



О. В. Лазаренко, В.-П. О. Пархоменко, А. В. Беседа

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, м. Львів, Україна

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0500-0598> – О. В. Лазаренко

<https://orcid.org/0000-0001-7431-4801> – В.-П. О. Пархоменко

<https://orcid.org/0009-0004-6252-1431> – А. В. Беседа



pvpo2016@gmail.com

ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ОБЛАШТУВАННЯ ПАРКУВАЛЬНОГО МІСЦЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ ДЛЯ ЗАПОБІГАННЯ РОЗПОВСЮДЖЕННЮ ГОРІННЯ НА ЗАКРИТОМУ ПАРКІНГУ

Вступ. Електромобілі та інші види транспорту на електричному ходу все сильніше та ґрунтовніше входять в життя людей. Одночасно з беззаперечними перевагами такого виду транспорту зростає прихована загроза та постають нові виклики перед суспільством. Сучасний практичний досвід та неодноразові наукові дослідження показують, що гасіння акумуляторної батареї електромобіля супроводжується значними складнощами та вимагає особливого тактичного підходу. Все частіше в великих містах задля зручності та забезпечення комфортного перебування облаштовують багаторівневі підземні та надземні паркінги, що своєю чергою створює нові виклики та потребує вносити зміни до чинних та розробляти нові нормативно-правові документи.

Мета та задачі дослідження. Метою цієї роботи є представлення концепції облаштування паркувального місця для електромобіля на багаторівневих надземних та підземних паркінгах. Відповідно до поставленої мети в роботі визначено такі задачі: проаналізувати сучасний досвід гасіння електромобілів та сучасні напрямки запобігання виникненню подібних пожеж, розробити та обґрунтувати концепцію паркувального місця для електромобіля.

Методи. Для досягнення поставлених задач дослідження в роботі проаналізовано закордонний досвід гасіння акумуляторних батарей електромобілів та нормативно-правових документів, які регламентують облаштування паркувальних місць. Використовуючи отримані дані було проведено розрахунок оптимальних параметрів паркувального місця для електромобіля та запропоновано систему дренажного пожежогасіння з відповідними характеристиками.

Результати. За результатами дослідження запропоновано концепцію облаштування паркувального місця для електромобіля з загальною площею 28 м² (з розрахунку 4×7 метри), одночасно з тим паркувальне місце облаштовується пологим з'їздом під кутом 100. В якості системи пожежогасіння акумуляторної батареї пропонується розмістити 28 зрошувачів (вмонтованих в підлогу) з загальною витратою води 217 л/хв. Додатково, для забезпечення остаточного охолодження акумуляторної батареї та запобігання розповсюдженню горіння пропонується облаштувати паркувальне місце спеціальними обмежувальними бортиками висотою 250 мм задля створення умов наповнення всього об'єму паркувального місця водою у разі спрацювання стаціонарної системи пожежогасіння або подачі води оперативно-рятувальними підрозділами.

Висновки. Запропонована концепція та визначені геометричні параметри паркувального місця для електромобіля дозволяють сформувати та надалі реалізувати принципово нові підходи до облаштування та формування концепції безпеки закритих паркінгів. Подальші дослідження повинні бути зосереджені на проектуванні та створенні відповідного експериментального стенду з можливостями дослідження запропонованих значень та визначення доцільності запропонованого методу. Експериментальні дослідження перш за все повинні обґрунтувати оптимальну висоту обмежувального бортика паркувального місця та ефективність використання відповідної кількості зрошувачів для охолодження акумуляторної батареї електромобіля.

Ключові слова: електромобіль, паркінг, паркувальне місце, горіння електромобіля.

О. В. Лазаренко, В.-П. О. Пархоменко, А. В. Беседа

Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine

JUSTIFICATION OF ELECTRIC CAR PARKING SPACE PARAMETERS FOR PREVENTING THE SPREAD OF COMBUSTION IN A CLOSED PARKING LOT

Introduction. Electric cars and other types of electric vehicles are increasingly and thoroughly entering people's lives. Simultaneously with the indisputable advantages of this type of transport, a hidden threat is growing and new challenges are

emerging for society. Modern practical experience and repeated scientific studies show that extinguishing the battery of an electric car is accompanied by significant difficulties and requires a special tactical approach. Increasingly, multi-level underground and above-ground parking lots are being built in large cities for the sake of convenience and ensuring a comfortable stay, which in turn creates new challenges and requires changes to the existing ones and the development of new regulatory and legal documents.

The purpose and objectives of the study. This work aims to present the concept of arranging a parking place for an electric car in multi-level above-ground and underground parking lots. By the set goal, the following tasks are defined in the work: to analyse the modern experience of extinguishing electric cars and current directions for preventing the occurrence of such fires, and to develop and substantiate the concept of a parking place for an electric vehicle.

Methods. To achieve the objectives of the research, the work carried out a theoretical analysis of the existing foreign experience in extinguishing the batteries of electric vehicles and regulatory documents that regulate the arrangement of parking spaces. Using the obtained data, the optimal parameters of the parking space for an electric car were calculated and a drencher fire extinguishing system with appropriate characteristics was proposed.

Results. According to the results of the research, the concept of arranging a parking place for an electric car with a total area of 28 m² (based on 4×7 meters) is proposed, at the same time, the parking place is equipped with a gentle slope at an angle of 100. As a battery fire extinguishing system, it is proposed to place 28 sprinklers (mounted to the floor) with a total water consumption of 217 l/min. Additionally, to ensure the final cooling of the battery and prevent the spread of fire, it is proposed to equip the parking lot with special limiting sides 250 mm high. It will create conditions for filling the entire volume of the parking lot with water when the stationary fire extinguishing system is activated or operational rescue units supply water.

Conclusions. The proposed concept and defined geometric parameters of the parking place for an electric car allow to form and subsequently implementation of fundamentally new approaches to the arrangement and formation of the concept of security of closed parking lots. Further research should be focused on the design and creation of a suitable experimental bench with the possibility of investigating the proposed values and determining the feasibility of the proposed method. Firstly, experimental studies should justify the optimal height of the curb of the parking space and the effectiveness of using the appropriate number of sprinklers for cooling the battery of the electric vehicle.

Keywords: electric car, parking, parking place, electric car burning.

Вступ. Кожного року електромобілі все глибше та ґрунтовніше входять в життя людей. Все частіше вулицями вітчизняних та закордонних міст можна побачити транспортні засоби на електричному ході, зокрема електромобілі, які ззовні нічим не відрізняються від звичних нам автомобілів на двигунах внутрішнього згорання і лише окремі позначення на кузові електромобіля «говорять» нам про те, що цей транспортний засіб працює виключно на електродвигуні та акумуляторній батареї.

На жаль, досвід сьогодення показує, що електромобілі не є цілком безпечним видом транспорту, а основною їхньою особливістю є те, що вони можуть самовільно займатися та горіти впродовж тривалого часу. Лімітовані статистичні дані засвідчують [1, 2], що станом на кінець літа 2023 року сталося близько 488 загорань електромобілів. При цьому, варто зазначити, що 95% всіх загорань супроводжувалося інтенсивним факельним горінням акумуляторної літій-іонної батареї. Додатково, не менш важливим фактором є те, що 56% зареєстрованих загорань трапилося під час того як авто було припарковано на паркінгу і відповідно 25% випадків паркінг був закритого типу (гаражі, багаторівневі паркінги).

Попередній практичний досвід та різноманітні наукові дослідження показують, що гасіння електромобіля потребує залучення значних матеріальних ресурсів та часових показників [3, 4]. Саме тому, сьогодні провідні науково-дослідні установи у сфері забезпечення пожежної безпеки

здійснюють дослідження та розробляють інструкції та технічні засоби які б допомогли суспільству більш якісно та швидко здійснювати якісне та безпечне гасіння електромобілів.

Постановка проблеми. Виходячи зі статистичних даних та цілком логічних потреб, питання облаштування безпечного місця перебування електроавтомобіля є актуальною практичною та науковою задачею сьогодні. На жаль, беручи до уваги небезпеку горіння електромобіля та відсутність відповідних систем безпеки, сьогодні в деяких країнах Європейського Союзу існує заборона на паркування таких автомобілів. Все більше країн здійснюють розробку нормативно-правових документів, які б регламентували та обумовлювали певні конструктивні особливості підземних та надземних багаторівневих паркінгів [5] для різних видів автомобілів на альтернативних джерелах енергії, зокрема для електромобілів. Так в Україні вже прийнято Державний стандарт України [6] який регламентує протипожежний захист систем зарядки електромобілів та одночасно з тим регламентує певні конструктивні особливості паркувального місця на паркінгах. Розробка та введення в дію подібного стандарту є важливим, однак лише першим кроком в реалізації концепції безпечного облаштування паркінгів для електромобілів.

Одним з важливих елементів забезпечення пожежної безпеки будь-якої будівлі є її облаштування стаціонарними конструктивними елементами запобігання поширенню пожежі

(протипожежні перешкоди, стіни), первинними засобами виявлення (пожежна сигналізація) та гасіння (системи автоматичного гасіння). Так в роботі [7] досить вдало показано зону можливої небезпеки під час горіння окремого електромобіля на закритій автостоянці. Наведений розрахунок показує, що в разі пожежі електромобіля розповсюдження горіння по всій площі автостоянки можлива в лічені хвилини за умови відсутності спеціальних засобів запобігання та обмеження розповсюдження пожежі.

Саме тому метою цієї роботи є представлення концепції облаштування паркувального місця електромобіля на багаторівневих та підземних паркінгах.



Рисунок 1 – Приклади розміщення акумуляторної літій-іонної батареї в електромобілях провідних виробників світу: а) – Ніссан; б) – Фольцваген; в) – БМВ; г) – Тесла

Як видно з рис.1. місце розміщення акумуляторної батареї практично не відрізняється в жодних з марок електромобілів, відмінності лише становлять тип літій-іонного акумулятора (циліндричний, призматичний, пакетний) та сама конфігурація батареї, що в загальному не впливає на процес її горіння.

Закордонний досвід та статистика пожеж [9, 10] свідчить про те, що у разі займання акумуляторної батареї необхідно здійснювати безпосередньо її охолодження водними струменями протягом певного проміжку часу (не менше 30 хвилин). Однак, навіть після довготривалого охолодження існують випадки повторного займання акумуляторної літій-іонної батареї під час транспортування такого електромобіля на евакуаторі або його стоянки на майданчику. Тому в низці держав дотримуються про необхідність обов'язкового занурення автомобіля у воду або його тримання у

Для досягнення поставленої мети необхідно:
– проаналізувати сучасний досвід гасіння електромобілів та сучасні напрямки запобігання виникненню подібних пожеж;

– розробити та обґрунтувати концепцію паркувального місця для електромобіля.

Виклад основного матеріалу. Провідні виробники електромобілів в останні роки все більше та частіше притримуються однакових підходів щодо розміщення основних вузлів електромобіля. Так, зокрема, акумуляторну літій-іонну батарею фактично в 98% відсотків випадків розміщують у днищі автомобіля (рис.1), переважно в центральній або задній його частині [8], залежно від розмірів та габаритів автомобіля.

спеціальному контейнері з можливістю постійного охолодження водою [3]. Хоча, варто зазначити, що останнім часом в ЄС переконуються в тому, що через необхідність залучення значної кількості сил і засобів для гасіння одного електромобіля в деяких випадках варто притримуватися тактики його самовигорання, якщо це не призводить чи не призведе надалі до погіршення загальної ситуації. Але зазначена тактика гасіння абсолютно не прийнятна у випадку загорання електромобіля на закритих багаторівневих паркінгах.

Таким чином вже сьогодні існують концепти та лунають різноманітні пропозиції щодо облаштування паркувальних місць на паркінгах для електроавтомобілів під певним ухилом. Облаштування такого ухилу дасть змогу у разі подачі води на гасіння здійснити її накопичення та створить передумови для постійного охолодження акумуляторної батареї.

Враховуючи запропоновану концепцію паркувального місця для електромобіля надалі планується надати більш детальну характеристику, геометричні параметри та інженерну деталізацію паркувального місця, що сприятиме швидкому гасінню самого електромобіля в разі його загорання та обмеженню розповсюдження полум'я по всій площі паркінгу.

Відповідно до [11], нормативна площа на одне паркувальне місце становить 13,75 (2,5×5,5) м² або 19,25 (3,5×5,5) м² залежно від певних умов. Однак, враховуючи необхідність улаштування ухилу на паркувальному місці та створення умов для наповнення його водою до певного рівня, пропонується збільшити загальну площу паркувального місця для електромобіля до 28 м² з розрахунку 4×7. Також, розміри запропонованого паркувального місця, взято із

розрахунку габаритних характеристик одного із найпоширеніших та найдовших у своєму класі електромобілів сьогодення – Tesla model S [13]. Додатково, паркувальне місце облаштовується пологим з'їздом під кутом 100. Запровадження відповідних параметрів надасть можливість комфортного заїзду електромобіля на паркувальне місце та зручної висадки та посадки пасажирів і водія. Висоту обмежувальних бортиків пропонується запроєктувати не менше ніж 0,25 м, що забезпечить мінімальну необхідну висоту рівня води та перекрис максимальну висоту дорожнього просвіту (кліренсу) будь-якого сучасного пасажирського електромобіля на сьогодні. Детальна схема запропонованої концепції паркувального місця електромобіля зображена на рис 2.

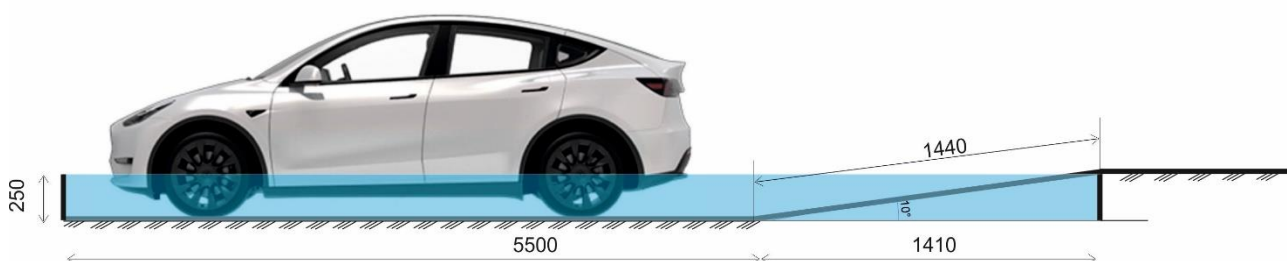


Рисунок 2 – Загальна схема облаштування паркувального місця для електромобіля на закритому паркінгу

Заповнення паркувального місця електромобіля вище рівня розміщення акумуляторної батареї унеможливить її подальше горіння та забезпечить рівномірне її охолодження.

Враховуючи, що основний осередок займання у разі горіння електромобіля розміщений у нижній частині його кузова, цілком логічно припустити, що традиційні установки пожежогасіння в такому випадку будуть неефективними. Це також підтверджується

практичним досвідом гасіння подібних загорань. Отже для забезпечення ефективного гасіння, охолодження акумуляторної батареї та відповідно наповнення паркувального місця водою пропонується розмістити дренажну установку пожежогасіння безпосередньо по всій площі паркувального місця під автомобілем.

Для прикладу пропонується використати дренажні насадки [12] такої конфігурації з відповідними характеристиками (табл.1).

Таблиця 1
Основні характеристика насадки-розпилювача для охолодження та гасіння акумуляторної батареї електромобіля

					
Максимальний кут розпилення	Мінімальний кут розпилення	Максимальна площа розсіювання (мм)	Мінімальна площа розсіювання (мм)	Продуктивність, л/хв	Максимальний тиск на насадку
1150	400	1750	400	6	2

* - всі показники зазначені при тиску 0,3 МПа

Порядок приведення в дію дренчерної установки пожежогасіння може бути як автоматичному, так і в ручному режимі. Інженерне виконання подібної насадки зі зносостійких матеріалів дасть змогу забезпечити її надійне та стає функціонування за необхідних умов.

Взявши до уваги габаритні розміри електромобіля та паркувального місця пропонуємо здійснити монтаж насадок-розпилювачів у кількості 28 штук (4×7). Даний розрахунок взятий відповідно до розмірів Tesla model S [13], (4976×1963×1435 мм) і відповідно розрахунок запропонованої кількості насадок-розпилювачів для дренчерної установки має вигляд $(4,976 \times 1,963) / 0,4 = 25$ шт. Враховуючи різноманіття та тенденції автомобілебудування пропонується збільшити цю кількість до 28 штук.



Рисунок 3 – Принципова схема розміщення дренчерної установки пожежогасіння на паркувальному місці електромобіля

Отримане значення витрати забезпечить заповнення необхідного об'єму води на паркувальному місці впродовж 41 хв. Такий тривалий час заповнення може вплинути на розповсюдження пожежі, тому пропонується у відповідності до тактико-технічних характеристик збільшити тиск на насадці до 0,5 МПа, що збільшить загальну витрату на насадку до 7,75 л/хв. Відповідно загальна витрата всіх насадок становитиме 217 л/хв, а загальний час заповнення водою паркувального місця (загальним об'ємом 6940 літрів) становитиме 32 хв.

Висновок. Представлена концепція та визначені геометричні параметри паркувального місця для електромобіля дасть змогу сформулювати та надалі реалізувати принципово нові підходи до облаштування та формування концепції безпеки закритих паркінгів. Одночасно з цим це створює передумови для подальшого внесення змін до чинних та створення нових нормативних документів.

Цілком очевидним є той факт, що запропонована концепція потребує перш за все подальшого вдосконалення та перевірки в умовах повномасштабних експериментальних досліджень з подальшим коригуванням та уточненням

Запропоноване розміщення насадок-розпилювачів зображено на рис. 3. Це дасть можливість повноцінно перекрити всю площу днища електромобіля для гарантованого охолодження батареї та заповнення об'єму водою паркувального місця, що забезпечить ефективне гасіння літій-іонної батареї такого транспортного засобу. Запропоноване розміщення дренчерної установки пожежогасіння буде ефективним завдяки тому, що, відстань від насадки-розпилювача до днища електромобіля буде незначною та вогнегасні засоби будуть подаватись під тиском, сила тяжіння не буде значною мірою впливати на дальність подачі вогнегасних засобів. Їх витрата, при запропонованому розміщенні дренчерів буде становити 2,8 л/с (168 л/хв).

запропонованих параметрів та величин. Саме тому, подальші дослідження повинні бути зосереджені на проектуванні та створенні відповідного експериментального стенду з можливостями дослідження запропонованих значень та визначення доцільності запропонованого методу. Експериментальні дослідження перш за все повинні обґрунтувати оптимальну висоту обмежувального бортика паркувального місця та ефективність використання відповідної кількості зрошувачів для охолодження акумуляторної батареї електромобіля.

Список літератури:

1. Гаврилюк А., Васильєва О. (2023). Аналіз стану протипожежного захисту електромобілів. Пожежна безпека, 42, 32-42.
2. Статистичні дані виникнення пожеж електромобілів. Режим доступу: <https://cutt.ly/YwU1C8r0>
3. Пархоменко В.-П., Лазаренко О., Сукач Р. (2023). Аналіз обладнання для гасіння електромобілів та розробка рекомендацій з їх гасіння. Пожежна безпека, 42, 74-84.
4. Safety risks to emergency responders from lithium-ion battery fires in electric vehicles (2020). Safety Report. Режим доступу:

www.nts.gov/safety/safety-studies/Documents/SR2001.pdf.

5. Interim guidance to support parking and/or charging of electric vehicles and the installation of electric vehicle chargepoints in covered car parks (2023). Режим доступу: <https://cutt.ly/ZwU1oqMy>

6. ДСТУ 9222:2023 Пожежна безпека. Протипожежний захист систем зарядки електромобілів. Основні положення.

7. Gavryliuk, A., Yakovchuk, R., Chalyy, D., Lemishko, M., & Tur, N. (2023). Determination of fire protection distances during a tesla model s fire in a closed parking lot. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(10 (122)), 39-46. doi.org/10.15587/1729-4061.2023.277999

8. Shashank Arora, Weixiang Shen, Ajay Kapoor (2016). Review of mechanical design and strategic placement technique of a robust battery pack for electric vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 60, 1319-1331 doi.org/10.1016/j.firesaf.2023.103920

9. Elena Funk, Konrad Wilkens Flecknoe-Brown (2023). Fire extinguishment tests of electric vehicles in an open sided enclosure. *Fire Safety Journal*, Volume 14, 103920. doi.org/10.1016/j.firesaf.2023.103920

10. Magnus Arvidson, Orjan Westlund (2023). Water Spray Fire Suppression Tests Comparing Gasoline-Fuelled and Battery Electric Vehicles. *Fire Technology*, Issue 5, 24 p. doi.org/10.1007/s10694-023-01473-w

11. ДБН В.2.3-15:2007 Споруди транспорту. Автостоянки і гаражі для легкових автомобілів.

12. Каталог зрошувачів для дренчерних систем охолодження та пожежогасіння. Режим доступу: www.ikeuchi.eu/wp-content/uploads/2018/11/Hydraulic-Nozzles-Catalog-EN-IKEUCHI.pdf

13. Tesla Model S. Матеріали з Вікіпедії [електронний ресурс]: <https://cutt.ly/UwU1XkIK>

References:

1. Gavryliuk A., Vasylieva O. (2023). Analysis of the state of fire protection of electric vehicles. *Fire safety*, 42, 32-42. DOI: doi.org/10.32447/20786662.42.2023.04

2. Statistical data on the occurrence of electric vehicle fires. Access mode: <https://cutt.ly/YwU1C8r0>

3. Parkhomenko V.-P., Lazarenko O., Sukach R.

(2023). Analysis of equipment for extinguishing electric vehicles and development of recommendations for extinguishing them. *Fire safety*, 42, 74-84.

DOI: doi.org/10.32447/20786662.42.2023.09

4. Safety risks to emergency responders from lithium-ion battery fires in electric vehicles (2020). Safety Report. Access mode: nts.gov/safety/safety-studies/Documents/SR2001.pdf.

5. Interim guidance to support parking and/or charging of electric vehicles and the installation of electric vehicle charge points in covered car parks (2023). Access mode: <https://cutt.ly/ZwU1oqMy>

6. DSTU 9222:2023 Fire safety. Fire protection of electric vehicle charging systems. Substantive provisions.

7. Gavryliuk, A., Yakovchuk, R., Chalyy, D., Lemishko, M., & Tur, N. (2023). Determination of fire protection distances during a tesla model S fire in a closed parking lot. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(10 (122)), 39-46. doi.org/10.15587/1729-4061.2023.277999

8. Shashank Arora, Weixiang Shen, Ajay Kapoor (2016). Review of mechanical design and strategic placement technique of a robust battery pack for electric vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 60, pp. 1319-1331 DOI:doi.org/10.1016/j.firesaf.2023.103920

9. Elena Funk, Konrad Wilkens Flecknoe-Brown (2023). Fire extinguishment tests of electric vehicles in an open sided enclosure. *Fire Safety Journal*, Volume 14, 103920. DOI: doi.org/10.1016/j.firesaf.2023.103920

10. Magnus Arvidson, Orjan Westlund (2023) Water Spray Fire Suppression Tests Comparing Gasoline-Fuelled and Battery Electric Vehicles. *Fire Technology*, Issue 5, 24 p. doi.org/10.1007/s10694-023-01473-w

11. DBN V.2.3-15:2007 Transport facilities. Parking lots and garages for cars.

12. Catalog of sprinklers for drencher cooling and fire extinguishing systems. Access mode: www.ikeuchi.eu/wp-content/uploads/2018/11/Hydraulic-Nozzles-Catalog-EN-IKEUCHI.pdf

13. Tesla Model S. Materials from Wikipedia [electronic resource]:<https://cutt.ly/UwU1XkIK> .

© О.В. Лазаренко, В-П. О. Пархоменко, А. В. Беседа, 2023.

Оглядова стаття.

Надійшла до редакції 15.09.2023.

Прийнято до публікації 06.12.2023.