




В.-П. О. Пархоменко, О. В. Лазаренко, Р. Ю. Сукач

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, м. Львів, Україна

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

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

<https://orcid.org/0000-0003-4174-9213> – Р. Ю. Сукач

 pvpo2016@gmail.com

АНАЛІЗ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ГАСІННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ ТА РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ З ЇХ ГАСІННЯ

Вступ. Завдяки науково-технічному прогресу широкого використання набули транспортні засоби, що працюють на альтернативних джерелах енергії. Використання таких транспортних засобів є значно дешевшим, для користувача порівняно із транспортними засобами, що працюють на двигунах внутрішнього згорання. Одним із таких перспективних транспортних засобів є електричні.

Мета та задачі дослідження. Метою роботи є висвітлення закордонного досвіду гасіння електричних транспортних засобів та розроблення рекомендації для особового складу пожежно-рятувальних підрозділів щодо їхніх дій під час гасіння загорань електромобілів.

Для досягнення поставленої мети необхідно: провести аналіз обладнання з гасіння цього типу транспортних засобів, розробити рекомендації пожежно-рятувальним підрозділам щодо дій за призначенням на подібних транспортних засобах та схеми розташування сил та засобів при проведенні їх гасіння.

Методи. Для досягнення поставленої мети та задач дослідження було використано теоретичні методи дослідження, що включали аналіз дій особового складу пожежно-рятувальних підрозділів з гасіння електромобілів та узагальнення отриманих результатів дослідження з подальшою їх систематизацією для досягнення поставленої мети дослідження.

Результати. За результатами огляду літературних джерел було здійснено аналіз обладнання для гасіння електромобілів. З метою забезпечення безпечних умов праці та швидкого реагування особового складу пожежно-рятувальних підрозділів на ліквідації імовірних НС було розроблено рекомендації щодо дій пожежно-рятувальних підрозділів на місці події під час гасіння електричних транспортних засобів та схеми розташування сил та засобів залежно від місця виникнення пожежі.

Висновки. Представлені результати дають підґрунтя для розроблення подальшої єдиної нормативної бази для України та країн ЄС, загальноприйнятих методичних рекомендацій щодо дій особового складу пожежно-рятувальних підрозділів з гасіння літій-іонних батарей електромобілів, подальшого дослідження ефективності представлених способів гасіння та розробки нових.

Ключові слова: електромобілі, літій-іонні елементи живлення, способи гасіння, небезпека горіння.

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

Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine

ANALYSIS OF EQUIPMENT FOR EXTINGUISHING ELECTRIC VEHICLES AND DEVELOPMENT OF RECOMMENDATIONS FOR THEIR EXTINGUISHING

Introduction. With the development of scientific and technological progress, vehicles running on alternative energy sources have become widespread. The use of such vehicles in everyday life is a much cheaper option for the user compared to vehicles powered by internal combustion engines. Electric vehicles are one of the most promising representatives of today.

The purpose and objectives of the study. The purpose of the study is to highlight foreign experience in extinguishing electric vehicles and to develop recommendations for fire and rescue personnel on their actions upon arrival at a fire involving electric vehicles.

To achieve this goal, it is necessary to: analyse the equipment for extinguishing this type of vehicle, develop recommendations for the actions of fire and rescue units in the event of actions on such vehicles and schemes for the location of forces and means when extinguishing them.

Research methods. To achieve the purpose and objectives of the study, theoretical research methods were used, including an analysis of the actions of fire and rescue units when extinguishing electric vehicles and a synthesis of the research results obtained with their subsequent systematisation to achieve the research goal.

Results. Based on the results of the literature review, the equipment for extinguishing electric vehicles was analysed. To ensure safe working conditions and rapid response of fire and rescue personnel to eliminate possible emergencies, recommendations have been developed for the actions of fire and rescue units at the scene of an incident when extinguishing electric vehicles and schemes for the location of forces and means depending on the place of fire.

Conclusions. The presented results are the basis for the development of a further unified regulatory framework for Ukraine and EU countries, generally accepted methodological recommendations for the actions of fire and rescue personnel when extinguishing lithium-ion batteries of electric vehicles, further research on the effectiveness of the presented extinguishing methods and the development of new ones.

Keywords: electric vehicles, lithium-ion batteries, extinguishing methods, fire hazard.

Вступ. Четверта науково-технічна революція, що розпочалася з середини ХХ-го століття, призвела до стрімкого розвитку інформаційно-телекомунікаційних систем, штучного інтелекту, інформатизації суспільства та багатьох інших аспектів розвитку людства. Розвиток сучасних технологій надає великі переваги людству, навіть якщо розглядати невеликий часовий проміжок в 10-20 років, які, як правило, роблять наш світ кращим і досконалішим. Однак, досить часто впровадження новинок технічного прогресу зазнає невдачі, особливо на першочергових стадіях експлуатації, що може спричинити низку проблем і загрози виникнення надзвичайних ситуацій.

Останнім часом людство стало задумуватися про альтернативні джерела енергії, які здатні замінити вуглеводневе паливо. Безперечний стрибок за останні роки, відбувся в автомобільній галузі. Одним з таких яскравих прикладів є стрімке зростання і розвиток транспортних засобів на альтернативних джерелах енергії серед яких привертають особливу увагу транспортні засоби, що працюють виключно на електриці. Подібні транспортні засоби в найближчому майбутньому повинні повністю витіснити традиційні – на двигунах внутрішнього згорання. Одночасно з впровадженням нових технологій зростає і кількість загроз та небезпек для життя та здоров'я людини і на які повинні реагувати пожежно-рятувальні підрозділи.

Постановка проблеми. Внаслідок все більшого розповсюдження електричних транспортних засобів постає проблема з порядком та загальною методикою гасіння літій-іонних елементів живлення (акумуляторних батарей), що становлять основну пожежну небезпеку. Про складність гасіння та особливості горіння (небезпеки горіння) літій-іонних елементів живлення (ЛІЕЖ) сьогодні опубліковано значну кількість наукових праць [1-3]. Однак, немає єдиного визначеного підходу щодо гасіння таких пожеж. Відсутні загальноприйняті рекомендації та підходи щодо визначення необхідної вогнегасної речовини для гасіння ЛІЕЖ.

Протягом довгого часу науковці проводять дослідження з визначення найкращої вогнегасної речовини для ЛІЕЖ. Так в роботах [4, 5] розглядається вода як основний вид вогнегасної

речовини, оскільки вона має найкращі показники із охолодження ЛІЕЖ та як наслідок – зупинення ланцюгової реакції горіння. Зважаючи на різноманіття вогнегасних речовин в роботі [6] підійшли комплексно до експериментального визначення впливу різного типу вогнегасних порошків та води на зупинку ланцюгової реакції горіння ЛІЕЖ. За підсумками дослідження було встановлено, що різного виду вогнегасні порошки є не найкращим варіантом для зупинки термохімічної реакції та подальшого поширення горіння, оскільки вони лише знижують температуру горіння ЛІЕЖ на короткий проміжок часу, а не зупиняють саму реакцію горіння. Однак вода у вигляді дрібнодисперсного струменя дає найкращий ефект, що як наслідок зупиняє протікання термохімічної реакції горіння.

Підсумовуючи наведені дані можна стверджувати, що наукові результати з визначення необхідної вогнегасної речовини отриманні та постійно вдосконалюються. Однак, в літературних джерелах існує прогалина, щодо аналізу практичного досвіду із застосування технічних засобів, які надають можливість проводити гасіння загорань ЛІЕЖ. Зокрема в Україні взагалі відсутні чіткі рекомендації щодо порядку дій та вибору необхідного обладнання для гасіння таких пожеж.

Метою роботи є аналіз світового досвіду, технічних засобів та підходів з гасіння ЛІЕЖ (акумуляторних батарей) з метою розроблення рекомендацій особовому складу пожежно-рятувальних підрозділів щодо дій під час гасіння подібних загорань (пожеж).

Для вирішення поставленої мети необхідно:

– здійснити аналіз літературних джерел, які висвітлюють сучасні методи гасіння ЛІЕЖ електромобілів та інших подібних транспортних засобів;

– розробити рекомендації особовому складу пожежно-рятувальних підрозділів щодо дій під час гасіння ЛІЕЖ електромобілів та інших подібних транспортних засобів;

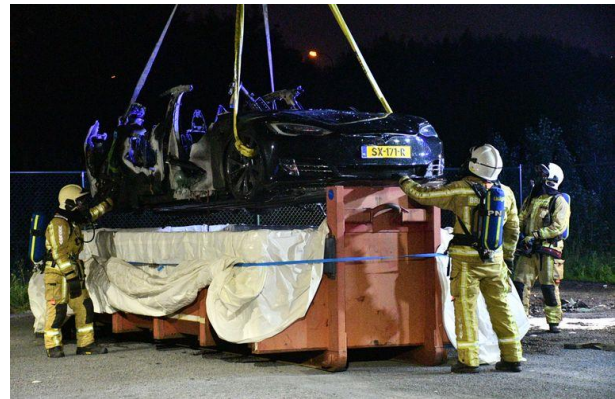
Виклад основного матеріалу. Ліквідації пожеж електромобілів присвячено значну кількість робіт [7-11]. Беручи до уваги закордонний досвід гасіння пожеж в електромобілях, а саме: Нідерландів, Бельгії,

Австрії та інших країн Європейського Союзу, за попередньо розробленими алгоритмами та розкладом виїзду автомобілів на гасіння подібних пожеж залучаються додаткові сили і засоби. Для прикладу, для гасіння електромобіля



Рисунок 1 – Проведення гасіння автомобіля «Tesla» в Бельгії

в Бельгії (рис.1) було залучено дві автоцистерни (для забезпечення безперебійного водопостачання), додаткову ємність для занурення автомобіля у воду та автопідймач (кран).



Аналогічна методика проведення гасіння електромобіля спостерігалася в Нідерландах



Рисунок 2 – Проведення гасіння автомобіля «BMW» в Нідерландах

(рис.2), коли у виставковому центрі раптово спалахнув автомобіль «BMW».



Після ліквідації видимих осередків горіння електричний транспортний засіб необхідно відбуксирувати в безпечне місце, тому що є велика імовірність повторного займання. Пошкоджений транспортний засіб поміщається в контейнер, а в разі пожежі (після попереднього гасіння) буксирується в контейнер лебідкою чи маніпулятором. Після цього внутрішній простір контейнера

автоматично контролюється (24/7) на наявність вогню та диму. Якщо виникає полум'я або дим, контейнер надсилає сигнал (на центр пожежної сигналізації, SIM-карту тощо) і заповнення контейнера починається автоматично. Мета цього методу – залити та охолодити акумулятор автомобіля до усунення небезпеки самозаймання. Висота затоплення: від 0,2 до 1 метра (рис.3) [12-14].

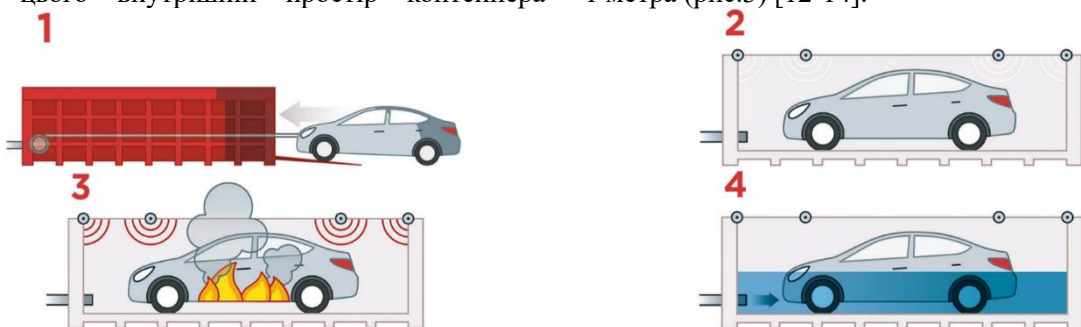


Рисунок 3 – Приклад використання розробки Данської приватної компанії EmiControls – контейнера для гасіння літій-іонної батареї електромобілів при повторному займанні

Сьогодні низка компаній розробляють та рекомендують до використання під час гасіння



автомобілів та зокрема електромобілів спеціальну вогнетривку кошму (рис. 4.).



Рисунок 4 – Приклад використання вогнегасної кошми приватної компанії IBENA

Перевага вогнетривких кошм полягає в тому, що вони дуже гнучкі та мобільні. Крім того, низька ціна порівняно зі стаціонарними системами пожежогасіння дуже приваблива для багатьох користувачів. Недолік вогнетривких кошм полягає в тому, що рятувальникам доводиться підходити відносно близько до пошкодженого автомобіля, щоб накрити його.

Існують також розробки спеціальних вогнегасних кошм, які виділяють інертні гази при нагріванні і, таким чином, мають досягати вогнегасного ефекту ще швидше. Пошкоджене авто загортають у так званий рятувальний мішок і зберігають наступні 48 годин. Двом особам потрібно лише три хвилини, щоб упакувати автомобіль у, так звану, рятувальну сумку. Для цього машину спочатку потрібно встановити на нижню частину захисного кошми. Після цього інші частини кріпляться за допомогою блискавок і липучок. Те, що на перший погляд виглядає як мобільний гараж, насправді є сучасним високотехнологічним рішенням. Тканина самозатухаюча – це означає, що якщо транспортний засіб повторно загориться, то, тепло, яке утвориться під час пожежі, виділить гази із тканини, які її загасять.

Крім того, встановлено захисний шар, який захищає лакофарбове покриття транспортного засобу, і абсорбуючий фільтруючий матеріал, який фільтрує та поглинає забруднюючі речовини, такі як токсичні пари або плавикова кислота. А керамічний шар, на нижній частині рятувального мішка, гарантує, що рідини чи паливо, які можуть витікати з транспортного засобу, не потраплять у навколишнє середовище.

На стадії розробки також розглядали імовірність вибуху батареї – що нівелюється надзвичайною газопроникністю тканини. Це означає, що гази проходять крізь тканину у разі вибуху, а не розривають її. Ця газопроникність також

запобігає накопиченню тепла під рятувальним мішком і повторному займанню батареї.

Деталі неодноразово вдосконалювалися, наприклад в найновіших модулях додано отвори, що дають можливість евакуаторам вантажити автомобіль. Проблема тут, однак, полягає в тому, що гази можуть діяти лише в тому випадку, якщо автомобіль максимально щільно нею закритий. І знову ж таки, рятувальники повинні бути максимально наближені до транспортного засобу. Тому ця система [15-17] рекомендована насамперед для запобігання повторному займанню, тобто після гасіння першої пожежі.

Силові акумуляторні батареї складаються з кількох модулів, які, у свою чергу, вбудовані в стійкий корпус, для того щоб акумулятор не можна було пошкодити. Тому охолоджуючі або вогнегасні речовини не можуть безпосередньо здійснювати гасіння елементів акумулятора, що зменшує ефект охолодження та пожежогасіння. Наукові експерименти показали, що гасіння водою безпосередньо в корпусі батареї призводить до значно швидшого успіху [4-6]. Таким чином, ефективним є використання системи пожежогасіння для введення води безпосередньо в акумуляторну батарею транспортного засобу. Для цього використовують різні види стволів та установок пожежогасіння.

Однією з таких є новітня система пожежогасіння Rosenbauer BEST [18-20]. Система пожежогасіння високовольтних акумуляторних батарей електромобілів Rosenbauer – це система для безпечного, ефективного та швидкого гасіння акумуляторних батарей на основі літій-іонної технології. Вона дає змогу безпосередньо охолоджувати модулі акумуляторів або елементи всередині модулів і, таким чином, швидко зупинити поширення теплового випромінювання елементів.

Система складається з двох основних компонентів – блока гасіння і блока управління

(загальною вагою близько 65 кілограм), які з'єднані між собою рукавними лініями (рис.5).



Рисунок – 5 Зовнішній вигляд системи пожежогасіння Rosenbauer BEST та приклад її використання

Блок пожежогасіння розміщується на акумуляторі, за необхідності, закріплюється домкратом на кузові автомобіля або інших точках. Найкраще розташовувати з нижньої сторони автомобіля. Пульг керування запускає проникнення голкоподібного інструменту в корпус акумулятора з безпечної відстані (до 8 метрів), при цьому вода розсіюється в батареї через перфоровану насадку. Завдяки швидкості “вистрілу” проколюючого елемента (8 мілісекунд) можна швидко пробити всі відомі на сьогодні корпуси акумуляторів. Потім вода заповнює весь корпус батареї (25-50 л/хв), забезпечує швидке та ефективне охолодження, тим самим зупиняє саме горіння та унеможливає повторне загорання.

Після того, як елементи живлення батареї охолодяться до безпечного діапазону температур, вогнегасний пристрій може залишатися в батареї під час транспортування і в місці можливого карантину. Це означає, що вода може бути закачана в батарею в будь-який час.

Ефективність цієї установки пожежогасіння додатково підтверджено зменшенням кількості води порівняно з альтернативним методом

утоплення транспортного засобу, який показав, що для досягнення еквівалентного результату потрібно від 20 до 30 тонн води. За допомогою Rosenbauer BEST ефективне використання води для гасіння акумуляторної батареї автомобіля становить приблизно до 2 тонн води, що забезпечує використання всього однієї цистерни пожежно-рятувального автомобіля.

Однією з перспективних систем пожежогасіння, які можуть використовуватися для гасіння літій-іонних батарей електромобілів, є використання системи гасіння типу “Кобра” (Cobra Cold Cut Systems) (рис.6) та інших подібних аналогічних систем (WJFE 300 MODULAR. WJFE 300 MODULAR) – це новітня система пожежогасіння, яка дає можливість ефективно здійснювати гасіння пожеж в огороженні розпиленним струменем без входу в загазоване та задимлене середовище. Вона використовує запатентовану насадку (спис), яка використовує систему змішування абразиву та води. Це відбувається без надходження повітря, завдяки ефекту Вентурі, в простір, де знаходиться пожежа [21-22].



Рисунок 6 – Загальний вигляд системи гасіння типу “Кобра” WJFE 300 MODULAR та її технічні характеристики

При подачі 1 л води під тиском 1 бар площа контакту з поверхнею становить 0,048 м². 1 літр розпиленої води під тиском 350 бар утворює 238 000 000 крапель для повного контакту поверхні з атмосферою площею 30 м², що в 625 разів більше, ніж при тиску 1 бар.

Особливістю використання такої установки пожежогасіння є: мобільність; утворення дрібнодисперсного водяного струменя під тиском 350 бар; ефективна перфорація на різних видах матеріалів (деревини, пластик метал, скло, бетон та ін.) за допомогою води під високим тиском та абразивної суміші; ефективне та швидке насичення дрібнодисперсною водяною сумішшю повітряного об'єму в місці виникнення пожежі;



Рисунок 7 – Зовнішній вигляд, комплектація та технічні характеристики E-Loeschlanze фірми MURER

За допомогою такого ствола-пробійника можна швидко й ефективно загасити достатньою кількістю води пожежі літій-іонних акумуляторів в електромобілях.

Для роботи з цим стволом необхідно два рятувальники. Перший, відповідно він буде ствольником, вставляє наконечник ствола в акумуляторну батарею, другий – підствольник, забезпечує проникнення наконечника ствола-пробійника в акумуляторну батарею, ударяючи ударним інструментом (кувалдою) по поверхні ударної пластини. Наконечник з отворами повинен безпечно проникнути в акумуляторну коробку. Якщо наконечник ствола зісковзує або кожух батареї розташований занадто низько – необхідно змінити його положення. Для ефективного використання ствола цього типу потрібна невелика глибина проникнення. Подовжувальна трубка монтується до ствола за необхідності, напірний рукав під'єднується до з'єднувальної головки для подачі вогнегасних речовин. Наконечник накручується та фіксується. Запірний клапан напірного рукава відкривається перед ударом. Необхідно пам'ятати, що запірний клапан потрібно завжди відкривати та закривати повільно, бо тиск води може спричинити віддачу, через яку наконечник ствола може зіскочити. Через декілька секунд

швидко охолодження та гасіння внутрішніх об'ємів в закритих та важкодоступних приміщеннях; низька витрата споживаної водяної суміші; можливість роботи стволом високого тиску на відстані до 80 метрів від тискогенерувального обладнання. Відповідно до зазначених властивостей та характеристик цю систему гасіння можливо використовувати і для гасіння акумуляторних батарей [23].

Також, одним з перспективних способів гасіння літій-іонних батарей при горінні електромобілів є застосування ручних переносних стволів пробійників. Як приклад розглянемо ствол E-Loeschlanze фірми MURER (рис.7) [24].



після подачі вогнегасної речовини одразу спостерігається гасіння. Вогнегасну речовину необхідно подавати безперервно, поки не буде забезпечено достатнє охолодження батареї. Для забезпечення індивідуального захисту при використанні ствола-пробійника на з'єднувальній головці та ударній пластині є гвинти із ізоляцією для напруги не більше 1000 В. Щоб перевірити ефективність цього ствола, зміну температурних режимів всередині літій-іонної батареї необхідно використовувати пожежний тепловізор.

Однак, як показали результати наукових досліджень [25], безпека при використанні цих типів стволів не є однозначною. Внаслідок використання даних типів стволів було виявлено, що при проникненні в літій-іонну батарею, внаслідок удару, можна спровокувати спалах та в деяких випадках вибух, що може становити небезпеку особовому складу пожежно-рятувальних підрозділів, бо вони працюють в безпосередній близькості до горіння.

Кожен з представлених вище способів гасіння має свої переваги та ряд недоліків. Все залежить від наявності фінансування для забезпечення пожежно-рятувальних підрозділів установками пожежогасіння чи певним обладнанням. Особовий склад пожежно-рятувальних підрозділів повинен постійно

підвищувати свою професійну майстерність як теоретично, так і з практичним відпрацюванням. Тому в комплексі навчання з тактичної підготовки, в рамках службової підготовки з особовим складом, вивчається використання новітніх методів та способів гасіння, одним з яких є гасіння електромобілів.

Враховуючи аналіз пожежної небезпеки елементів живлення електромобілів [3, 9] та представлені вище способи гасіння електромобілів авторським колективом були розроблені загальні рекомендації особовому складу пожежно-рятувальних підрозділів щодо дій на місці події з гасіння цього типу транспортних засобів.

Розглядаючи первинні дії керівника гасіння пожежі (КГП) з прибуттям на місце пожежі (горіння електромобіля) та взявши до уваги сучасний досвід гасіння подібних пожеж, особовий склад та КГП повинні:

1. З прибуттям на місце пожежі, перш за все, визначити тип та марку автомобіля. У різних марок та моделей електромобілів розміщення силових кабелів, акумуляторних батарей тощо може суттєво відрізнятися. Правильне визначення розміщення основних елементів електромобіля створить сприятливі та безпечні умови для рятування постраждалих та подальшої ліквідації пожежі.

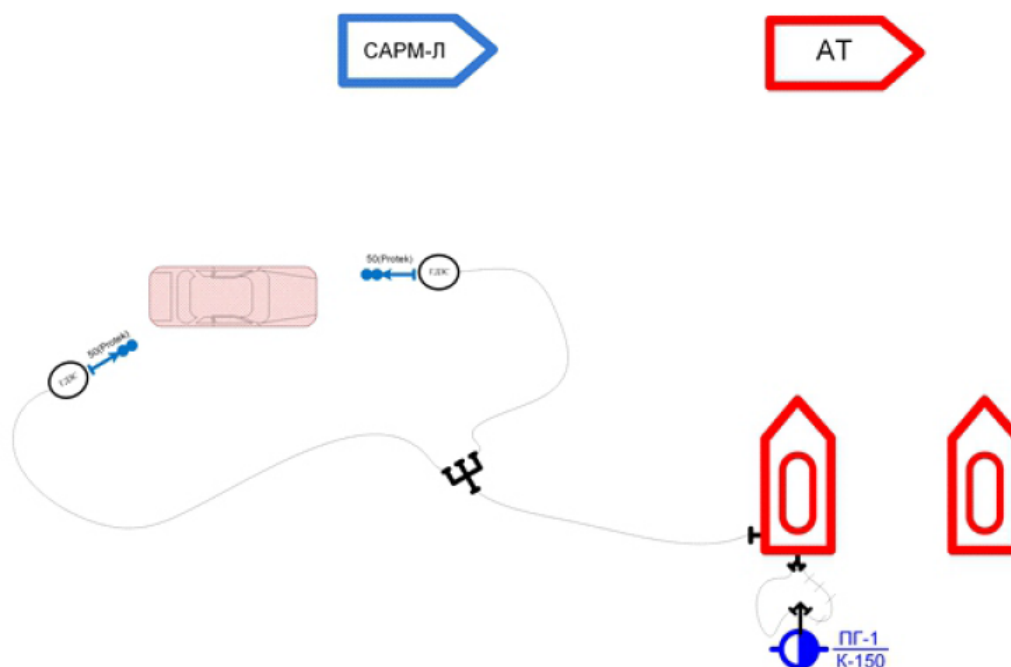
2. За можливості, перемістити автомобіль в безпечне місце або забрати припарковані поруч

транспортні засоби, майно тощо використовуючи САРМ важкого типу або комунальну техніку з краном-підіймачем.

3. Знерухомити автомобіль та створити умови для унеможливлення його подальшого руху, використавши спеціальне обладнання та підручні засоби. Виконання цього етапу є обов'язковим для забезпечення особового складу від випадків неконтрольованого руху транспортного засобу та випадкового наїзду.

4. Обов'язково відключити системи електроживлення електромобіля. Як правило в кожному електромобілі заводом-виробником передбачена система аварійного відключення акумуляторної батареї, однак досить часто під час оперативної роботи можуть виникати труднощі з віднаходженням централізованого місця відключення електроживлення. При виникненні подібних ситуацій виникає необхідність у перерізанні силових кабелів та механічному вилученні акумуляторної батареї. Для реалізації вище зазначених завдань особовий склад та КГП повинні виконати пункт №1 та знати технічні особливості автомобіля.

КГП в обов'язковому порядку у випадку необхідності проведення гасіння повинен забезпечити безперебійну подачу води у великій кількості, саме тому з прибуттям автоцистерну необхідно встановити на вододжерело (рис.8).

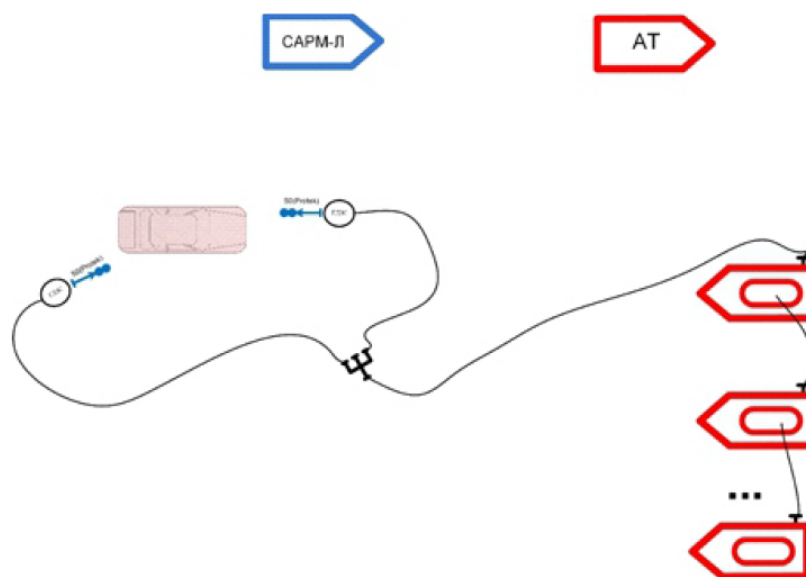


- Ланка ГДЗС має складатися з двох газодимозахисників;
- Мінімальний запас вогнегасних речовин (води) має становити близько 8 тонн;
- Автомобіль технічної служби повинен бути обладнаний краном-маніпулятором.

Рисунок 8– Рекомендована схема розташування сил і засобів під час гасіння електромобіля та проведення інших невідкладних робіт в межах міської забудови

За відсутності вододжерел (сільська місцевість) забезпечити підвіз води або її

перекачку з використанням додаткових автоцистерн (рис.9).



- Ланка ГДЗС має складатися з двох газодимозахисників;
- Мінімальний запас вогнегасних речовин (води) має становити близько 8 тонн;
- Автомобіль технічної служби повинен бути обладнаний краном-маніпулятором.

Рисунок 9 – Рекомендована схема розташування сил і засобів під час гасіння електромобіля та проведення інших невідкладних робіт в межах сільської місцевості або районів з обмеженим водопостачанням

Під час проведення гасіння у разі необхідності необхідно вжити заходи із запобігання ураженню електричним струмом особового складу шляхом застосування діелектричного комплекту, заземлення пожежного ствола. Для охолодження акумуляторної батареї необхідно використовувати перекивні пожежні стволи типу Protec, TFT з можливістю подачі розпиленого струменя води та регульованої витрати (від 3,7 до 7,4 л/с).

З метою ефективного гасіння акумуляторної батареї необхідно використовувати стволи-пробійники або інше технічне обладнання, яке зможе пробити корпус акумуляторної батареї та безперервно подавати воду у кількості від 3,7 до 7,4 л/с та більше.

Під час безпосереднього гасіння пожежі особовий склад повинен використовувати засоби індивідуального захисту (апарати на стисненому повітрі), оскільки горіння акумуляторної батареї супроводжується виділенням специфічних та небезпечних хімічних речовин, тривалий вплив яких спричиняє сильне отруєння людського організму. Саме тому використання апаратів на стисненому повітрі є обов'язковим.

Після ліквідації пожежі необхідно розібрати акумуляторну батарею та пролити її розпиленими струменями води. Розбирання акумуляторної батареї необхідно здійснювати з використанням діелектричного комплекту та спеціального іскробезпечного інструменту. Можливе

використання тепловізора для визначення найбільш нагрітих ділянок для подальшого їх охолодження.

Після проведення всіх робіт потрібно попередити відповідні служби і власника про можливість повторного самозаймання автомобіля. Для запобігання подібній ситуації необхідно здійснювати постійний нагляд за електромобілем протягом доби після ліквідації загорання.

За можливості та у відповідності до закордонного досвіду гасіння на подібні пожежі необхідно залучати (викликати) техніку з маніпулятором вантажопідйомністю до 5 тонн та мобільні резервуари. Для економії часу та сил гасіння електромобіля можна здійснювати шляхом його безпосереднього занурення у воду на термін до 24 годин. Подібний спосіб гасіння безперечно має свої переваги, однак в наших умовах потребуватиме певної законодавчої бази.

Висновок. Відповідно до результатів аналізу сучасних методів гасіння ЛПЕЖ електромобілів та інших подібних транспортних засобів встановлено, що основним та найбільш ефективним вогнегасним засобом з точки зору практичного та наукового підходу залишається вода. Основними технічними засобами, що забезпечують ефективне розпилення води для подальшого охолодження акумуляторної батареї є стволи-пробійники та інші системи, що дають

можливість в найкоротші терміни здійснити розпилення води безпосередньо всередину акумуляторної батареї.

Грунтуючись на наявному передовому досвіді гасіння акумуляторних батарей електричних транспортних засобів пропонується загальний алгоритм дій керівника гасіння пожежі на місці події, відповідно до основними постулатами є забезпечення безперебійного водопостачання для гасіння пожежі в об'ємі не менше 8-9 тонн води, наявність спеціальних аварійно-рятувальних автомобілів з кранами-маніпуляторами та обов'язкове проведення всіх робіт в засобах індивідуального захисту органів дихання.

Список літератури:

1. Lazarenko O., Loik V., Shtain B., Riegert D. Research on the Fire Hazards of Cells in Electric Car Batteries. *Bezpieczeństwo i technika pożarnicza*, 2018. Vol. 52. Issue 44. P.58-67. <https://dx.doi.org/10.12845/bitp.52.4.2018.7>.
2. Marcel Held, Martin Tuchschnid, Markus Zennegg, Renato Figi, Claudia Schreiner, Lars Derek Mellert, Urs Welte, (2022). Thermal runaway and fire of electric vehicle lithium-ion battery and contamination of infrastructure facility *Renewable and Sustainable Energy Reviews Volume 165*, September 2022, 112474. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112474>
3. Гаврилюк А.Ф., Кушнір А.П. Аналіз пожежної безпеки електромобілів за термічною стабільністю силової літійової акумуляторної батареї *Пожежна безпека: зб. наук. праць. Львів: ЛДУ БЖД, 2022. № 40, 31-39.* <https://doi.org/10.32447/20786662.40.2022.04>
4. Liu, T., Liu, Y., Wang, X., Kong, X., and Li, G. (2019). Cooling control of thermally-induced thermal runaway in 18,650 lithium ion battery with water mist. *Energy Convers. Manage.* 199, 111969. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.111969>
5. Liu, T., Tao, C., and Wang, X. (2020b). Cooling control effect of water mist on thermal runaway propagation in lithium ion battery modules. *Appl. Energy* 267. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115087>
6. Junchao Zhao, Feng Xue, Yangyang Fu, Yuan Cheng, Hui Yang, Song Lu (2021). A comparative study on the thermal runaway inhibition of 18650 lithium-ion batteries by different fire extinguishing agents. *Science*, Volume 24, Issue 8, 20 August 2021, 102854. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2021.102854>
7. Safety risks to emergency responders from lithium-ion battery fires in electric vehicles (2020). Safety Report. Режим доступу: <https://www.nts.gov/safety/safetystudies/Documents/SR2001.pdf>.
8. Лазаренко О.В., Синельников О.Д., Биков О.М., Биков А.С. Пожежогасіння та проведення інших невідкладних робіт в електрокарах. *Пожежна безпека: зб. наук. праць. Львів: ЛДУ БЖД, 2019. №34. С. 54-58.* doi.org/10.32447/10.32447/20786662.34.2019.09
9. Лазаренко О.В., Пархоменко В.-П.О., Шкарапута О.В. Розроблення моделей ліквідації надзвичайних ситуацій на транспортних засобах з альтернативними видами пального. *Пожежна безпека: зб. наук. праць. Львів: ЛДУ БЖД, 2021. №38. С. 4-11.* doi.org/10.32447/20786662.38.2021.01
10. Fred Lambert Tesla vehicle caught on fire while plugged in at Supercharger station (Jun 1 2019). Safety Report. Режим доступу: <https://electrek.co/2019/06/01/tesla-fire-supercharger/>
11. Andrzej Łebkowski Electric Vehicle Fire Extinguishing System PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY, ISSN 0033-2097, R. 93 NR 1/2017. P. 329-332. doi:10.15199/48.2017.01.77
12. Quarantine container for electric cars. EmiControls. Reserve technical changes. October 2021. Режим доступу: https://www.emicontrols.com/media/quarantinecontainer-en_web_1.pdf
13. Abrollbehälter – Hochvolt Sicheres bergen und Löschen von Elektro- und hybridfahrzeugen mit Lithium-Ionen-akkumulatoren. Ellermann Eurocon GmbH (RedBOXX) (2022). Режим доступу: <https://containerellermann.com/wpcontent/uploads/2022/08/RED-BOXX.pdf>
14. M. K. Andersen Container puts out inextinguishable fires in electric cars. CFPA EUROPE (2020). Режим доступу: <https://cfpa-e.eu/container-puts-out-inextinguishable-fires-in-electric-cars/>
15. Analysis of suitable extinguishing agents and extinguishing systems for fighting electric car fires. ALBERO Project. Institut für Sicherheitstechnik/Schiffssicherheit e.V. Режим доступу: https://alberoprojekt.de/index_html_files/WP%204.5%20Analysis%20of%20suitable%20extinguishing%20agents%20and%20extinguishing%20systems%20for%20fighting%20electric%20car%20fires.pdf
16. Einsatz von Löschdecken an der Feuerwehrrakademie in Hamburg. Kreisfeuerwehrverband Segeberg (2022). Режим доступу: <https://www.kfvsegeberg.org/infothek/braend-e-von-elektro-fahrzeugen/>
17. E-MOBILITY PROTECTOR Das textile Schutzsystem für Elektrofahrzeuge. Stöbich technology GmbH (2022). Режим доступу: <https://www.stoebich-technology.de/en/produkte/e-mobilityprotector-1>

18. Battery extinguishing system technology (BEST). Rosenbauer Web Brochure (2022). Режим доступа: https://www.rosenbaueramerica.com/wpcontent/uploads/2022/04/22RBABEST_Brochure_blackWeb.pdf
19. Rosenbauer Introduces the Battery Extinguishing System Technology (BEST). Review by Rosenbauer America (2022). Режим доступа: <https://www.rosenbaueramerica.com/rosenbauer-battery-extinguishing-system-technology/>
20. RFC Battery extinguishing system. INTERSCHUTZ 2022. Режим доступа: https://www.everythingforthatmoment.com/fileadmin/interschutz/Interschutz/RFC_Battery_extinguishing_system/PC481_RFC-battery-extinguishing-system_DB_EN_220221.pdf
21. Water jet system for cutting & fire management Model WJFE 300 MODULAR. UP 1348. CRISTANINI (2014). Режим доступа: <https://ncsheriffs.org/NCSA%20Fire%20and%20EMS%20Procurement/Bid%2021-01-0608/Submissions%20for%20Lot%20Sheet/ITL%20Solutions/UP%201348%20-%20WJFE%2009.07.2014%20GB.pdf>
22. Trewe, A. (2021). Li-Ion Battery Pack Extinguishing Tests. Kungsbacka, Sweden: Cold Cut Systems. Режим доступа: <https://www.coldcutsystems.com/news/joint-forces-against-li-ion-battery-fires/>
23. Demonstration av släckmetod för litiumjonbatterier. Metodtillämpning på olika aggregationsnivåer – modul, sub-batteri, elbilspack och fordonsnivå. Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB). Report (03.2023). P. 41. Режим доступа: https://ctif.org/news/new-revolutionary-method-extinguishes-lithium-ion-ev-fires-ten-minutes-minimal-water?fbclid=IwAR0ralxuGiL5NwdhsRpBXMw06Aho1a69gM0t5MIqNq6YIfZSEMO RhD6_zc8
24. Murer-Feuerschutz GmbH. (09-2021). E-Löschlanze. Hämtat från Murer. Режим доступа: www.murerfeuerschutz.de/_pdf/eloeschlanze/ELoeschlanze_EN_20211026_WEB.pdf?m=1643720727&
25. Hinweise für die Brandbekämpfung von Lithium-Ionen-Akkus bei Fahrzeugbränden. Fachbereich AKTUELL Sachgebiet Feuerwehren und Hilfeleistungsorganisationen FBFHB-024 (28.07.2020). P. 5. Режим доступа: www.feuerweggenfelden.com/images/Beitraege/Download/DGUV_FBFHB_Lithium_Ionen_Akku.pdf
- References:**
1. Lazarenko O., Loik V., Shtain B., Riegert D. Research on the Fire Hazards of Cells in Electric Car Batteries. *Bezpieczeństwo i technika pożarnicza*, 2018. Vol. 52. Issue 44. P.58-67. <https://dx.doi.org/10.12845/bitp.52.4.2018.7>.
2. Marcel Held, Martin Tuchschnid, Markus Zennegg, Renato Figi, Claudia Schreiner, Lars Derek Mellert, Urs Welte, (2022). Thermal runaway and fire of electric vehicle lithium-ion battery and contamination of infrastructure facility *Renewable and Sustainable Energy Reviews* Volume 165, September 2022, 112474. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112474>
3. Havryliuk A.F., Kushnir A.P. (2022). Analysis of the fire hazard of electric vehicles based on the thermal stability of the power lithium battery. *Fire Safety* №40. P. 31-39. <https://doi.org/10.32447/20786662.40.2022.04>
4. Liu, T., Liu, Y., Wang, X., Kong, X., and Li, G. (2019). Cooling control of thermally-induced thermal runaway in 18,650 lithium ion battery with water mist. *Energy Convers. Manage.* 199, 111969. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.111969>
5. Liu, T., Tao, C., and Wang, X. (2020b). Cooling control effect of water mist on thermal runaway propagation in lithium ion battery modules. *Appl. Energy* 267. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115087>
6. Junchao Zhao, Feng Xue, Yangyang Fu, Yuan Cheng, Hui Yang, Song Lu (2021). A comparative study on the thermal runaway inhibition of 18650 lithium-ion batteries by different fire extinguishing agents. *Science*, Volume 24, Issue 8, 20 August 2021, 102854. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2021.102854>
7. Safety risks to emergency responders from lithium-ion battery fires in electric vehicles (2020). Safety Report. Режим доступа: [ntsb.gov/safety/safetystudies/Documents/SR2001.pdf](https://www.nsb.gov/safety/safetystudies/Documents/SR2001.pdf).
8. Lazarenko O.V., Synelnikov O.D., Bykov O.M., Bykov A.S. (2019). Firefighting and other emergency work in electric cars. *Fire safety*. № 34. P. 54-58. doi.org/10.32447/10.32447/20786662.34.2019.09
9. Lazarenko O.V., Parkhomenko V.-P.O., Shkaraputa O.V. (2021). Development of emergency response models for vehicles with alternative types of fuel. *Fire safety* № 38. P. 4-11 doi.org/10.32447/20786662.38.2021.01
10. Fred Lambert Tesla vehicle caught on fire while plugged in at Supercharger station (Jun 1 2019). Safety Report. Режим доступа: <https://electrek.co/2019/06/01/tesla-fire-supercharger/>
11. Andrzej Łebkowski Electric Vehicle Fire Extinguishing System PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY, ISSN 0033-2097, R. 93 NR 1/2017. P. 329-332. [doi:10.15199/48.2017.01.77](https://doi.org/10.15199/48.2017.01.77)
12. Quarantine container for electric cars. *EmiControls*. Reserve technical changes. October 2021. Режим доступа: https://www.emicontrols.com/media/quarantine-container-en_web_1.pdf

13. Abrollbehälter – Hochvolt Sicheres bergen und Löschen von Elektro- und hybridfahrzeugen mit Lithium-Ionen-akkumulatoren. Ellermann Eurocon GmbH (RedBOXX) (2022). Режим доступу: <https://container-ellermann.com/wp-content/uploads/2022/08/RED-BOXX.pdf>
14. M. K. Andersen Container puts out inextinguishable fires in electric cars. CFPA EUROPE (2020). Режим доступу: <https://cfpa-e.eu/container-puts-out-inextinguishable-fires-in-electric-cars/>
15. Analysis of suitable extinguishing agents and extinguishing systems for fighting electric car fires. ALBERO Project. Institut für Sicherheitstechnik/Schiffssicherheit e.V. Режим доступу: https://alberoprojekt.de/index_htm_files/WP%204.5%20Analysis%20of%20suitable%20extinguishing%20agents%20and%20extinguishing%20systems%20for%20fighting%20electric%20car%20fires.pdf
16. Einsatz von Löschdecken an der Feuerwehrrakademie in Hamburg. Kreisfeuerwehrverband Segeberg (2022). Режим доступу: <https://www.kfv-segeberg.org/infothek/braende-von-elektrofahrzeugen/>
17. E-MOBILITY PROTECTOR Das textile Schutzsystem für Elektrofahrzeuge. Stöbich technology GmbH (2022). Режим доступу: <https://www.stoebich-technology.de/en/produkte/e-mobilityprotector-1>
18. Battery extinguishing system technology (BEST). Rosenbauer Web Brochure (2022). Режим доступу: https://www.rosenbaueramerica.com/wp-content/uploads/2022/04/22-RBA-BEST_Brochure_black-Web.pdf
19. Rosenbauer Introduces the Battery Extinguishing System Technology (BEST). Review by Rosenbauer America (2022). Режим доступу: <https://www.rosenbaueramerica.com/rosenbauer-battery-extinguishing-system-technology/>
20. RFC Battery extinguishing system. INTERSCHUTZ 2022. Режим доступу: https://www.everythingforthatmoment.com/fileadmin/interschutz/Interschutz/RFC_Battery_extinguishing_system/PC481_RFC-battery-extinguishing-system_DB_EN_220221.pdf
21. Water jet system for cutting & fire management Model WJFE 300 MODULAR. UP 1348. CRISTANINI (2014). Режим доступу: <https://ncsheriffs.org/NCSA%20Fire%20and%20EMS%20Procurement/Bid%2021-01-0608/Submissions%20for%20Lot%20Sheet/ITL%20Solutions/UP%201348%20%20WJFE%2009.07.2014%20GB.pdf>
22. Trewe, A. (2021). Li-Ion Battery Pack Extinguishing Tests. Kungsbacka, Sweden: Cold Cut Systems. Режим доступу: <https://www.coldcutsystems.com/news/joint-forces-against-li-ion-battery-fires/>
23. Demonstration av släckmetod för litiumjonbatterier. Metodtillämpning på olika aggregationsnivåer – modul, sub-batteri, elbilspack och fordonsnivå. Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB). Report (03.2023). P. 41. Режим доступу: https://ctif.org/news/new-revolutionary-method-extinguishes-lithium-ion-ev-fires-ten-minutes-minimal-water?fbclid=IwAR0ralxuGiL5NwdhsRpBXMw06Aho1a69gM0t5MIqNq6YIfZSEMORhD6_zc8
24. Murer-Feuerschutz GmbH. (09-2021). E-Löschlanze. Hämtat från Murer. Режим доступу: https://www.murer-feuerschutz.de/_pdf/e-loeschlanze/ELoeschlanze_EN_20211026_WEB.pdf?m=1643720727&
25. Hinweise für die Brandbekämpfung von Lithium-Ionen-Akkus bei Fahrzeugbränden. Fachbereich AKTUELL Sachgebiet Feuerwehren und Hilfeleistungsorganisationen FBFHB-024 (28.07.2020). P. 5. Режим доступу: www.feuerwehreggenfelden.com/images/Beitraege/Download/DGUV_FBFHB_Lithium_Ionen_Akku.pdf

© В. -П. О. Пархоменко, О. В. Лазаренко,
Р. Ю. Сукач, 2023.

Оглядова.

Надійшла до редакції 27.03.2023.

Прийнято до публікації 16.05.2023.