паркінгу м. Прага, Чеська Республіка 2023 рік

Час	Обстановка та оперативні дії
23:56	Повідомлення про подію на центральний пункт спостереження, спрацювання пожежної сигналізації на 2 підземному поверсі паркінгу.
23:57	Відправлення розрахунку центральної пожежної частини м. Прага на місце події. Сокольський агрегат (2-ох автоцистерн типу, CAS20/2000/120-S1R/Cobra, та однієї 30-метрової автодрабини типу AZ30-M1Z).
00:01-00:02	Прибуття підрозділів до місця виклику.

00:03	Проведення розвідки на місці події. Охорона паркінгу не може надати інформацію щодо імовірного загорання на паркінгу будівлі. Розвідка на другому поверсі засвідчила, що горіння відсутнє.
00:06	Камери спостереження зафіксували задимлення на “-1” поверсі паркінгу. Подальша розвідка засвідчила щільне біле задимлення на “-1” поверсі, що йде з припаркованого електромобіля який знаходиться на зарядній станції. За зовнішніми ознаками задимлення йде з акумуляторної батареї електромобіля.
00:08	Виникнення інтенсивного полум’яного горіння в наслідок “вибуху” акумуляторної батареї електромобіля біля його шасі.  Здійснено ручне відключення автомобіля від зарядної станції.  Проведено розгортання сил і засобів: прокладено одну магістральну лінію діаметром 75 мм та дві робочих 42 мм з комбінованими ручними водяними стволами.  Щільне задимлення, видимість відсутня, орієнтація в просторі можлива лише з використанням пожежного тепловізора.
00:09	Надіслано запит на додаткові сили та засоби, зокрема: залучено штабний автомобіля, двох автоцистерн (CAS20/2000/120-S1R), одного автомобіля технічної служби (CAS30/11000/1000-S3LP) автомобіля хімічної служби (TAL2CH/ODCH) та лабораторії.
00:12	Встановлено повітряні нагнітачі для зменшення щільності задимлення.
00:15- 00:17	Прибуття додаткових підрозділів.
00:20	Додатково прокладено ще одну робочу лінію діаметром 42 мм з комбінованим ручним водяними стволами. Розгорнуто систему «COBRA». Приступили до безпосереднього гасіння.
	
00:23	Прибуття хімічного автомобіля та лабораторії. Розпочато вимірювання показників та відбір.
00:32	Додатково прибув контейнер (ємність) для гасіння електромобіля, розпочато його розгортання.
00:35	Надіслано запит на направлення автомобіля газодимозахисної служби.
01:13	Оголошено “локалізацію пожежі” (загашення полум’я та відсутності видимих ознак горіння). Розпочато роботи з транспортування автомобіля та подальше

	переміщення на свіже повітря.
02:32	Електромобіль переміщено з паркінгу на вулицю та за допомогою крану маніпулятора переміщено в контейнер для гасіння.
02:35	Підготовчі роботи зі стабілізації автомобіля, ущільнення контейнера для унеможливлення витоків під час транспортування, збору абсорбенту.
03:28	Контейнер підготовлено та наповнено водою загальним об'ємом 8 м <sup>3</sup> . Контейнер переміщено в безпечне місце для подальшого нагляду.
	
04.05.2023 11:12	Ранком наступного дня, проведення повторного огляду автомобіля з використання пожежного тепловізора. Результати перевірки негативні, підвищена температура акумуляторної батареї.
17:04	Повторне вимірювання температурних показників пожежним тепловізором. Загальна температура вузлів та акумуляторної батареї не перевищує 30 °С. Додаткова візуальна перевірка. Підтвердження безпечного стану електромобіля. “Ліквідація пожежі”. Транспортний засіб повернуто власнику.

Аналізуючи хронологію подій гасіння електромобіля можна відмітити наступні цікаві та неординарні особливості реального гасіння розвинутої пожежі акумуляторної батареї електромобіля:

- по-перше залучення значної кількості сил і засобів. Зважаючи на інформацію на пожежі працювало як мінімум 3 одиниці основної техніки та 3 спеціальних автомобіля;

- по друге безпосередній час гасіння електромобіля, який склав більше 50 хвилин. На протигагу теоретичним відпрацюванням на свіжому повітрі [13], фактично цей час перевищено в п'ять разів;

- використання контейнера для повноцінного занурення автомобіля у воду з метою охолодження акумуляторної батареї та нагляд за його станом впродовж наступних 12 годин. Зважаючи на відповідні процедури повноцінна ліквідація пожежі повинна бути оголошена відповідно після остаточного пересвідчення в безпеці транспортного засобу;

- окремо необхідно виокремити зусилля пожежно-рятувальних підрозділів щодо можливості безпечного ручного переміщення транспортного засобу на свіже повітря з підземного поверху. Здійснити відповідну процедури стало можливим завдяки використанню спеціальних портативних колісних баз.

Загалом на гасіння електромобіля було затрачено: 17 000 літрів води на гасіння з використанням пожежних стволів та 2000 літрів води на гасіння з використанням «COBRA».

Додатково слід зазначити що тривале використання «COBRA». Призвело до пошкодження захисного одягу особового складу залученого до ліквідації пожежі (рис.1).



Рисунок 1. Ступінь пошкодження захисного одягу оператора «COBRA» під час гасіння акумуляторної батареї електромобіля [15]

Відповідно можна зробити висновок, що оператор потребує додаткового захисту у випадку використання «COBRA» за умови щільного задимлення в закритому та обмеженому просторі.

Як і випадку теоретичних (експериментальних) досліджень на практиці «COBRA» була застосована для гасіння акумуляторних батарей виконаних з призматичних ЛПЕЖ. Зважаючи на особливість будови циліндричних ЛПЕЖ їх безпосереднє гасіння може бути ускладненим та тривати більше часу.

**Висновки.** Враховуючи проведений аналіз теоретичних досліджень та практичних застосувань можна зробити наступні висновки:

- використання «COBRA» для безпосереднього гасіння акумуляторної батареї електромобіля виконаної з ЛПЕЖ є ефективним засобом для гасіння;

- час гасіння з використанням «COBRA» на практиці може суттєво відрізнитися від експериментальних, оскільки додаткові фактори горіння мають істотний вплив на швидкість проведення робіт;

- загальний алгоритм гасіння електромобіля потребує комплексного підходу і не може обмежуватися звичайною процедурою гасіння транспортного засобу який працює на двигуні внутрішнього згорання;

Ефективність використання «COBRA» в подальшому має бути досліджена під час гасіння акумуляторних батарей виконаних з циліндричних ЛПЕЖ

### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. EVC. State of Electric Vehicles 2021 - Electric Vehicle Council, Electric Vehicle Council - Increasing the Uptake of EVs in Australia.2021. Режим доступу: <https://electricvehiclecouncil.com.au/wp-content/uploads/2021/08/EVC-State-of-EVs-2021.pdf>
2. Incidents with alternative fuel vehicles Annual report 2021-20223 Режим доступу: <https://nipv.nl/wp-content/uploads/2023/05/20230424-NIPV-Factsheet-Annual-report-2022-Incidents-with-alternative-fuel-vehicles.pdf>
3. Faktaark 2024. Status på brande i el-og hybridbilerю Режим доступу: <https://www.brs.dk/globalassets/brs---beredskabsstyrelsen/dokumenter/forskning-statistik-og-analyse/2024/-faktaark-2024---status-pa-brande-i-el-og-hybridbiler.pdf-.pdf>
4. Sammanställning av bränder i elfordon och eltransportmedel år 2018–2023 Режим доступу: <https://rib.msb.se/filer/pdf/29438.pdf>
5. FireSafe. Global Electric Vehicle Battery Fires, Ev FIRESAFE. 2024 Режим доступу: <https://www.EVFireSafe.com>
6. P. Sun, R. Bisschop, H. Niu, X. Huang (2020) A Review of Battery Fires in Electric Vehicles, Fire Technology, 56 pp. 1361–1410, <https://doi.org/10.1007/s10694-019-00944-3>
7. S. Hoelle, S. Scharner, S. Asanin, O. Hinrichsen (2021) Analysis on thermal runaway behavior of prismatic lithium-ion batteries with autoclave calorimetry. Journal of The Electrochemical Society, 168 120515. <https://doi.org/10.1149/1945-7111/ac3c27>
8. Yuanjin Dong, Jian Meng, Xiaomei Sun, Peidong Zhao, Peng Sun, Bin Zheng (2023) Experimental study on effects of triggering modes on thermal runaway characteristics of lithium-ion battery. World Electr. Veh. J., 14(10), 270; <https://doi.org/10.3390/wevj14100270>
9. Пархоменко В.П.О., Лазаренко О.В., Сукач Р.Ю. Parkhomenko, V.-P., Lazarenko, O., & Sukach, R. (2023). Аналіз обладнання для гасіння електромобілів та розробка рекомендацій з їх гасіння. Пожежна безпека, 42, 74-84. <https://doi.org/10.32447/20786662.42.2023.09>
10. Safety risks to emergency responders from lithium-ion battery fires in electric vehicles (2020). Safety Report. Режим доступу: <https://www.nts.gov/safety/safety-studies/Documents/SR2001.pdf>.
11. Andrzej Łebkowski Electric Vehicle Fire Extinguishing System Przegląd Elektrotechniczny, ISSN 0033-2097, R. 93 NR 1/2017. P. 329-332. <https://doi.org/10.15199/48.2017.01.77>
12. Офіційний сайт виробника COBRA cold cut system (<https://coldcutsystem.com>). Coldcut Cobra – state of the art innovation in modern safe firefighting. Режим доступу: <https://www.coldcutsystems.com/wp-content/uploads/2022/11/1580208803-research-and-method-summary-170320.pdf>
13. Method application at different levels of aggregation – module, sub-battery, electric car pack and vehicle level. Режим доступу: <https://ctif.org/sites/default/files/2023-03/Putting%20out%20battery%20fires%20with%20water.pdf>
14. EV fire incident management - case study from Prague. Режим доступу: <https://www.evfiresafe.com/post/ev-fire-incident-management-case-study-from-prague>



15. Electric car fire in an underground garage. Courtesy of Fire and Rescue Department of the Capital City of Prague. Computer translated from Czech language Nov 2023. Режим доступу: <https://www.montgomerycountymd.gov/frs-ql/Resources/Files/operations/SpecialOps/lithium-ion-battery-reference/electric-car-fire-underground-garage-incident.pdf>

16. Лазаренко О. В., Пархоменко В.-П. О., Мухін В. В. Особливості використання пожежного тепловізора в умовах проведення пошуково-рятувальних робіт (2022). Пожежна безпека, 41, 87-93. <https://doi.org/10.32447/20786662.41.2022.10>

17. Лазаренко О. В., Пархоменко В.-П. О., Шкарапута О.В. Розроблення моделей ліквідації надзвичайних ситуацій на транспортних засобах з альтернативними видами пального (2021). Пожежна безпека, 38, 4-11. <https://doi.org/10.32447/20786662.38.2021.01>

## REFERENCES

1. EVC. State of Electric Vehicles 2021 - Electric Vehicle Council, Electric Vehicle Council - Increasing the Uptake of EVs in Australia.2021. <https://electricvehiclecouncil.com.au/wp-content/uploads/2021/08/EVC-State-of-EVs-2021.pdf>

2. Incidents with alternative fuel vehicles Annual report 2021-2023. Access mode: <https://nipv.nl/wp-content/uploads/2023/05/20230424-NIPV-Factsheet-Annual-report-2022-Incidents-with-alternative-fuel-vehicles.pdf>

3. Faktaark 2024. Status på brande i el-og hybridbiler. Access mode: <https://www.brs.dk/globalassets/brs---beredskabsstyrelsen/dokumenter/forskning-statistik-og-analyse/2024/-faktaark-2024---status-pa-brande-i-el-og-hybridbiler.pdf-.pdf>

4. Sammanställning av bränder i elfordon och eltransportmedel år 2018–2023. Access mode: <https://rib.msb.se/filer/pdf/29438.pdf>

5. FireSafe. Global Electric Vehicle Battery Fires, Ev FIRESAFE. 2024 Available online: <https://www.EVFireSafe.com>

6. P. Sun, R. Bisschop, H. Niu, X. Huang (2020) A Review of Battery Fires in Electric Vehicles, Fire Technology, 56 pp. 1361–1410, <https://doi.org/10.1007/s10694-019-00944-3>

7. S. Hoelle, S. Scharner, S. Asanin, O. Hinrichsen (2021) Analysis on thermal runaway behavior of prismatic lithium-ion batteries with autoclave calorimetry. Journal of The Electrochemical Society, 168 120515. <https://doi.org/10.1149/1945-7111/ac3c27>

8. Yuanjin Dong, Jian Meng, Xiaomei Sun, Peidong Zhao, Peng Sun, Bin Zheng (2023) Experimental study on effects of triggering modes on thermal runaway characteristics of lithium-ion battery. World Electr. Veh. J., 14(10), 270; <https://doi.org/10.3390/wevj14100270>

9. Parkhomenko, V.-P., Lazarenko, O., & Sukach, R. (2023). Analysis of equipment for extinguishing electric vehicles and development of recommendations for their extinguishing. Fire Safety, 42, 74-84. <https://doi.org/10.32447/20786662.42.2023.09>

10. Safety risks to emergency responders from lithium-ion battery fires in electric vehicles (2020). Safety Report. Режим доступу: <https://www.nts.gov/safety/safety-studies/Documents/SR2001.pdf>.

11. Andrzej Łebkowski Electric Vehicle Fire Extinguishing System Przegląd Elektrotechniczny, ISSN 0033-2097, R. 93 NR 1/2017. P. 329-332. <https://doi.org/10.15199/48.2017.01.77>

12. Official website of the manufacturer COBRA cold cut system (<https://coldcutsystem.com>). Coldcut Cobra – state of the art innovation in modern safe firefighting. Access mode: <https://www.coldcutsystems.com/wp-content/uploads/2022/11/1580208803-research-and-method-summary-170320.pdf>
13. Method application at different levels of aggregation – module, sub-battery, electric car pack and vehicle level. Access mode: <https://ctif.org/sites/default/files/2023-03/Putting%20out%20battery%20fires%20with%20water.pdf>
14. EV fire incident management - case study from Prague. Access mode: <https://www.evfiresafe.com/post/ev-fire-incident-management-case-study-from-prague>
15. Electric car fire in an underground garage. Courtesy of Fire and Rescue Department of the Capital City of Prague. Computer translated from Czech language Nov 2023. Access mode: <https://www.montgomerycountymd.gov/frs-ql/Resources/Files/operations/SpecialOps/lithium-ion-battery-reference/electric-car-fire-underground-garage-incident.pdf>
16. Lazarenko, O., Parkhomenko, V.-P., Mukhin V. (2022). Features of the use of the fire thermal imaging camera in the conditions of search and rescue work. Fire Safety, 41, 87-93. <https://doi.org/10.32447/20786662.41.2022.10>
17. Lazarenko, O., Parkhomenko, V.-P., Shkaraputa, O. (2021). Development of models for elimination of emergencies on vehicles with alternative fuels. Fire Safety, 38, 4-11. <https://doi.org/10.32447/20786662.38.2021.01>

**Oleksandr LAZARENKO**, PhD, Associate Professor  
(ORCID: 0000-0003-0500-0598)

**Volodymyr-Petro PARKHOMENKO**, PhD, Associate Professor  
(ORCID: 0000-0001-7431-4801)  
*Lviv State University of Life Safety*

## EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF USING THE "COBRA" HIGH PRESSURE FIRE EXTINGUISHING SYSTEM DURING ELECTRIC CAR EXTINGUISHING

*The theoretical basis of using COBRA for extinguishing electric car batteries is analyzed. The criteria for the effectiveness of the use of various fire extinguishing agents for extinguishing lithium-ion power cells, which are the basis of electric vehicle batteries, have been determined. Experimental results and a practical case of using the COBRA high-pressure fire extinguishing system when extinguishing an electric vehicle battery are presented and analyzed. In the case of the theoretical and practical application of COBRA, the main differences are identified and the actions of operational rescue units regarding the organization and management of extinguishing are generally analyzed.*

*It was established that in practice the total extinguishing time of the accumulator battery can exceed the experimental one by five times, and the amount of forces and means used significantly exceed theoretical calculations. Additionally, it was established that the COBRA operator may need additional protective equipment when using it in dense smoke and confined spaces.*

*Theoretical and practical application of COBRA generally confirmed its effectiveness and safety, however, only in the case of extinguishing accumulator batteries made of prismatic or packet lithium-ion power cells.*

*Key words: lithium-ion power cell, quenching of an electric vehicle, COBRA.*