

**ЛЬВІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БЕЗПЕКИ
ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ**

ЛАЗАРЕНКО О.В., ПАРХОМЕНКО В.-П.О.

**НЕБЕЗПЕКА ТА ОСОБЛИВОСТІ
ГАСІННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ
НА АЛЬТЕРНАТИВНИХ
ДЖЕРЕЛАХ ЕНЕРГІЇ**

Навчальний посібник

ЛЬВІВ 2021

УДК 614.841.48 (075.8)

ББК 38.96

Л 17

Лазаренко, Олександр Вікторович,

«Небезпека та особливості гасіння транспортних засобів на альтернативних джерелах енергії» Навчальний посібник / О.В. Лазаренко, В.-П.О. Пархоменко – Львів: Видавництво ЛДУ БЖД. 2021. – 143 с.

Рецензенти:

Коваль Олександр Мирославович, доктор технічних наук, директор ТзОВ «Компанія «Всесвіт комфорту».

Ущапівський Ігор Любомирович, кандидат технічних наук, начальник управління реагування на надзвичайні ситуації ГУ ДСНС України у Львівській області.

Лавренюк Олена Іванівна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри фізики та хімії горіння Львівського державного університету безпеки життєдіяльності.

Навчальний посібник для здобувачів вищої освіти навчальних закладів пожежно-технічного спрямування, практичних працівників ДСНС України буде корисним джерелом інформації для ознайомлення з особливостями будови та небезпекою, яка пов'язана з транспортними засобами на альтернативних джерелах енергії. Представлена інформація та рекомендації можуть стати підґрунтям для розроблення надалі нормативно-правової бази щодо проведення пожежогасіння або інших невідкладних робіт на транспортних засобах, що працюють на альтернативних джерелах енергії.

Рекомендовано до друку рішенням вченої ради
Львівського державного університету безпеки життєдіяльності
(протокол № 2 від 6 жовтня 2021 року)

© Лазаренко О.В., 2021
© Пархоменко В.-П. О., 2021
© ЛДУБЖД, 2021

ЗМІСТ

Умовні скорочення.....	5
Вступ.....	6
Розділ 1. Характеристика та опис транспортних засобів на альтернативних джерелах енергії.....	8
1.1. Світова статистика використання транспортних засобів на альтернативних джерелах енергії.....	8
1.1.1. Статистика електромобілів в Україні	13
1.1.2. Основні моделі та марки електроавтомобілів в світі	14
1.2. Загальна будова та принцип роботи електроавтомобілів.....	15
1.2.1. Конструкція та характеристика автомобілів «Tesla»	15
1.2.2. Конструкція та характеристика автомобілів «Nissan Leaf» ...	17
1.2.3. Принцип роботи елемента живлення електроавтомобіля	19
1.3. Загальна будова та принцип роботи автомобілів з гібридним двигуном.....	20
1.3.1. Конструкція та характеристика найбільш розповсюджених автомобілів з гібридним двигуном.....	22
1.4. Загальна будова та принцип роботи автомобілі на водневому паливі	26
1.4.1. Водень та його властивості	26
1.4.2. Системи автомобіля на водневому паливі	27
1.5. Принцип роботи водневих автозаправних станцій	34
1.6. Конструкція та характеристика найбільш розповсюджених автомобілів на водневому паливі	36
Розділ 2. Аналіз пожежної небезпеки транспортних засобів на альтернативних джерелах енергії.....	41
2.1. Результати наукових досліджень щодо пожежної небезпеки елементів живлення електроавтомобілів.....	41
2.2. Пожежна небезпека автомобілів на водневому паливі.....	51
Розділ 3. Досвід та тактика гасіння транспортних засобів на альтернативних джерелах енергії.....	67
3.1. Статистика виникнення пожеж електромобілів та їх наслідки	68
3.1.1. Опис пожеж електроавтомобілів.....	69

3.2. Аналіз факторів пожежної небезпеки електроавтомобілів	79
3.3. Способи та тактика гасіння електроавтомобілів	81
3.4. Рекомендації по гасінню електроавтомобілів.....	85
3.4.1. Інженерно-технічні рішення для гасіння електроавтомобілів.....	89
3.5. Рекомендації по гасінню АВП.....	91
3.6. Міжнародне регулювання дій по проведенню аварійно-рятувальних робіт в ТЗ на альтернативних джерелах енергії.....	105
3.6.1. Міжнародний стандарт ISO 17840	106
3.6.2. Мультимедійний додаток для організації та проведення аварійно-рятувальних робіт на ТЗ.....	109

Розділ 4. Екологічні аспекти використання та переробки

аккумуляторних батарей електроавтомобілів	111
4.1. Екологічні наслідки використання аккумуляторних батарей	111
4.2. Переробка аккумуляторних батарей	113

Додаток 1. Статистика пожеж електроавтомобілів з коротким описом наслідків та причин загорання	118
Додаток 2. Умовні позначення, що використовуються в «рятувальних картках» відповідно до стандарту ISO 17840.....	122
Додаток 3. Блок-схема рекомендованого алгоритму дій рятувальників під час ліквідації НС на ЕА у випадку	126
Додаток 4. Рекомендована схема розташування сил і засобів під час гасіння ЕА та проведення інших невідкладних робіт в межах міської забудови	128
Додаток 5. Рекомендована схема розташування сил і засобів під час гасіння ЕА та проведення інших невідкладних робіт в межах сільської місцевості або районів з обмеженим водопостачанням...	129
Додаток 6. Блок-схема рекомендованого алгоритму дій рятувальників під час ліквідації НС на АВП	130
Додаток 7. Рекомендована схема розташування сил і засобів під час гасіння факельного горіння водню /наближення до транспортного засобу.....	133
Література	134

УМОВНІ СКОРОЧЕННЯ

ТЗ	транспортний засіб
ТЗАДЕ	транспортний засіб на альтернативних джерелах енергії
КГП	керівник гасіння пожежі
ЕТЗ	електричний транспортний засіб
ЕА	електричний автомобіль
АВП	автомобіль на водневому паливі
АзГД	автомобілі з гібридним двигуном
ДВЗ	двигун внутрішнього згорання
ТАПЗТ	термічно активований пристрій для зниження тиску
КГП	керівник гасіння пожежі
АСП	апарат на стисненому повітрі
ЗІЗОД	засоби індивідуального захисту органів дихання
НС	надзвичайна ситуація
АРР	аварійно-рятувальні роботи
ISO	Міжнародна організація стандартизації (International Organization for Standardization)
NFPA	Національна асоціація з пожежної безпеки США (National Fire Protection Association, USA)
Euro	Європейська програма оцінки нових автомобілів
NCAP	(The European New Car Assessment Programme)
CTIF	Міжнародною асоціацією пожежно-рятувальних підрозділів (International association of fire and rescue services)

ВСТУП

Четверта науково-технічна революція, що розпочалася з середини ХХ-го століття привела 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 (ТЗАДЕ) серед яких привертають особливу увагу транспортні засоби (ТЗ), що працюють виключно на електриці, гібридні ТЗ та такі, що працюють на водні. Подібні ТЗ в найближчому майбутньому повинні повністю витіснити традиційні ТЗ на двигунах внутрішнього згорання. Одночасно з впровадженням нових технологій зростає і кількість загроз та небезпек які загрожують життю та здоров'ю людини і на які повинні реагувати оперативно-рятувальні підрозділи.

Разом з розвитком ТЗАДЕ змінюються і системи забезпечення функціонування та обслуговування подібних ТЗ. З появою ТЗАДЕ виникла потреба створення альтернативних заправних станцій, що з точки зору пожежної безпеки також створює додаткову небезпеку, яка вимагає застосування альтернативних засобів пожежогасіння та зміну традиційної тактики гасіння.

Розглядаючи подібний напрямок дослідження, необхідно розуміти, що більшість наукового та практичного матеріалу з подібної тематики необхідно збирати та аналізувати, оперуючи величезною кількістю літературних джерел, інтернет-посилань, незалежних досліджень, які проводять вчені всього світу і результати яких публікують різними мовами. Незначна кількість статистичних даних про випадки загорянь, а особливо детальних звітів про хід та

наслідки дій оперативно-рятувальних підрозділів під час гасіння подібних пожеж роблять цю тематику ще цікавішою, оскільки представлений матеріал та рекомендації із гасіння є практичними напрацюваннями з усіх частин світу, які на жаль на сьогодні залишаються невідомими для багатьох рятувальників.

Грунтовні та правильні знання про будову, особливості розташування основних агрегатів ТЗАДЕ, принцип їх роботи, а особливо про безпеку ТЗАДЕ з точки зору пожежогасіння, дадуть змогу керівнику гасіння пожежі (КГП) прийняти правильні рішення стосовно гасіння ТЗ та убезпечать особовий склад від небезпек, які можуть виникнути.

РОЗДІЛ 1

ХАРАКТЕРИСТИКА ТА ОПИС ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ НА АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛАХ ЕНЕРГІЇ

1.1. Світова статистика використання транспортних засобів на альтернативних джерелах енергії

В цьому посібнику під терміном ТЗАДЕ розглядаються ТЗ або автомобілі, що працюють на електричній енергії, яку отримують з різних джерел.

Таким чином електричні транспортні засоби (ЕТЗ) можна умовно розділити на три категорії (рис.1.1):

– ЕТЗ або електричні автомобілі – ЕА (*переклад з англ. EV, – electric vehicle*), що працюють виключно на електричній енергії від акумуляторних батарей живлення. Такі ТЗ потребують поповнення електричного заряду шляхом підключення до мережі живлення;

– автомобілі з гібридними двигунами (АзГД, простіше гібриди), які працюють завдяки поєднанню двох джерел живлення: двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ) та акумуляторної батареї. АзГДЗ в свою чергу також умовно можна розділити на так звані плагін-гібриди (*переклад з англ. PHEV – plug-in hybrid electric vehicle*), де акумуляторна батарея заряджається від електромережі, та гібриди без можливості підзарядки акумуляторної батареї від електромережі (*переклад з англ. HEV - hybrid electric vehicle*).

– автомобілі на водневому паливі (АВП), що працюють завдяки перетворенню енергії гідрогену в електричний заряд. Тобто, завдяки використанню спеціальних паливних елементів водень перетворюється на електричну енергію (*переклад з англ. FCEV – Fuel cell electric vehicles*).

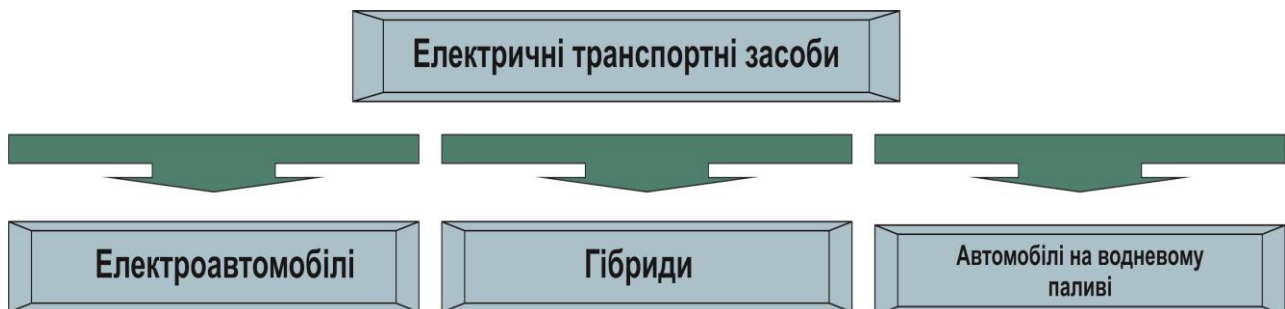


Рисунок 1.1 – Класифікація ЕТЗ

Світовий запас ЕТЗ між 2005 та 2009 роками складався виключно з ЕА, загалом у 2005 році – близько 1700 одиниць, і майже 6000 у 2009 році. Запас ЕА збільшився до приблизно 12 500 одиниць в 2010 р., з яких 350 – АзГД. Після виходу на ринок ЕА Nissan Leaf та Chevrolet Volt наприкінці грудня 2010 року, перші серійні ЕА масового виробництва великих автовиробників, продажі ЕА зросли приблизно до 50 000 одиниць в 2011 році, до 125 000 в 2012 році і майже 213 000 у 2013 році. На початок 2014 року продажі становили понад 315 000 одиниць, що на 48% більше ніж у 2013 році [1, 2].

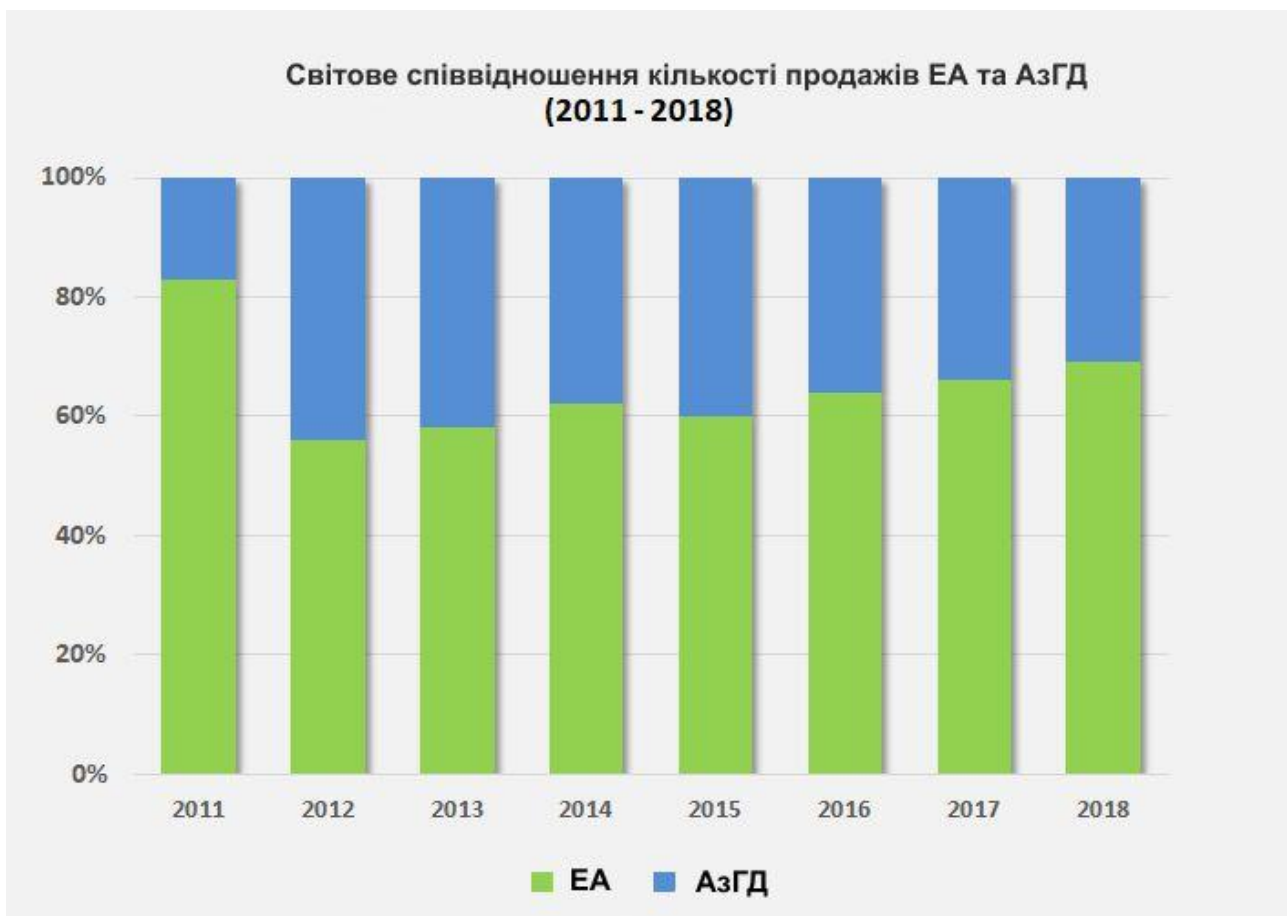


Рисунок 1.2 – Світове співвідношення кількості продажів ЕА та АзГД з 2011 по 2018 рік

У березні 2014 року Норвегія стала першою країною, де згідно статистичних даних на кожні 100 автомобілів припадав 1 ЕА, а до жовтня 2018 року це співвідношення вже було 1 до 10.

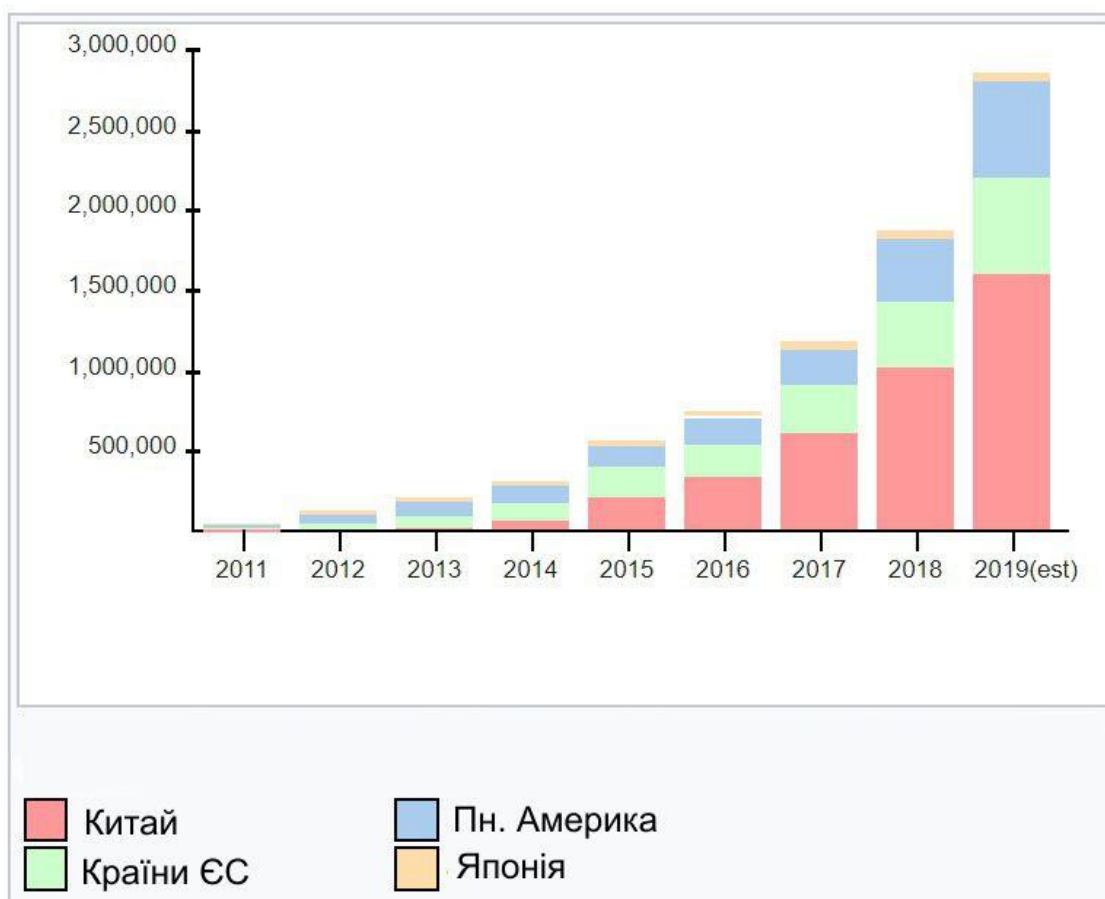


Рисунок 1.3 – Річні обсяги продажу ЕА в країнах світу в період з 2011 по 2017 рік

За п'ять років глобальний ринок продажу ЕА збільшився в десятки разів, що становило понад 565 000 одиниць у 2015 році, тобто на 80% більше ніж у 2014 році, в основному завдяки Китаю та Європі. Близько 775 000 ЕА та мікроавтобусів було продано у 2016 році, а 1,22 мільйона – у 2017 році, тобто на 57% більше. На Китай припадає близько половини світових продажів.

Частка світового ринку ЕА досягла 1,3% у 2017 році, порівняно з 0,86% у 2016 році та 0,38% у 2014 році. Світові продажі ЕА та АзГД, що працюють на альтернативних джерелах енергії, перевищили 3 мільйони у листопаді 2017 року та 5 мільйонів наприкінці 2018 року.

Загальний обсяг продажів у 2018 році становив 2 018 247 легкових автомобілів, що на 72% більше, ніж у 2017 році, частка ринку – 2,1%. Співвідношення ЕА та АзГД становило 69:31 відповідно.

Число використання електричних автомобілів в різних країнах світу відрізняється, оскільки на прийняття у користування подібних автомобілів впливає різноманітна кількість чинників, а саме: попит споживачів, ринкові ціни та заохочення урядів країн.

Популярність електромобілів швидко зростає завдяки державним субсидіям, їхньому розширеному асортименту та меншим витратам на щоденне використання, а також екологічній безпеці для навколишнього середовища. На грудень 2018 року світове співвідношення подібних автомобілів становило 1 до 250.

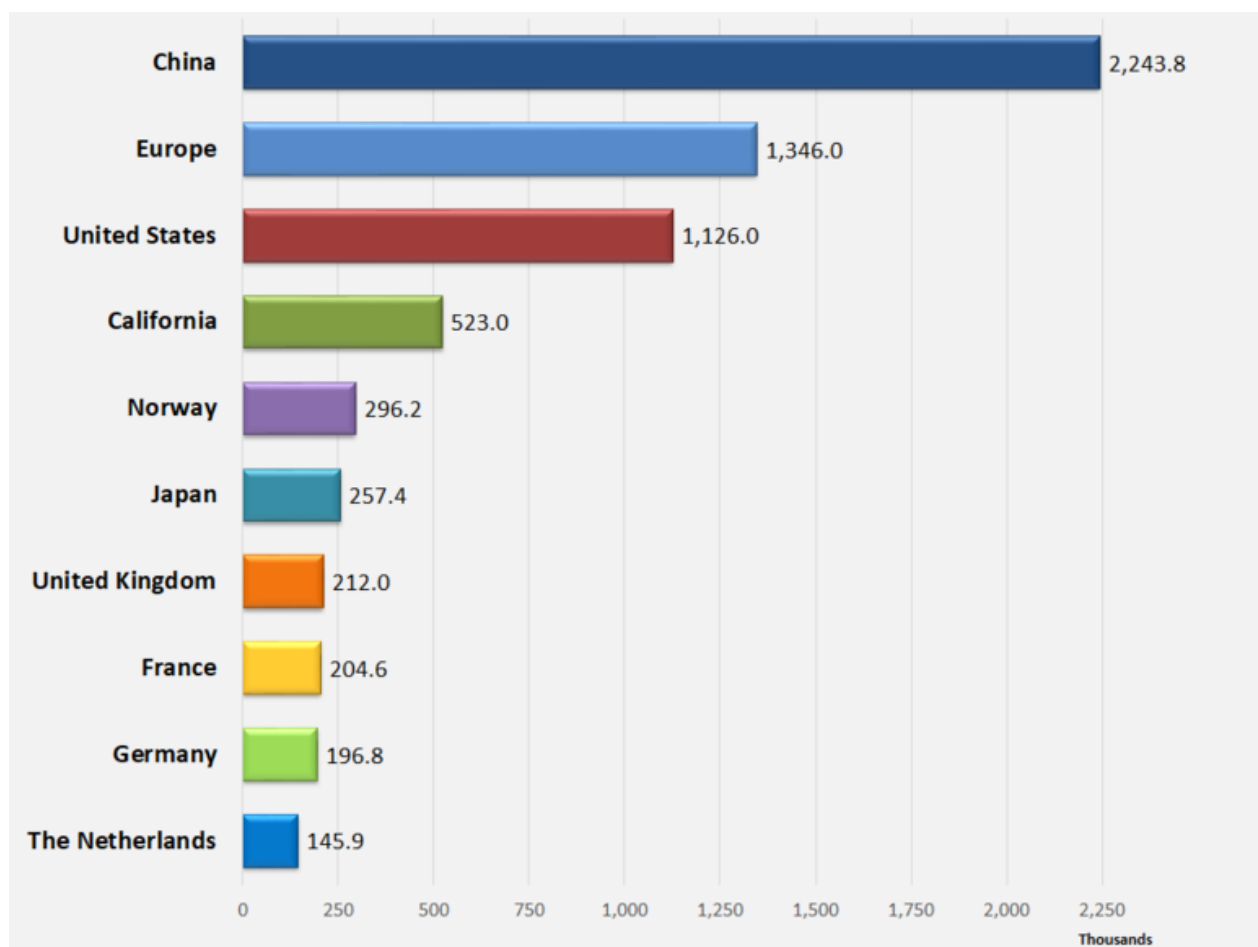


Рисунок 1.4 – Країни (регіони) світу за кількістю продажів ЕА (тис.), станом на грудень 2018 року

Станом на грудень 2018 року в Китаї був найбільший запас ЕТЗ, що налічував понад 2 мільйони пасажирських автомобілів. Китай також домінує в розробці та впровадженні більш габаритного електротранспорту, зокрема електроавтобусів, їхня кількість становила 343 500 одиниць у 2016 році.

На вересень 2018 року у Сполучених Штатах Америки було мільйон ЕТЗ, а штат Каліфорнія був найбільшим регіональним ринком в США: 537 208 ЕТЗ було продано там до грудня 2018 року.

До червня 2018 року в Європі було зареєстровано понад мільйон ЕТЗ, а у Норвегії – провідній країні, зареєстровано понад 296 000 одиниць до кінця 2018 року. Норвегія має найвищий рівень співвідношення ЕТЗ на душу населення в світі, а також має найбільшу в світі частку ринку збуту нових автомобілів – 49,1% у 2018 році. Станом на 2018 рік 10% усіх легкових автомобілів на норвезьких дорогах були ЕТЗ.

Статистики використання АВП на сьогодні практично немає, оскільки в порівнянні з ЕА та АзГД використання АВП є досить незначне. Однак провідні країни світу, такі як США, Німеччина, Канада та інші, поступово збільшують кількість використання АВП та розвивають відповідну інфраструктуру для них.

Основна проблема при використанні АВП – це облаштування заправних станцій, де необхідно зберігати велику кількість водню під високим тиском, що в свою чергу створює надзвичайну пожежну небезпеку та потребує додаткових заходів безпеки. Однак, сьогодні подібні заправні станції успішно функціонують в Німеччині, Канаді, Сінгапурі, Японії та США.

Оскільки провідні автовиробники світу такі як Toyota, Hyundai, Daimler, Audi, BMW, Volvo, Ballard Power Systems, General Motors, MAN зацікавлені у виробництві АВП і вже здійснюють їх масовий продаж, то можна з впевненістю стверджувати, що попит на подібні ТЗ буде зростати.

Також значним стимулом до виробництва АВП є той факт, що уряди країн всіляко заохочують використання ТЗ, які не забруднюють атмосферу. Для прикладу, штат Каліфорнія в США виділив фінансування на облаштування 100 автозаправних станцій для АВП, щоб до 2025 року досягнути показника в 1,5 мільйона АВП.

Також цікавим фактом є те, що Toyota має амбіційний план з розвитку цілого міста, яке працюватиме завдяки використанню водню. Розбудова міста планується біля підніжжя гори Фудзіяма в Японії [3]. Також автогігант планує розробку близько 100 автобусів, що працюватимуть на водні для забезпечення перевезення пасажирів під час проведення масових заходів на зразок Олімпійських ігор.

Загалом, згідно з міжнародними прогнозами ринок АВП до 2050 року становитиме близько 1,3 млн. ТЗ на рік [4].

1.1.1. Статистика електроавтомобілів в Україні

Незважаючи на низькі економічні показники та незадовільні соціальні аспекти розвитку України ринок ЕТЗ в нашій державі показує стабільне зростання з року в рік. Так, відповідно до статистичного дослідження [5], станом на вересень 2018 в Україні налічувалося близько 15 696 ЕТЗ різного виду та характеристики, а станом на червень 2019 року їхня кількість становила 25 171, що практично на 10 000 більше. Таким чином практично за рік часу українці збільшили ринок ЕТЗ на 37 %.

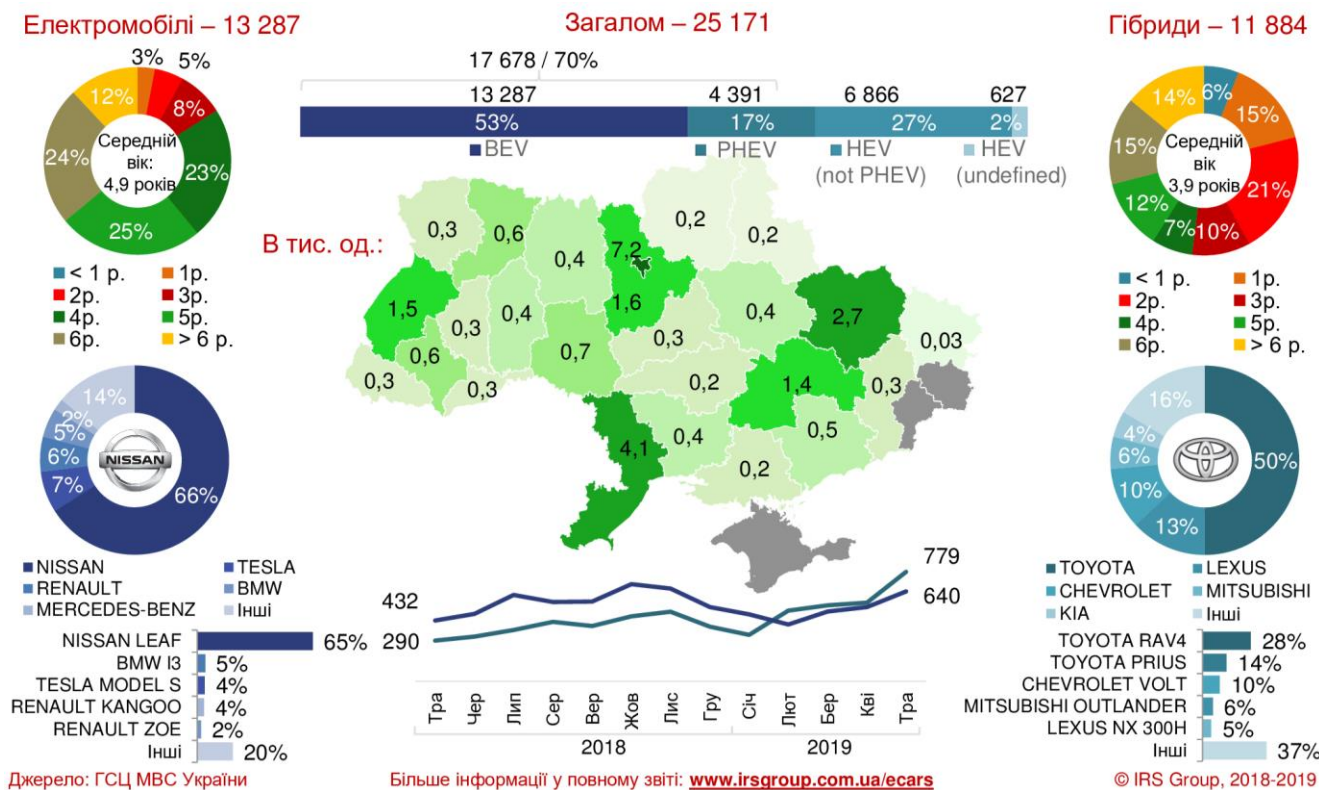


Рисунок 1.5 – Кількість зареєстрованих ЕТЗ в Україні, станом на 01.06.2019

Подальший детальний аналіз (рис.1.5) ринку ЕТЗ України показує, що на червень 2019 року лідерами серед регіонів України є м. Київ та Київська область (7,2 та 1,5 тис автомобілів відповідно), Харківська область (2,7 тис автомобілів), Одеська область (4,1 тис автомобілів) та Львівська область (1,5 тис автомобілів).

Аналогічно світовим тенденціям розвитку, в Україні спостерігається домінування ЕА над АзГД, а саме 13 297 проти 11 884.

1.1.2. Основні моделі та марки електроавтомобілів в світі

Згідно із статистичними даними, цілком очевидно, що ЕА значно переважають за кількісними показниками в Україні та світі. Таким чином цінною та цікавою інформацією для «роздумів» має стати статистичні показники найбільш розповсюджених марок ЕА.

Оприлюднені статистичні показники [2] показують (рис.1.6), що на кінець 2018 – початок 2019 року лідером продажів серед ЕА в світі був автомобіль «Tesla», зокрема його модифікація Model S та Model 3, однак кількісні показники, на жаль, суттєво відрізняються на різних інформаційних ресурсах. Хоча навіть за таких даних є очевидним лідерство марки «Tesla».

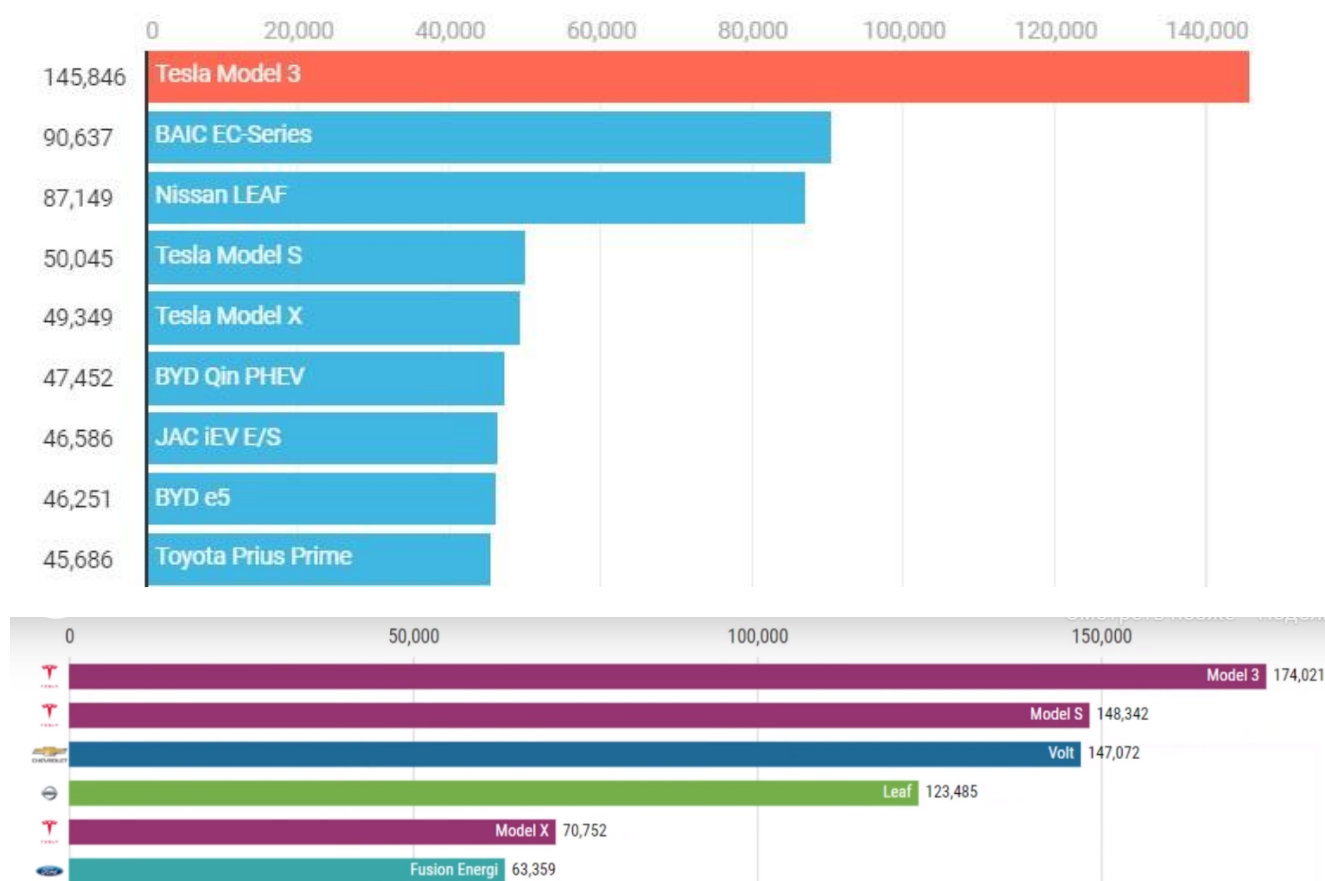


Рисунок 1.6 – Найбільш розповсюдженні марки ЕА в світі

Наступними після «Tesla» в світовому рейтингу стоять «Chevrolet Volt» та «Nissan Leaf» відповідно, хоча на Китайському ринку друге місце впевнено посідає вітчизняна марка «BAIC EC-series».

1.2. Загальна будова та принцип роботи електроавтомобілів

Принцип роботи електромобіля (рис.1.7) базується на тому, що рух забезпечується роботою двигуна, які використовує для своєї роботи електричну енергію. Електродвигун відіграє ту саму роль, що і двигун внутрішнього згорання, крім того в електромобілі можливе встановлення декількох двигунів, котрі здатні якісно і більш раціонально розподіляти енергію.

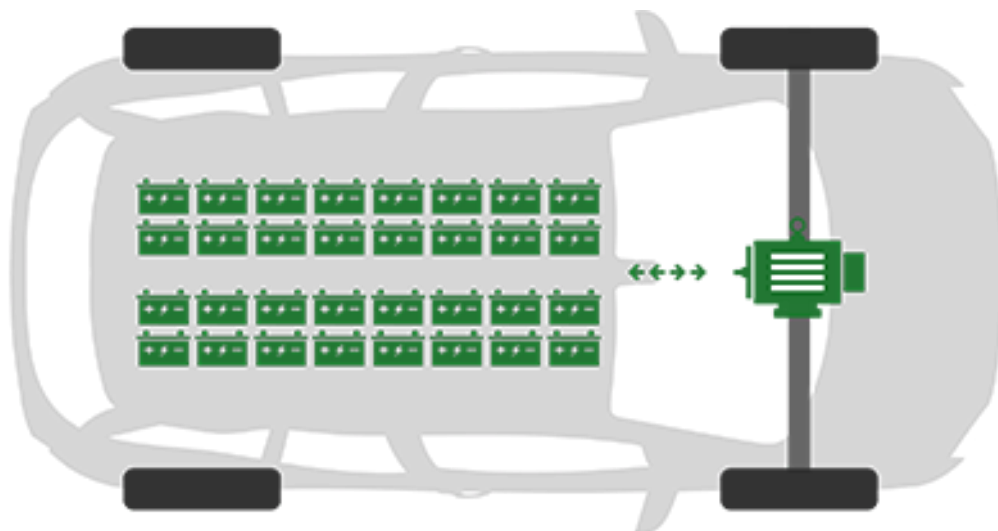


Рисунок 1.7 – Загальний принцип роботи ЕА

Акумуляторні батареї відіграють функцію паливного бака, котрий живить двигун енергією, необхідною для забезпечення руху автомобіля.

Відповідно до визначених вище найбільш розповсюджених марках ЕА в світі, зосередимо свою увагу на трійці лідерів, а зокрема «Tesla Model S та Model 3» «Nissan Leaf» та «Chevrolet Volt».

1.2.1. Конструкція та характеристика автомобілів «Tesla»

Автомобілі марки «Tesla» (рис.1.8), загалом як і автомобілі інших автовиробників, не мають суттєвих розбіжностей в базовій конструкції кузова автомобіля та розміщенні основних вузлів [6]. Різниця між автомобілями «Tesla Model S та Model 3» полягає насамперед в потужності самого автомобіля (потужності акумуляторної батареї), запасу ходу автомобіля на одному заряді, зовнішніх особливостях дизайну кузова та салону.

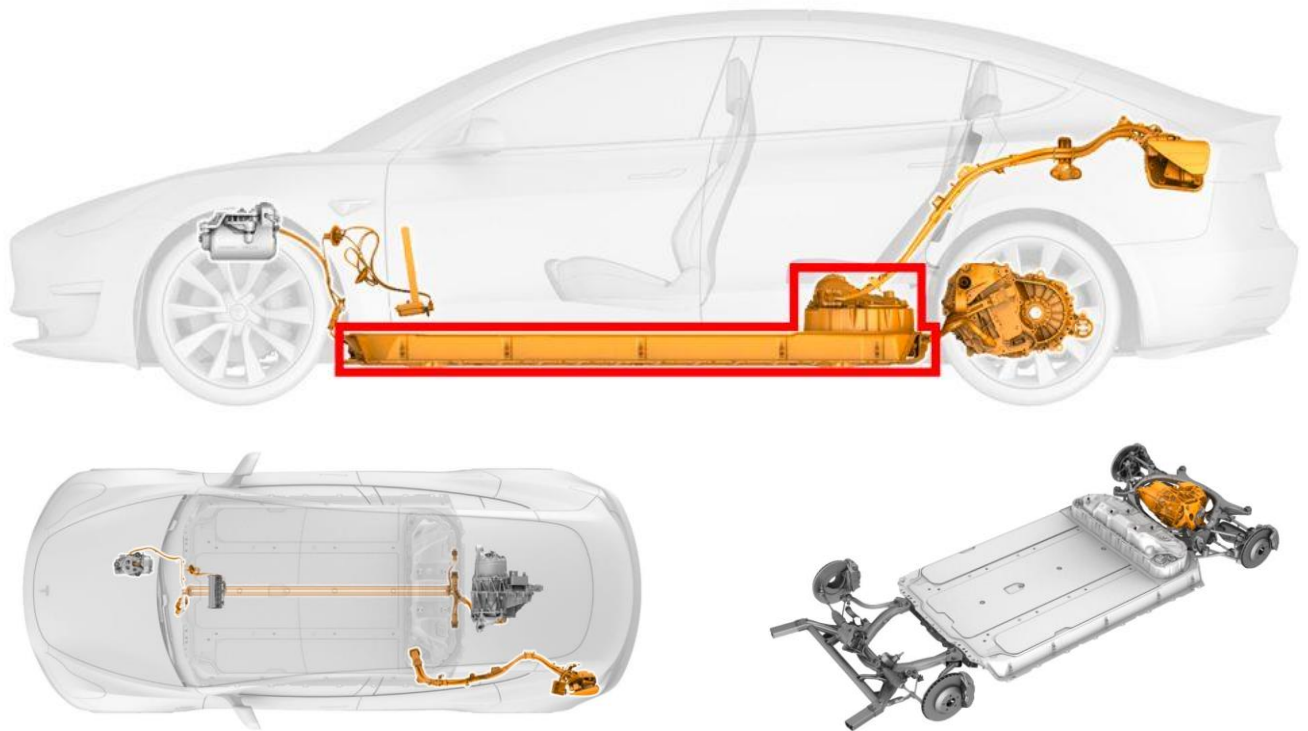


Рисунок 1.8 – Базова конструкція та розміщення основних вузлів на автомобілі «Tesla Model 3».

На відміну від Model 3 Model S (залежно від комплектації та року випуску) має варіанти виконання з двома електродвигунами, що однозначно впливатиме на потужність автомобіля в цілому та акумуляторної батареї.



а)



б)

Рисунок 1.9 – Приклад елемента живлення (а) 18650 (18 x 65 мм) та розподіл в акумуляторній батареї Tesla Model S (б)

Електродвигуни автомобілів модифікації «3» та «S» розміщуються на осі заднього колеса автомобіля, а в варіантах з двома електромоторами на осях переднього та заднього коліс відповідно. Всі інші основні агрегати та вузли автомобілів загалом є схожими.

Акумуляторна батарея автомобілів «Tesla» розміщена в нижній частині кузова і займає практично всю його площу. В останніх моделях автомобілів «Tesla» додатково облаштовується захист акумуляторної батареї з використанням титанової пластини. В конструкції акумуляторної батареї використовуються елементи живлення типу 18650. Для прикладу, в Model S (2012 – 2015 років випуску) розміщено 16 блоків в кожному з яких міститься 444 елементи живлення типу 18650, що дорівнює 7104 елементам живлення [7, 8].

1.2.2. Конструкція та характеристики автомобілів «Nissan Leaf»

Електрокар «Nissan Leaf» є найрозповсюдженішим ЕА на теренах Європи та особливо України. На відміну від попереднього ЕА «Nissan Leaf» він має принципові конструктивні відмінності в будові акумуляторної батареї та конструкції і розміщенні електродвигуна (рис.1.10).

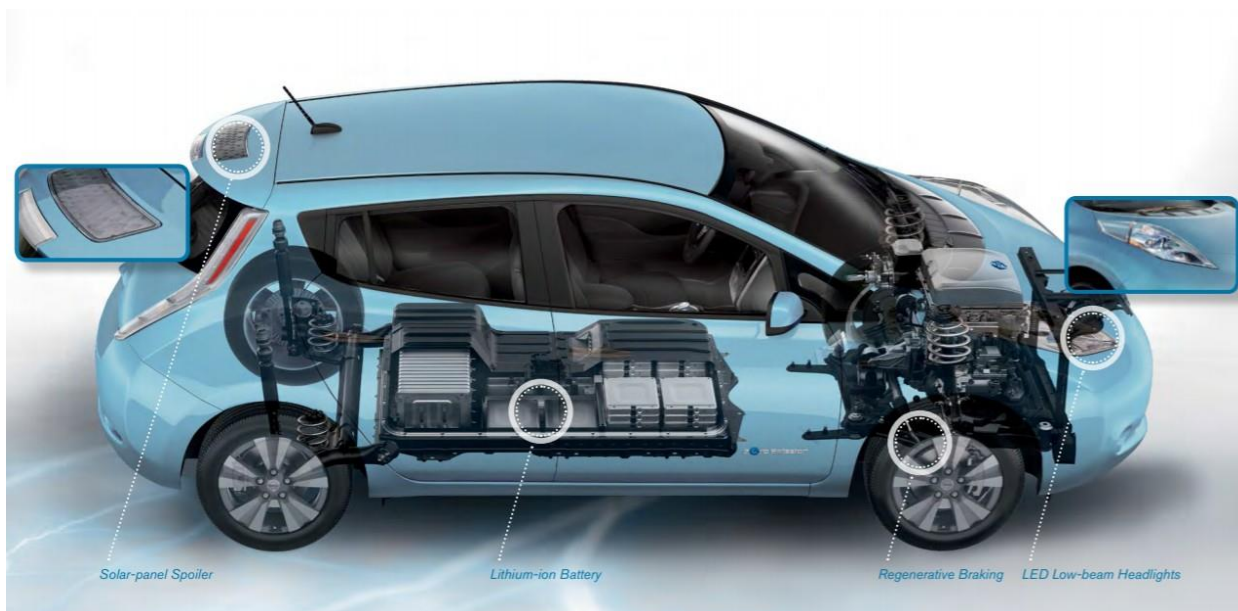
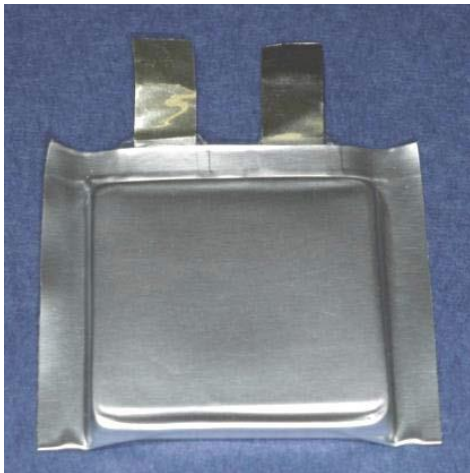


Рисунок 1.10 – Базова конструкція та розміщення основних вузлів на автомобілі «Nissan Leaf»

Аналогічно попередній моделі, акумуляторна батарея автомобіля (модельного ряду 2018 року) розміщується у днищі автомобіля, однак займає дещо меншу площу. Принципова відмінність акумуляторної батареї полягає у використанні інших елементів живлення (рис.1.11), а саме пакетних полімерних та як наслідок їхнього подальшого улаштування в корпусі акумуляторної батареї.



*а) пакетний полімерний
елемент живлення*



*б) акумуляторна батарея
Nissan Leaf*

Рисунок 1.11 – Приклад пакетного полімерного елемента живлення та їх розподілу в акумуляторній батареї Nissan Leaf

Для отримання необхідної ємності акумуляторної батареї електрокара і захисту самої батареї від механічних пошкоджень елементи живлення батареї поміщають в металеві блоки. Так, наприклад, акумуляторна батарея Nissan Leaf складається з 48 алюмінієвих блоків (в кожному з яких розміщено 4 пакетних полімерних елементи живлення – модельний ряд 2010-2017 рр.). Однак, з 2017 року було удосконалено структуру елементів живлення і дещо перероблено розподіл кількості елементів живлення (було зроблено 24 блоки по 8 пакетних полімерних елементів живлення) при цьому загальна кількість елементів живлення залишилась такою ж (192 шт). Покращення конструкції елементів живлення дало змогу підвищити запас ходу автомобіля на 67%. Електродвигун цього автомобіля розміщується в капотному відділенні [7, 8].

1.2.3. Принцип роботи елемента живлення електроавтомобіля

Принцип роботи елемента живлення (батареї) ЕА базується на концепції, яка називається електрохімічним потенціалом, тобто на властивості деяких металів досить швидко (вільно) вивільняти свої електрони (негативно заряджену частинку).

Для прикладу, хімічний елемент літій (Li) має найбільший потенціал до втрати електронів і в чистому вигляді вступає в хімічну реакцію з багатьма речовинами, навіть з водою. Однак у вигляді оксиду металу він стає набагато стабільнішим, саме цей факт взятий в основу роботи літій-іонного елемента живлення як і інших подібних елементів живлення.

Таким чином для успішної та правильної роботи літій-іонного елемента живлення необхідні такі елементи (рис.1.12):

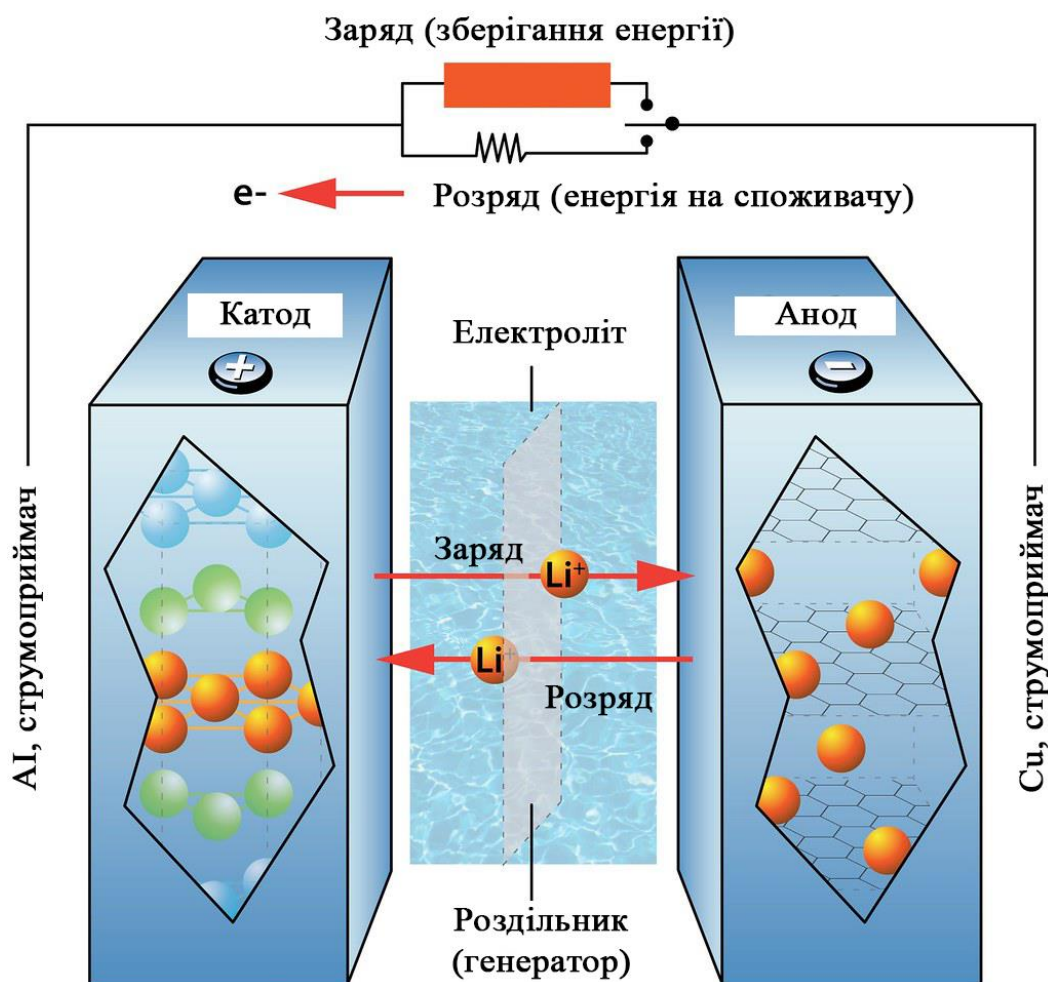


Рисунок 1.12 – Схематичне зображення будови та роботи літій іонного елемента живлення

– катод, в якому міститься оксид літію (LiCoO_2 , LiNiO_2 та інші), формується на алюмінієвій фользі, що слугує своєрідним сховищем заряду;

– анод, який зазвичай роблять з графіту завдяки його властивостям добре утримувати іони літію. В якості основи під анод використовують мідну фольгу;

– катод та анод розділяються між собою за допомогою електроліта та спеціального обмежувача. Електроліт це як правило речовина, що складається з розчинника та солей, та забезпечує вільне транспортування іонів притому не пропускаючи електрони [9]. Додатково, для запобігання виникненню короткого замикання у випадку випаровування електроліту між катодом та анодом встановлюється обмежувач, який діє аналогічно електроліту.

1.3. Загальна будова та принцип роботи автомобілів з гібридним двигуном

Рух гібридного автомобіля забезпечується зусиллями бензинового (дизельного) та електричного двигуна (рис.1.13). Обидва агрегати працюють одночасно, з тією різницею, що головне зусилля із створення обертального моменту припадає на ДВЗ, а електричний виступає в якості допоміжної силової установки та компенсує або бере на себе частину продуктивності. Особливість гібридної трансмісії також в тому, що ДВЗ продукує енергію для акумуляторної батареї котра живить електромотор.

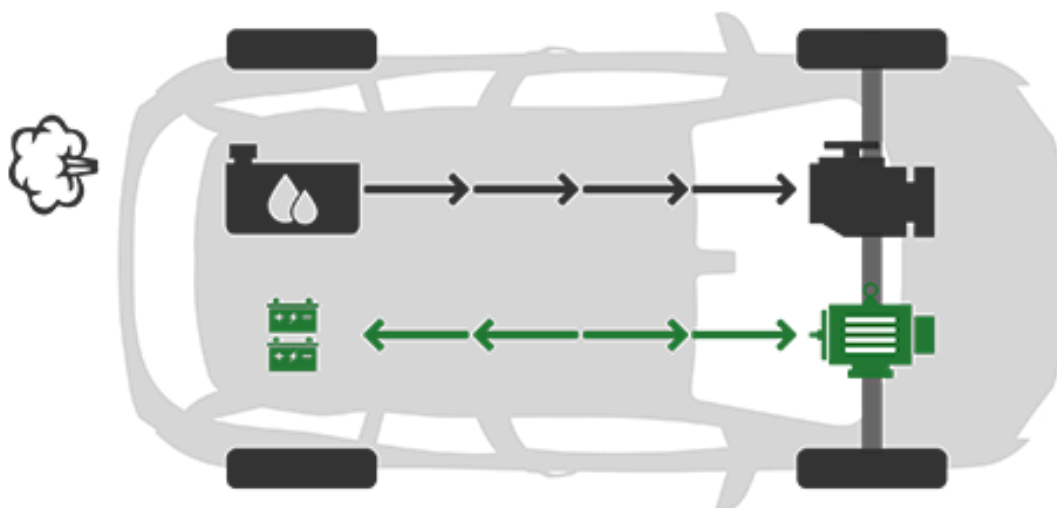


Рисунок 1.13 – Загальний принцип роботи АзГД

Їхати виключно на електричній тязі гібридні авто можуть на досить обмежену відстань з невеликою швидкістю, щоб долати значну дистанцію потрібна робота обох двигунів. Заряджати від мережі акумуляторні батареї гібридних автомобілів неможливо.

Принцип роботи плагін-гібридних авто схожий з роботою традиційних гібридів і базується на спільній роботі електричного та бензинового двигунів (рис.1.14). Головна відмінність полягає в тому, що ключова роль із створення обертального моменту належить саме електромотору, адже саме він змушує автомобіль рухатись. ДВЗ вмикається при сильному натисканні на педаль газу, навіть якщо ємності акумулятора цілком вистачає, щоб продовжувати рух.

Завдяки такому механізму роботи, плагін-гібридні авто мають значний запас ходу в порівнянні зі звичайними АЗГД, та мінімальні показники витрати палива. Окрім того, акумуляторні батареї плагін-гібридів можна заряджати від побутових мереж або спеціально обладнаних зарядних станцій. Також плагін-гібриди аналогічно до АЗГД мають здатність пересуватись виключно на електротязі.

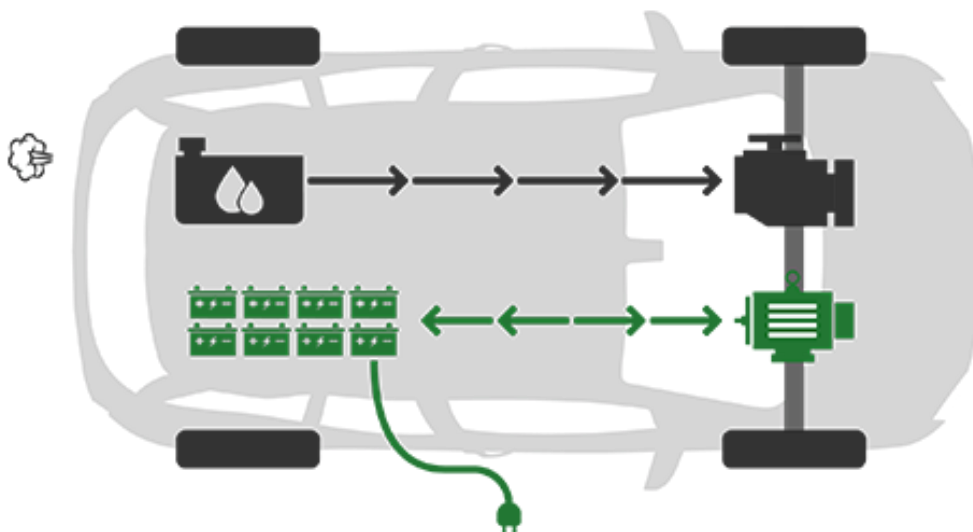


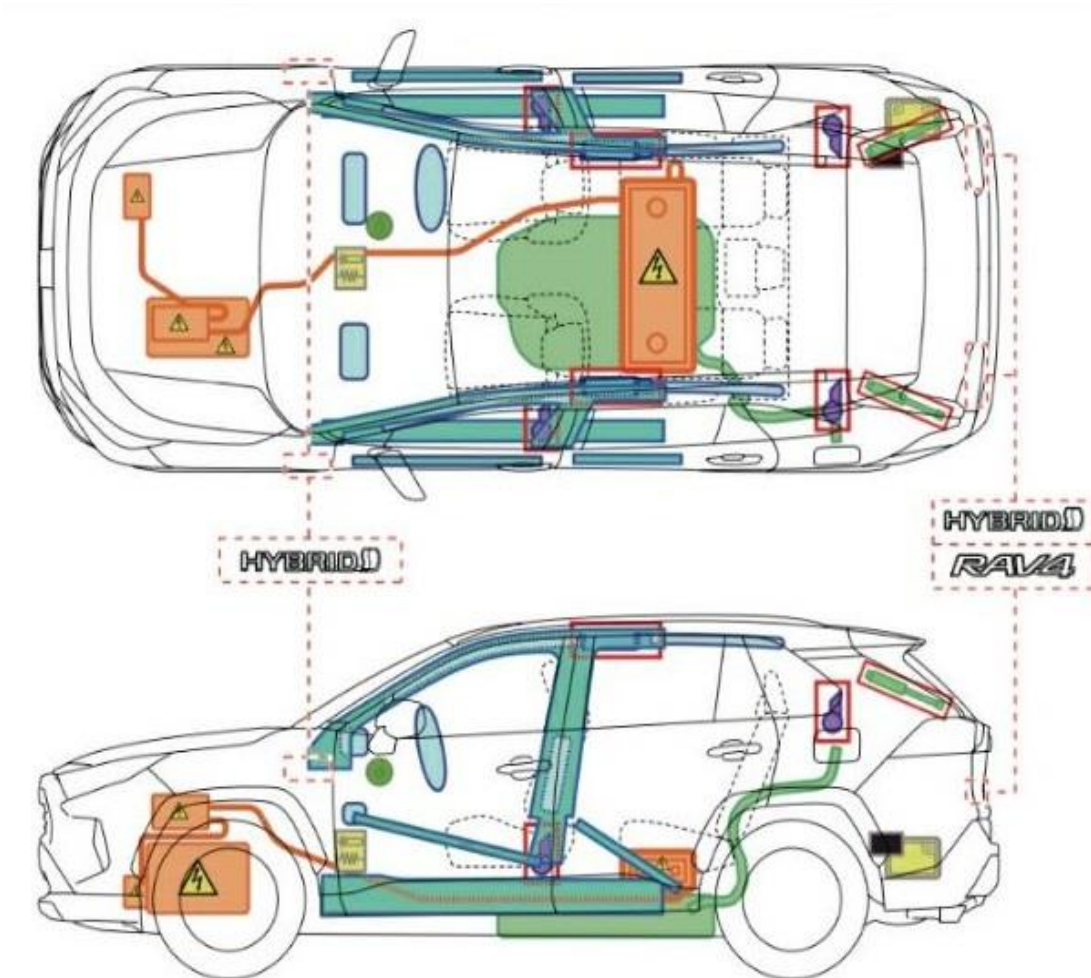
Рисунок 1.14 – Загальний принцип роботи плагін-гібридних автомобілів

Багато марок АЗГД може відображати на власному моніторі потоки енергії на борту в режимі реального часу. Це допомагає корегувати стиль керування автівкою та заощаджувати паливо.

1.3.1. Конструкція та характеристика найбільш розповсюджених автомобілів з гібридним двигуном

Toyota RAV4 Hybrid

Toyota RAV4 – найпопулярніший гібридний автомобіль в Україні. Причому як на первинному, так і на вторинному ринку.



	Перемикач живлення		Блок запобіжників		12V Батарея
	Airbag (подушка безпеки)		Піропатрон		Акумулятор високої напруги
	Компоненти високої напруги		Паливний бак		Газовий амортизатор
	Натягувач ремня безпеки		Підсилювач кузова		Блок управління подушками безпеки

Рисунок 1.15 – Схема та основні вузли автомобіля Toyota RAV4 Hybrid

Гібридна версія кросовера може мати передній або повний привод. Моноприводний автомобіль має один електромотор. А повнопривідна версія додатково оснащується електричним агрегатом на задній осі. Причому задня вісь влаштована так, що автомобіль вміє розподіляти крутний момент між задніми колесами, що поліпшило керованість RAV4.

Також в модельному ряді Toyota RAV4 з 2020 року є доступною версія Plug-in Hybrid. RAV4 Plug-in Hybrid (рис.1.15), створений на платформі Toyota GA-K і оснащений інтелектуальною електричною повнопривідною системою Toyota AWD-i, поєднує в собі новітню гібридну технологію Toyota з високоефективним 2,5-літровим бензиновим двигуном Dynamic Force. Завдяки повній вихідній потужності системи 306 к. с./225 кВт він розганяє RAV4 Plug-in Hybrid з місця до 100 км/год всього за 6,2 секунди.

Також RAV4 Plug-in Hybrid відрізняється винятковою чистотою завдяки новому літій-іонному акумулятору великої ємності і вдосконаленому механізму управління потужністю гібридної системи, при цьому викид CO₂ становить трохи менше 29 г/км.

Honda CR-V Hybrid

Компанія Honda в 1999 році першою серед автовиробників випустила на європейський ринок моделі з гібридним приводом. Відтоді вона залишається в авангарді гібридної революції, а в усьому світі наразі експлуатуються мільйони її автомобілів (рис.1.16).

Під час руху інтелектуальна технологія Intelligent Multi-Mode Drive гарантує високу чутливість, плавність та економічність, водночас забезпечуючи оптимальне розподілення потужності завдяки автоматичному перемиканню між трьома варіантами водіння: Electric Drive (електричний режим), Hybrid Drive (гібридний режим) та Engine Drive (режим руху з приводом від двигуна внутрішнього згорання).

Система i-MMD автоматично обирає оптимальний режим руху для поточних умов. Екран інформаційного інтерфейсу водія постійно інформує водія про поточну ситуацію. На ньому відображається індикатор рівня заряду акумуляторної батареї та показчик залишку пального.

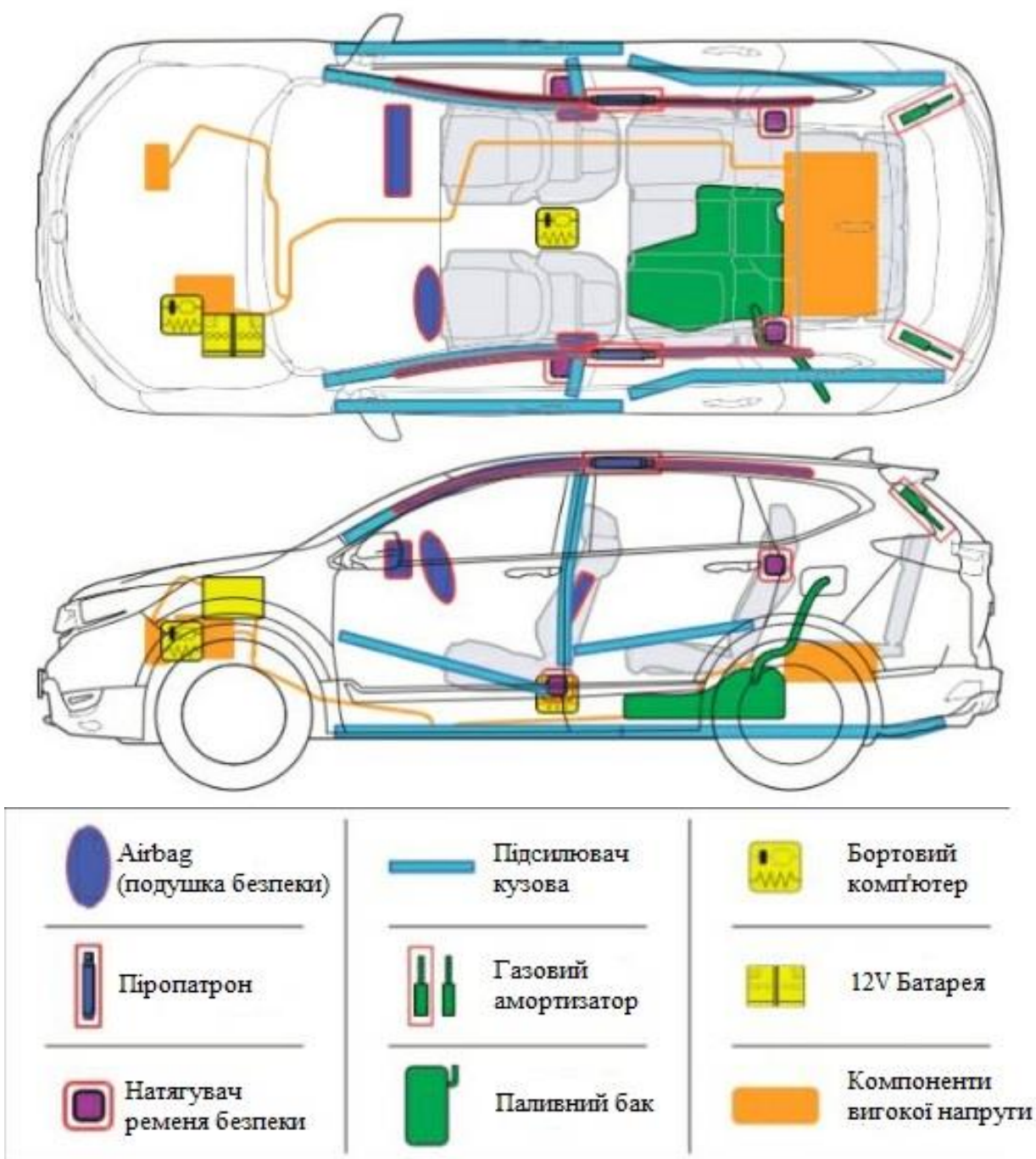


Рисунок 1.16 - Схема та основні вузли автомобіля Honda CR-V Hybrid

Volvo XC90 Hybrid

Ще одним найбільш поширеним представником плагін-гібридних автомобілів є Volvo XC90 Hybrid T8 TWIN ENGINE. Розташований позаду електродвигун потужністю 87 к.с. може працювати в будь-якому з п'яти режимів: гібридному, електричному, підвищеної потужності (Power Mode при старті на електриці і наступному підключенні бензинового двигуна), 4x4 і економічному

(точніше, збереження енергії Save). Літій-іонна батарея ємністю 10,4 кВт / год, яку шведські виробники заховали в трансмісійний тунель на підлозі, забезпечує більше 40 км на електротязі. Загальна потужність автомобіля становить 407 к.с.

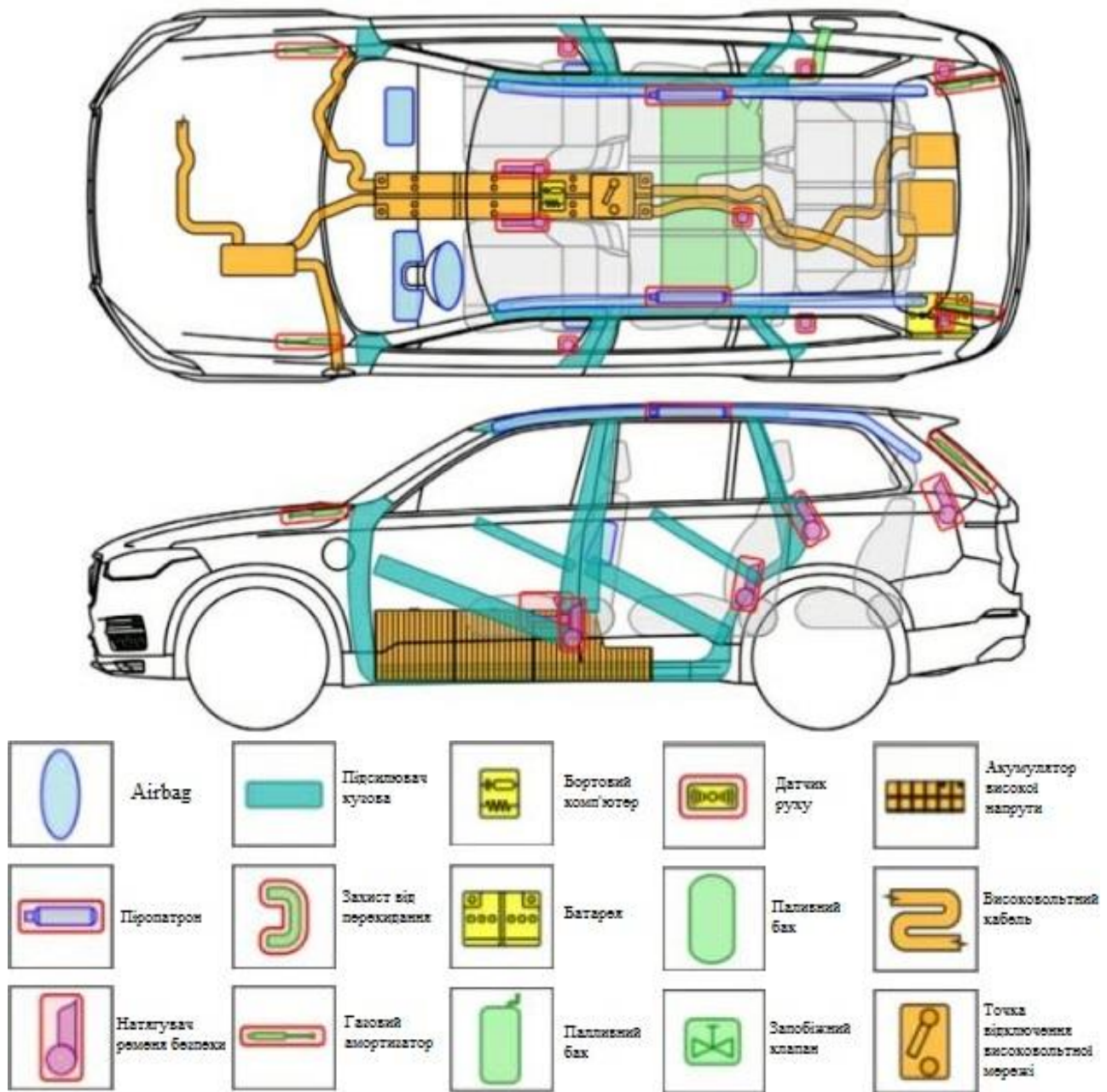


Рисунок 1.17 – Схема та основні вузли автомобіля Volvo XC90 T8 TWIN ENGINE

Цілков зрозуміло, що представлені конструкції та різновиди АзГД – це маленька частка всього ринку подібних автомобілів. Однак, показані вище взірці цілком відображають принципову схему розміщення та роботи подібних ТЗ.

1.4. Загальна будова та принцип роботи автомобілі на водневому паливі

1.4.1. Водень та його властивості

Перед початком знайомства з конструкцією та особливостями АВП нагадаємо основні властивості та пожежну небезпеку водню.

При стандартних температурі та тиску водень – безбарвний, немає запаху і смаку, нетоксичний двохатомний газ з хімічною формулою H_2 , який в суміші з повітрям або киснем горючий і дуже пожежо- та вибухонебезпечний [10, 11]. У присутності інших газів окисників, наприклад фтору або хлору, водень також вибухонебезпечний. Оскільки водень охоче формує ковалентні зв'язки з більшістю неметалів, велика частина водню на землі існує в молекулярних з'єднаннях, таких як вода або органічні речовини. Водень відіграє особливо важливу роль в кислотно-основних реакціях. Водень один з найлегших газів: він в два рази легший за гелій, і майже в 10 разів за природний газ.

Різниця між газоподібним воднем і бензином полягає в тому, що вони самозаймаються при різних температурах. Температура самозаймання – це температура, при якій речовина займається без зовнішньої іскри або полум'я. Залежно від вмісту октану, бензин буде самозайматися між $230\text{ }^{\circ}\text{C}$ і $480\text{ }^{\circ}\text{C}$. Температура самозаймання водню становить $510\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $570\text{ }^{\circ}\text{C}$, що робить його менш схильним до самозаймання. Питома теплота згоряння водню дорівнює приблизно 140 МДж/кг (верхня межа) або 120 МДж / кг (нижня межа), що в кілька разів перевищує питому теплоту згоряння вуглеводневого палива (газ метан – близько 50 МДж / кг).

Мінімальна енергія займання водню тобто найнижча з можливих енергій, що спричиняють спалахування легкозаймистої суміші електричним розрядом, є нижчою за енергію бензину. Це означає, що іскри від розрядів статичної електрики можуть легше запалювати водень/повітряні суміші ніж бензинові пари/повітряні суміші. Газовий водень зазвичай горить полум'ям, яке видно лише вночі або з використанням тепловізорів, зокрема пожежних.

Гримучий газ (з англ. fire-damp) – суміш двох об'ємів водню та одного об'єму кисню. Воднево-кисневе полум'я має температуру до $2800\text{ }^{\circ}\text{C}$.

1.4.2. Системи автомобіля на водневому паливі

АВП досить цікаві, складні в будові та водночас небезпечні ТЗ. В іноземній термінології найчастіше АВП позначаються як FCEV – fuel cell electric vehicles, тобто електроавтомобіль на паливних елементах (елементах).

В АВП використовується спеціальний паливний елемент, що за своєю будовою та принципом роботи досить схожий з елементом живлення ЕА. АВП мають електричний привод, що живиться від паливного елемента, який виробляє електроенергію завдяки електрохімічній реакції, що протікає з використанням водню. Для АВП характерні такі ключові системи [12]:

- система подачі водню;
- система накопичення водню;
- система подачі водневого палива;
- система паливних елементів;
- електрична силова установка;
- система управління потужністю (рис. 1.18).

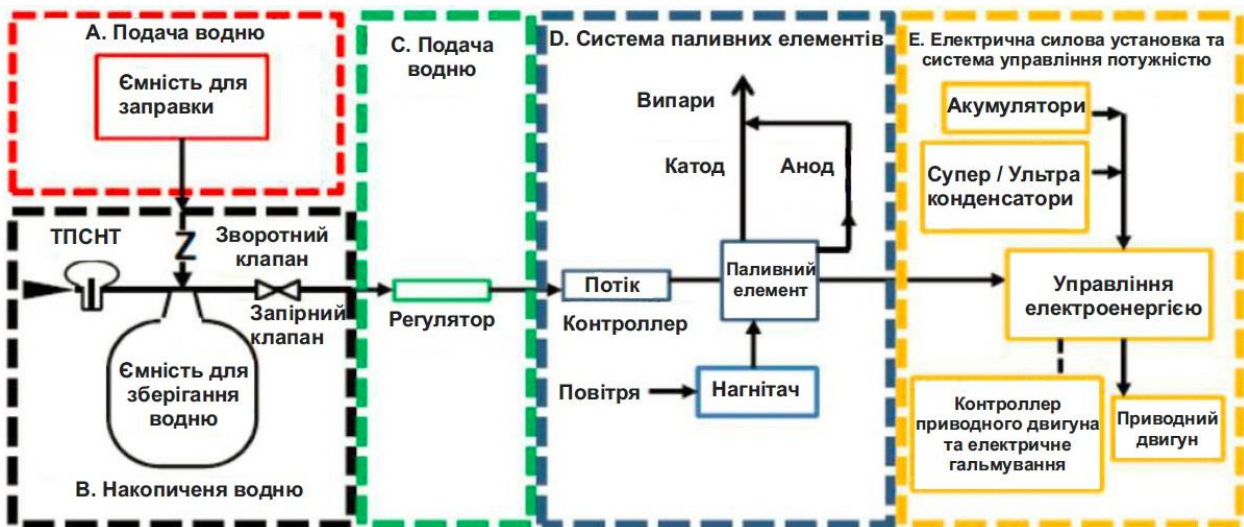


Рисунок 1.18 – Схематичний розподіл основних вузлів та систем АВП

Під час заправки водень подається до автомобіля через паливний бак (А) і надходить до системи накопичення водню (В). Водень, що подається і зберігається в системі накопичення водню, як правило, у стисненому газоподібному вигляді. Коли автомобіль на

паливних елементах заводиться, газ водню виділяється із системи зберігання. Регулятори тиску та інше обладнання в системі подачі водню (С) знижують тиск до рівня, необхідного для роботи паливних елементів. Водень за допомогою електрохімічної реакції поєднується з киснем у системі паливних елементів (D) для отримання високовольтної електричної енергії. Ця електроенергія подається до системи керування електроенергією (E), де вона накопичується в акумуляторних батареях і надалі використовується для живлення електродвигунів, живлення різноманітних елементів автомобіля.

На рис. 1.19 зображено типову схему розміщення основних компонентів типового автомобіля на паливних елементах. Отвір для заправки розташований на задній панелі автомобіля, як і в інших звичайних автомобілях. Як і у бензинових автомобілях, ємності для зберігання водню зазвичай встановлюються поперечно в задній частині автомобіля, але можуть бути встановлені і по-іншому, наприклад вздовж у середньому тунелі автомобіля. Паливні та допоміжні елементи, як правило, розташовані під пасажирськими сидіннями разом із системою управління живленням, контролером двигуна та самим двигуном. Враховуючи розміри і вагу тягових акумуляторів та ультраконденсаторів, ці компоненти, як правило, розташовані в автомобілі, щоб зберегти бажаний баланс ваги для належного керування автомобілем.

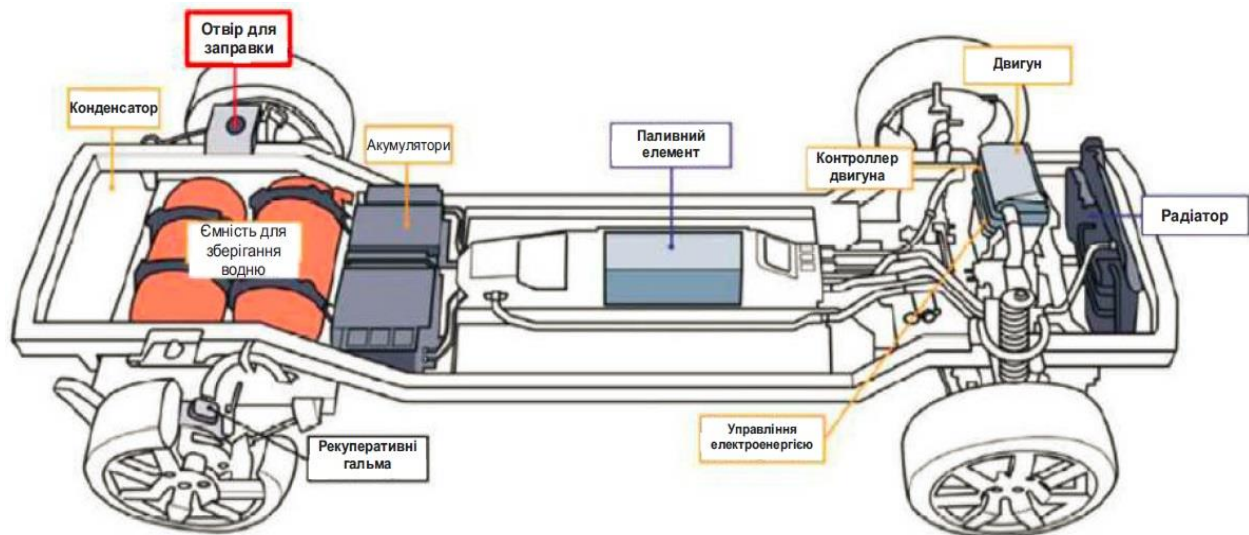


Рисунок 1.19 – Типова схема розміщення основних елементів АВП

Система подачі водню автомобілів на водневому паливі

Водень може подаватися в машину на спеціальній заправній станції. АВП заправляються через спеціальний заправний штуцер (отвір) на заправній станції шляхом герметичного під'єднання, щоб забезпечити передачу водню до автомобіля без доступу сторонніх газів. Заправний штуцер містить зворотний клапан або інший пристрій, що запобігає витоку водню з автомобіля при від'єднанні паливного шлангу.

В даний час водень найчастіше розподіляється в автомобілі у вигляді стисненого газу, що перебуває під тиском до 125% від номінального робочого тиску автомобіля, щоб компенсувати перехідне нагрівання від адіабатичного стиснення під час заправки.

Система зберігання водню автомобілів на водневому паливі

Основними функціями системи зберігання водню є отримання водню під час заправки та його подальшого зберігання до моменту його використання. В даний час найпоширенішим способом зберігання та використання водневого палива для потреб автомобіля є стиснений газ (CGH₂). Як зазначалося вище водень зберігається в спеціальних балонах розрахованих на робочий тиск до 700 бар, що спеціально розроблені для збільшення запасу стисненого газу. Балони можуть бути виконані як з металу (тип III), так і з спеціальних полімерно-композитних матеріалів (тип IV), (рис. 1.20).



а) технологія типу III



б) технологія типу IV

Рисунок 1.20 – Прототипи циліндрів 700 барів, розроблені та випробувані в рамках європейського проекту STORHY

Компоненти типової системи зберігання стисненого водню показані на рис 1.21. Система включає резервуар та всі необхідні елементи які утворюють «первинну межу тиску», що перешкоджає виходу водню з системи.



Рисунок 1.21 – Схематичне зображення балона для зберігання водню з системами безпеки

У складі системи накопичення стисненого водню є три запобіжні пристрої:

- зворотний клапан;
- запірний клапан;
- термічно активований пристрій для зниження тиску (ТАПЗТ).

Під час заправки водень надходить у систему зберігання через зворотний клапан. Зворотний клапан запобігає зворотному витoku водню. Автоматизований запірний клапан водню запобігає відтоку накопиченого водню, коли машина не працює або коли виявлена несправність, яка потребує ізоляції системи накопичення водню.

У разі пожежі активується ТАПЗТ, що забезпечує контрольований викид газу з ємностей для зберігання стисненого водню до того, як висока температура вогнища критично нагріє саму ємність, що може спричинити розрив балона з воднем. ТАПЗТ призначений для швидкого видалення всього вмісту балона. Зазвичай, передбачається, що водень у випадку пожежі видаляється за межі транспортного засобу через спеціальну аварійну систему трубопроводів. Точне розташування цих трубопроводів залежить від виробника ТЗ та моделі АВП, але, як правило, вони розташовані в задній частині ТЗ, біля резервуара для водню.

Система подачі палива повинна знижувати тиск у системі накопичення водню до значень, необхідних системі паливних елементів. Наприклад, у випадку системи зберігання стисненого водню при тиску 70 МПа, тиск, зменшується до менш ніж 1 МПа на вході в систему паливних елементів. Для цього може знадобитися кілька етапів регулювання тиску для досягнення точного та стабільного контролю та захисту від надлишкового тиску інших систем ТЗ.

Для забезпечення безпеки, в АВП монтуються датчики для контролю вмісту водню в салоні ТЗ. При спрацюванні датчика система автоматично припинить подачу водню до паливних елементів ТЗ. Відповідні датчики монтуються на панелі приладів, безпосередньо біля резервуарів для зберігання водню, біля вихлопної труби, під капотом, на рівні голови водія та пасажирів (над підголовником у пасажирському салоні). При ввімкненні ТЗ ці датчики постійно контролюють концентрацію водню в цих зонах. Наприклад, у випадку коли концентрація водню виявиться на рівні «попередження» (тобто понад 12% від максимально допустимої норми), водій буде попереджений піктограмою «Н₂», розташованою на панелі приладів, а на дисплеї комп'ютера з'явиться повідомлення «Виявлено Н₂». Якщо водень виявляється на рівні «Сигналізація» (понад 50% від максимально допустимої норми), піктограма «Н₂» блиматиме, пролунає звуковий сигнал, а на комп'ютері з'явиться повідомлення «Виявлено підвищену концентрацію Н₂ – покиньте ТЗ».

Система подачі водню автомобілів на водневому паливі

Система подачі водневого палива передає водень з накопичувальної системи в рушійну систему при достатньому тиску та температурі для роботи паливних елементів. Це досягається за допомогою серії клапанів регулювання витрати, регуляторів тиску, фільтрів, паливних труб (труб) та теплообмінників. Більшість паливних ліній мають сріблястий колір, але іноді вони можуть бути і червоними. Якщо резервуар з воднем перекритий, у випадку аварійної ситуації, в системі подачі водню все ще залишатимуться його залишки під тиском. Таким чином, під час проведення аварійно-рятувальних робіт необхідно бути обережним та зважати це під час проведення робіт з перерізаня конструкцій ТЗ.

Система паливних елементів автомобілів на водневому паливі

Система паливних елементів виробляє електроенергію, необхідну для роботи приводних двигунів та зарядки акумуляторів та/або конденсаторів автомобіля. Паливні елементи завдяки електрохімічній реакції з'єднують водень і кисень для отримання електричної енергії. Паливні елементи здатні безперервно виробляти електроенергію при постійній подачі необхідних компонентів водню та кисню, одночасно

виробляючи електроенергію та воду, не виробляючи вуглекислого газу (CO_2) або інших шкідливих викидів, характерних для ДВЗ. Загалом паливні елементи у легкому пасажирському транспортному засобі здатні генерувати напругу близько 400 В постійного струму. Спеціальний перетворювач напруги (трансформатор) з'єднує паливний елемент з високовольтною батареєю яка здійснює накопичення виробленої енергії.

Загалом є досить велика кількість варіантів виконання паливних елементів АВП, однак принцип їх роботи ідентичний. За аналогією з ЕА для успішного функціонування паливного елемента АВП необхідні три речі: катод, анод та електроліт. Фактично різниця між паливними елементами буде тільки у типі електроліту, що використовується. Електроліт потрібно розташовувати між катодом і анодом (рис. 1.22.) який виконує функцію провідника між ними.

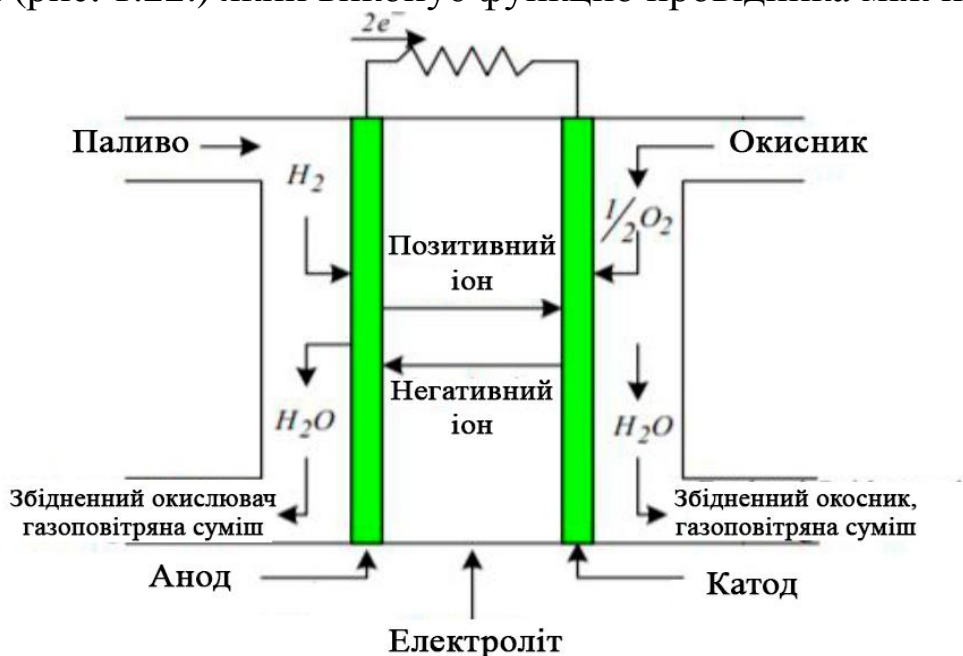


Рисунок 1.22 – Схема роботи паливного елемента автомобіля на водневому паливі

Незалежно від матеріалу електроліту, принцип роботи паливного елемента такий [4]:

- чистий водень подається зі сторони анода, а кисень (повітря) зі сторони катода;
- під час протікання водню зі сторони анода та аналогічно кисню зі сторони катода, електроліт відділяє позитивно та негативно заряджені іони гідрогену та оксигену;

- елементи, які залишилися поза реакцією, утворюють воду, яка виводиться з паливного елемента;
- в процесі хімічних реакцій йде виділення теплоти, тобто сам паливний елемент нагрівається до близько 80 °С.

Робоча температура паливних елементів набагато нижча, ніж для двигуна внутрішнього згорання, відповідно до досліджень, ККД паливних елементів дорівнює 80%.

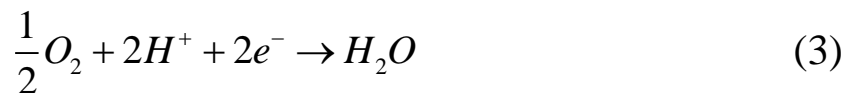
Загалом хімічну реакцію можна описати таким чином:



Хімічні напівреакції будуть такими.
реакція окиснення



реакція скорочення



Електрична силова установка та система управління потужністю автомобілів на водневому паливі

Електроенергія, що виробляється системою паливних елементів, використовується для привода електродвигунів, що рухають транспортний засіб, а також для живлення повітряного насоса, кондиціонера та інших елементів автомобіля. Значна кількість легкових АВП мають передній привод де електродвигун розташовується традиційно у «моторному відсіку», встановленому поперечно над передньою віссю, однак можливе і інше їх розміщення.

Акумуляторну батарею за аналогією з ЕА, як правило, поміщають у металевий корпус і міцно вмонтовують у раму. Різні виробники використовують різний тип акумуляторних елементів, але в переважній більшості використовуються літій-іонні або нікель-кадмієві елементи живлення.

Електроенергія з паливних елементів та акумуляторної батареї високої напруги подається до двигунів за допомогою ряду кабелів, які, як правило, розташовані всередині або позаду закритих високовольтних компонентів та під транспортним засобом. Їх можна легко ідентифікувати за характерними помаранчевими кольором.

1.5. Принцип роботи водневих автозаправних станцій

Водневі заправні станції (ВЗС) можуть бути мобільними, стаціонарними і домашніми. Перший вид призначений для заправки автомобілів в місцях без відповідної інфраструктури.

Стаціонарні заправки зазвичай належать великим компаніям і продають водневе паливо автомобілістам. Значна кількість таких станцій розташована в Канаді та США, Китаї, Японії та Німеччині (рис. 1.23).



Рисунок 1.23 – Приклад водневої заправної станції на 700 бар (Ваттенфаль-Гамбург, Німеччина)

Домашня заправна установка – комплект обладнання для приватного використання, виробляє до 1000 кг чистого водню на рік – достатньо для щоденної заправки 1-5 автомобілів. Газ проводиться методом гідролізу води в нічний час, щоб не створювати різких стрибків напруги в електромережі.

За обсягами виробленої продукції стаціонарні станції ділять на три типи: малі, що випускають до 20 кг водню на добу (вистачить на заправку 5-10 автомобілів); середні, що забезпечують щоденну заправку 250 легкових авто або 25 вантажних – норма вироблення від 50 до 1250 кг на день; промислові – заправляють більше 500 авто на добу, надаючи від 2500 кг газу.

У конструкцію водневої заправки входить (рис. 1.24.) електролізер, системи очищення і зберігання водню, компресор (якщо паливо перебуває в газоподібному стані) і диспенсер (дозатор), що

забезпечує роздачу водню споживачам. Причому, на малих і середніх станціях газ може випускатися як з допомогою електролізу води, так і шляхом каталітичного риформінгу вуглеводнів – процесу, що проводиться при температурі близько 500 градусів і тиску до 4 МПа.

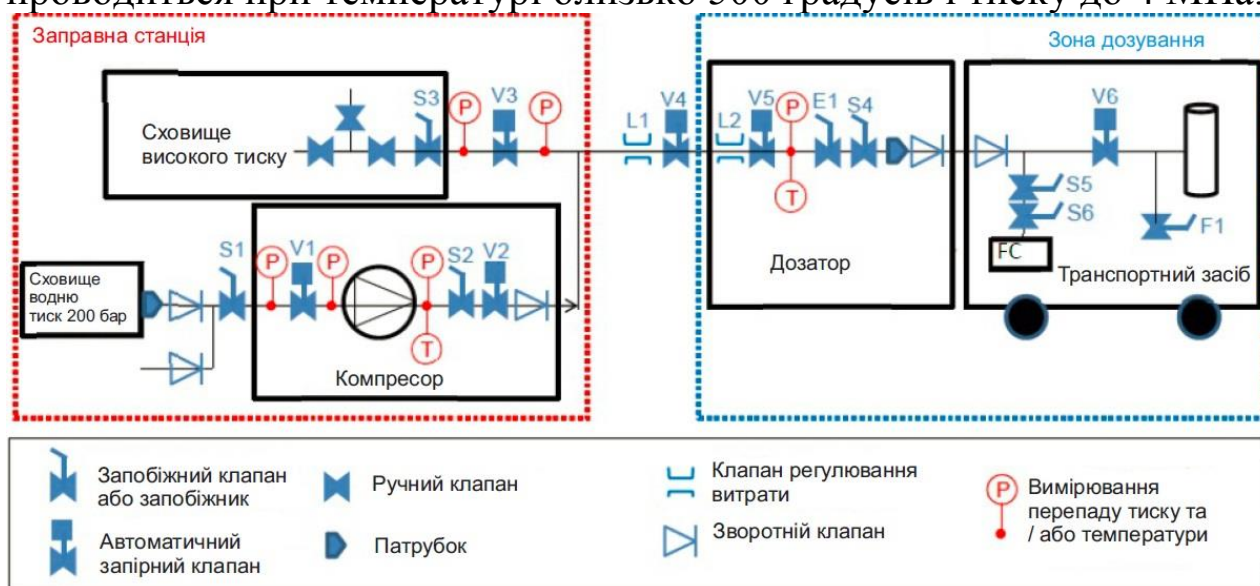


Рисунок 1.24 – Схема роботи водневої заправної станції

Основна функція автозаправної станції – заправка газоподібним воднем транспортних засобів (вантажівки, автобуси, легкові автомобілі) на паливних елементах. Газоподібний водень, спочатку міститься в сховищі під тиском 200 бар, стискається в сховище високого тиску. Під час наповнення бак наповнюється балансувальним тиску.



а)



б)

Рисунок 1.25 – Загальний вигляд сховища водню для забезпечення роботи водневих заправних станцій

а) – сховище низького тиску 200 бар; б) – сховище високого тиску 1000 бар

Тиск в сховищі високого тиску становить від 450 бар для вантажівок та автобусів та 1000 бар для легкових автомобілів. Тиск в баку транспортного засобу становить від 350 бар для вантажівок та автобусів, до 700 бар для легкового автомобіля. Щоб максимально швидко заправити автомобіль, водень можна охолоджувати під час заправки завдяки криогенному зберіганню рідкого азоту. Дозатор може бути розташований як в окремому приміщенні, так і на свіжому повітрі.

1.6. Конструкція та характеристика найбільш розповсюджених автомобілів на водневому паливі

Chevrolet Equinox Fuel Cell

Як зазначалося вище та за аналогією з ЕА, автомобілі на водневому паливі мають досить подібну конструкцію та принцип роботи. Основна відмінність між моделями, які презентують автовиробники полягає в кількості резервуарів для зберігання водню, їх характеристиках та варіаціях компонування паливних елементів.

Для прикладу, автомобіль Chevrolet Equinox Fuel Cell (рис.1.26) – це АВП особливістю якого є використання електричного струму різної напруги (високого та низького) [13].



Рисунок 1.26 – Загальний вигляд АВП Chevrolet Equinox Fuel Cell

Для кращого розрізнення цього ТЗ в загальному потоці автомобілів автовиробник передбачив відповідне маркування, що, в свою чергу, є досить актуальним та цілком виправданим кроком.

У паливному елементі Equinox використовується система високої напруги, подібна до гібридних транспортних засобів, що

потребує обережного ставлення з точки зору дотримання безпеки. Для кращого розрізнення та ідентифікації виду проводки передбачене її ділення за кольорами: білий колір – низька напруга, синій колір – середня напруга, помаранчевий – висока напруга.

Для роботи автомобіля передбачене розташування трьох резервуарів з воднем, що розміщуються в задній частині автомобіля. Акумуляторна батарея розміщується в центральній частині автомобіля в днищі, а сам паливний елемент під капотом автомобіля (рис 1.27).

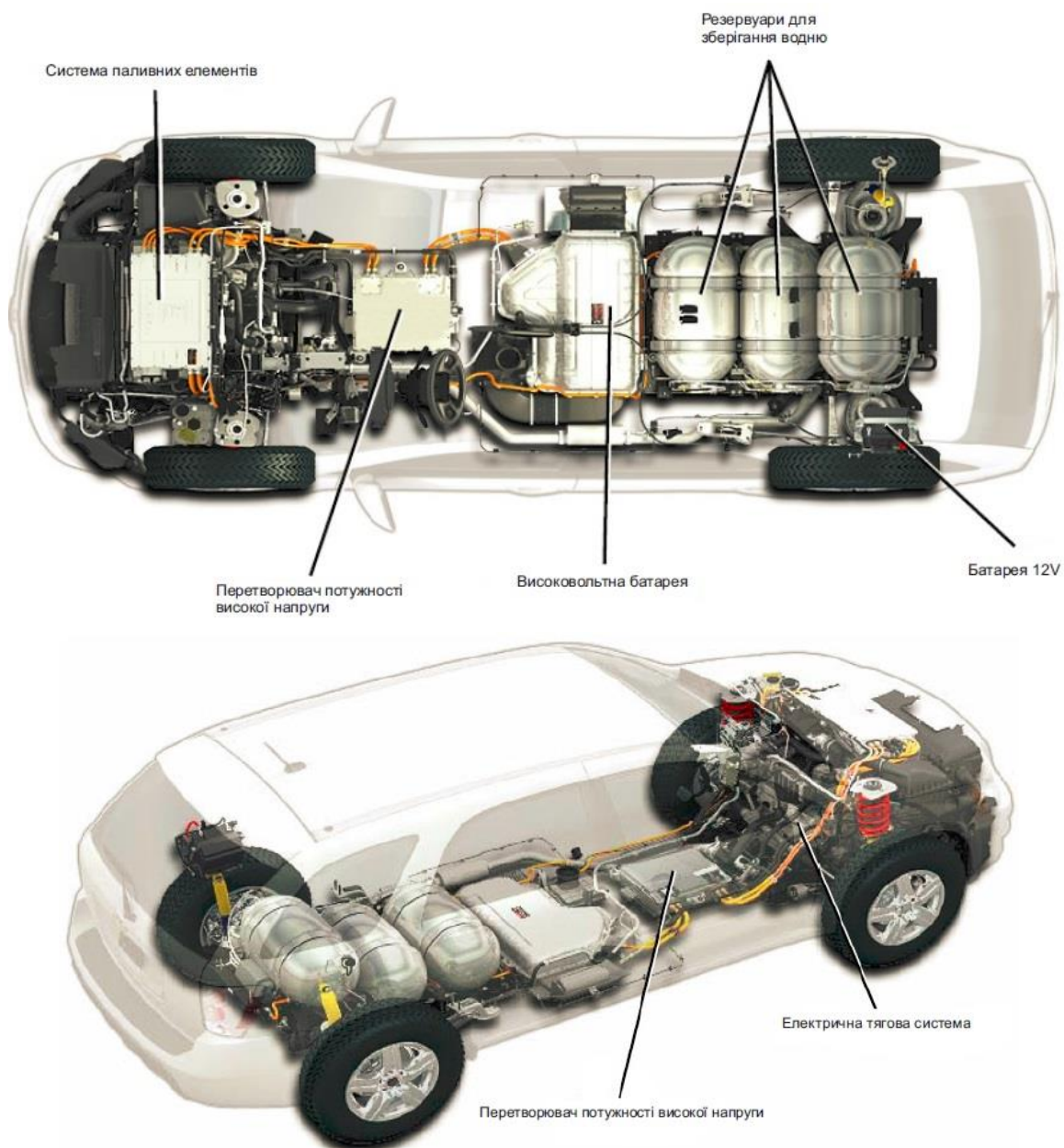


Рисунок 1.27 – Розташування основних компонентів автомобіля Chevrolet Equinox Fuel Cell

Щоб запобігти пошкодженню акумуляторної батареї, резервуарів з воднем та перетворювача напруги, ці елементи додатково закриваються захисним екраном.

Toyota Mirai

Автомобіль приводиться в дію комбінацією гібридної установки в 114 кВт на водневих паливних елементах FC Stack, синхронного електродвигуна змінного струму потужністю в 113 кВт (154 к.с.) з обертовим моментом в 335 Нм і вторинної нікель-метал-гідридної батареї ємністю в 21 кВт/год.

Через спеціальні отвори закачується водень в 2 резервуари для зберігання водню під тиском 70 МПа, які розташовуються під днищем автомобіля. Один резервуар ємністю 60,0 л розміщено в передній частині автомобіля, а другий балон місткістю 62,4 л – позаду.

Електричний струм, що виробляється на паливних елементах, проходить через підвищувальний перетворювач в електродвигуні, в якому постійний струм перетворюється в змінний, а напруга збільшується до 650 В.



Рисунок 1.28 – Загальний вигляд АВП Toyota Mirai

Два повних балони водню дають змогу седану проїхати 650 км. Час повної заправки двох балонів становить 3 хвилини. Середня витрата водню на 1,61 км – 100 мл. Автомобіль можна також зарядити від домашньої мережі за допомогою зарядного пристрою, що пропонується в якості додаткової опції. Максимальна швидкість 175 км/год (обмежена електронікою). Розгін Toyota Mirai від 0 до 100 км / год здійснює за 9 секунд.

Honda Clarity Fuel Cell



Рисунок 1.29 – Загальний вигляд АВП Honda Clarity Fuel Cell

Honda Clarity Fuel Cell – електричний гібрид від компанії Honda, який живиться від водню, який видає електричний струм в процесі взаємодії з киснем.

Миттєве прискорення автомобіля від 0 до 100 км досягається за 8,1 секунди оскільки немає необхідності перемикаати передачі та відсутня потреба в силовій установці. Електромотор седана потужністю в 130 кВт (177 к.с.) і крутним моментом 300 Нм працює від електричного струму, який виробляється паливними елементами в процесі взаємодії кисню і водню, а потім надходить в літій-іонну батарею, яка живить силову установку. Робота паливних елементів забезпечується двома балонами з воднем розташованими під задніми сидіннями автомобіля.

Mercedes-Benz GLC F-CELL

Компанія Mercedes-Benz розробила машину GLC F-Cell (рис.1.30), розробники якої стверджують, що можливо проїхати до 50 км на електриці і до 500 км на водневому паливі. Бак для водню заповнюється протягом 3 хвилин.

Автомобіль надійшов у продаж в 2017 році і став першим серійним транспортним засобом, в якому є і водневі паливні елементи, і можливість зарядки від електричної мережі.



Рисунок 1.30 – Загальний вигляд АВП Mercedes-Benz GLC F-CELL

Автомобіль має 211-сильний двигун і балони, в яких вміщується 4,4 кг водневого палива. Цього вистачає на 430 км пробігу, а ще 51 км машина може проїхати на акумуляторі.

Водієві доступні три режими: гібридний – для оптимального розподілу енергії між двома джерелами; F-Cell – для роботи лише з воднем і Charge, що дає змогу акумулятору заряджатися під час руху.

Контрольні питання до розділу

1. Як можна класифікувати ТЗ на альтернативних джерелах енергії?
2. Які ТЗ на альтернативних джерелах енергії на сьогодні домінують у світі?
3. Яка будова та принцип роботи ЕА?
4. Який принцип роботи літій-іонного елемента живлення?
5. Яка будова і принцип роботи АзГД?
6. Назвіть основні властивості водню?
7. Які основні системи АВП ви знаєте?
8. Який робочий тиск в резервуарі для зберігання водню в АВП?
9. Опишіть принцип роботи паливного елемента АВП.
10. Як здійснюється заправка АВП?

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ ПОЖЕЖНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ НА АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛАХ ЕНЕРГІЇ

Ознайомившись із сучасними різновидами та будовою електричних транспортних засобів тепер надзвичайно важливо зрозуміти, яку потенційну небезпеку можуть представляти елементи живлення та окремі вузли ЕА та АВП. Найкраще зрозуміти вищезазначене допоможуть представлені нижче наукові дослідження, експерименти, що наочно показують пожежну небезпеку елементів живлення, алгоритм виникнення запалювання та подальшого поширення горіння. Детальне ознайомлення з наявними знаннями стосовно потенційної небезпеки, яку можуть нести ЕТЗ як для рятувальників, так і звичайних громадян надалі дадуть змогу сформуванню алгоритму дій та процедури дій у випадку виникнення пожежі або іншої надзвичайної ситуації.

Метою цього розділу є аналіз результатів актуальних досліджень пожежної безпеки елементів живлення акумуляторних батарей ЕТЗ.

2.1. Результати наукових досліджень щодо пожежної небезпеки елементів живлення електроавтомобілів

Розглядаючи сучасну конструкцію електромобіля і ґрунтуючись на статистиці загорянь ЕА (дивитись розділ 3) можна стверджувати, що основна небезпека як з точки зору пожежної безпеки, так і безпеки проведення аварійно-рятувальних робіт на цьому виді транспорту знаходиться в акумуляторних батареях великої ємності (приблизно 24 – 85 кВт/годин і більше залежно від моделі автомобіля).

Літій-іонні елементи живлення (батареї) мають ряд переваг, наприклад, довгий термін служби і можливість швидкої зарядки. Але, водночас, поряд з великими перевагами літій-іонних елементів живлення є низка недоліків, які несуть потенційну пожежну небезпеку як транспортному засобу, так і середовищу, що їх оточує (меблі, предмети інтер'єру, будівлі і споруди). Оскільки всередині елемента живлення є електроліт, який здатний легко запалюватися та стати причиною незворотної термохімічної реакції, що надалі призведе до виділення легкозаймистих і токсичних газів, а в деяких випадках і до вибуху елемента живлення [15-20]. Незворотна термохімічна реакція може статися в разі порушення стабільного режиму роботи елемента живлення і може бути викликана, такими причинами:

- коротким замиканням електропроводки;
- перегрівом елемента живлення внаслідок дії сторонніх чинників;
- перезарядженням елемента живлення;
- механічним пошкодженням елемента живлення.

Для того, щоб літій-іонний елемент живлення став джерелом загоряння необхідна наявність трьох складових: кисню, джерела запалювання і горючої речовини.

В роботі [15] було детально описано процес під час якого при впливі температур 170°C і 74°C на позитивний електрод $\text{Li}_{0,5}\text{CoO}_2$ і негативний електрод $\text{Li}_{0,8}\text{C}_6$ відповідно, відбувається хімічна реакція з виділенням чистого кисню, який доповнює класичний трикутник виникнення горіння. Також на основі теорії Семенова [26, 27] було розраховано, що при підвищенні температури елемента живлення понад $65,5^{\circ}\text{C}$ має місце прискорення термохімічних реакцій, які можуть спричинити незворотній процес загоряння, а при досягненні температури 75°C виникає точка неповернення і подальше загоряння елемента живлення. Загальний процес загоряння, і, як наслідок, виникнення ланцюгової реакції «ефекту доміно», на думку авторів, можна зобразити таким чином рис.2.1.

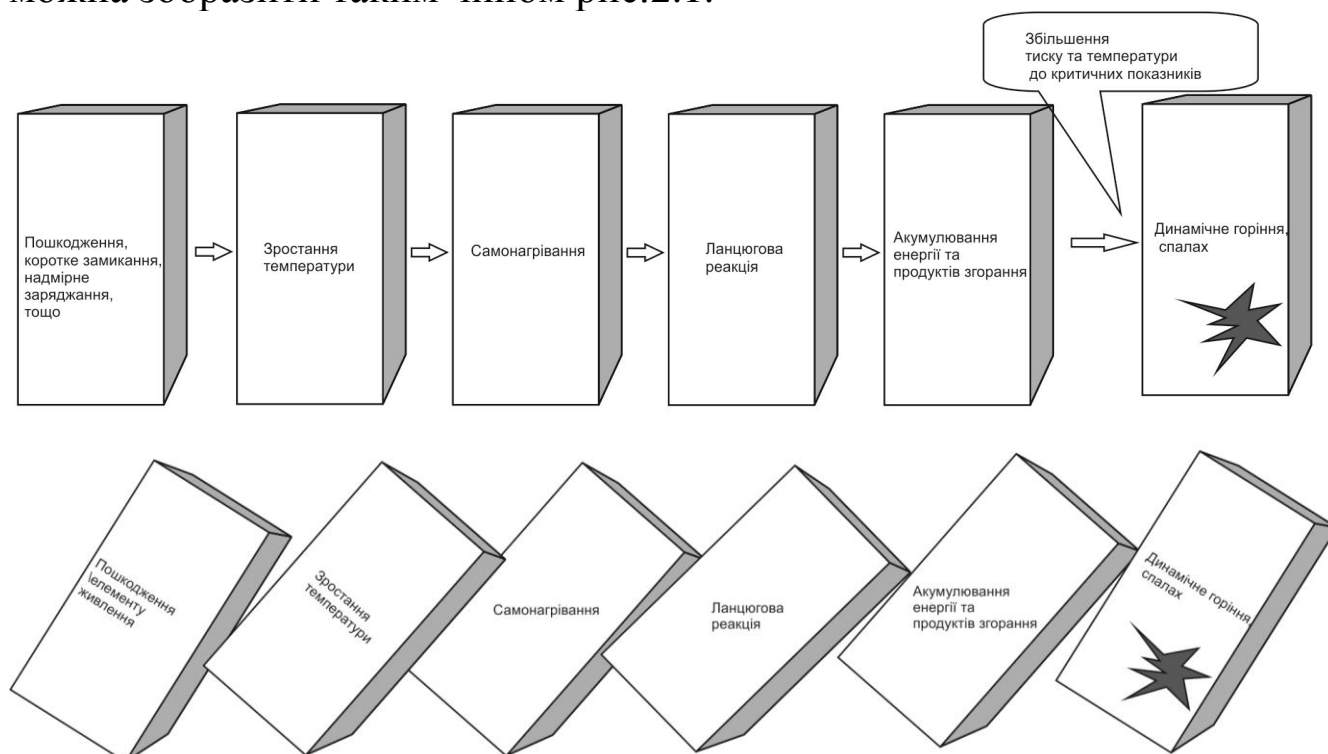


Рисунок 2.1 – Ефект доміно в літій-іонному елементі живлення [15]

Під час протікання термохімічної реакції в літій іонному елементі живлення виділяється значна кількість теплової енергії і небезпечних продуктів горіння. В роботах [16-25] було детально досліджено і визначено ці величини.

Авторами [16] було досліджено близько дев'яти різних елементів живлення, серед яких найбільшу увагу було приділено циліндричним елементам живлення формату 18650 і пакетним полімерним елементам живлення.

Для представлених елементів живлення були проведені дослідження з визначення величини енергії, що виділяється, з використанням калориметра, що працює за принципом споживання кисню. У цих тестах елементи живлення піддавалися впливу променевого теплового потоку від 10 до 75 кВт/м². Для тестування бралися елементи живлення з різною величиною заряду від 20 до 100%, що також впливало на результати дослідження. В результаті проведених досліджень були отримані такі дані для елементів живлення виду 18650 рис.2.2.

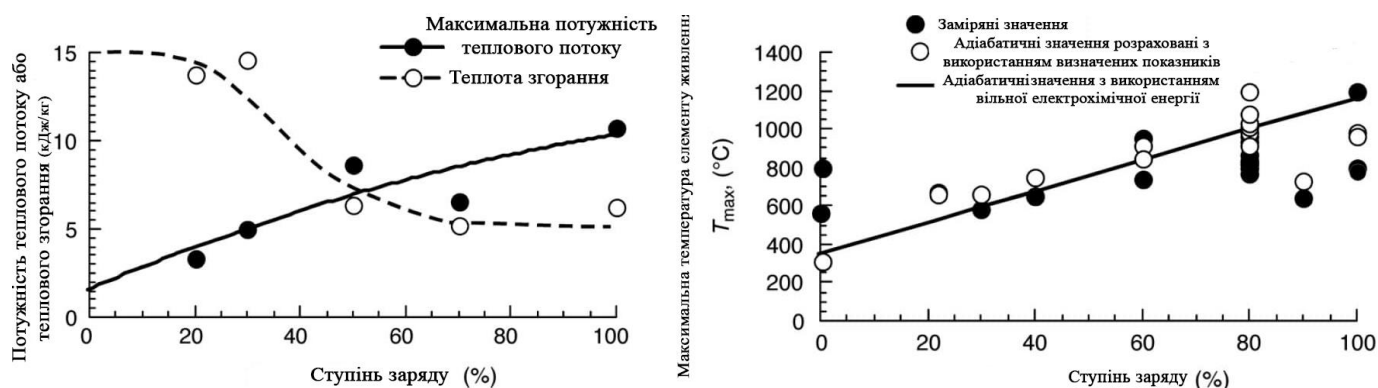


Рисунок 2.2 – Результати досліджень з визначення небезпек літій-іонних елементів живлення 18650 [16]

- а) результати досліджень з визначення величини теплоти (кВт) і теплоти згорання (кДж/г) в залежності від величини заряду (%) елемента живлення; б) результати досліджень з визначення максимальної температури (°C) елемента живлення залежно від величини його заряду (%)

Результати досліджень для пакетних елементів живлення були отримані лише при величині заряду 50% де середній показник величини виділеної теплоти становив 6,1 кВт.

У дослідженнях [17] було проведено ряд експериментів з визначення температури елементів живлення типу 18650 залежно від величини його заряду і типу укладання елементів. Для експериментів було вибрано два варіанти укладання елементів живлення (рис.2.3.): вертикальне і горизонтальне. У кожному з варіантів укладання розміщувався один елемент живлення, який піддавався нагріванню шляхом підключення до електричного трансформатора, і служив джерелом тепла для іншого активного елемента живлення. Інші ж елементи живлення були лише імітацією, але в той же час представляли собою конструкцію максимально схожу на активний елемент живлення з вмонтованими термодатчиками.

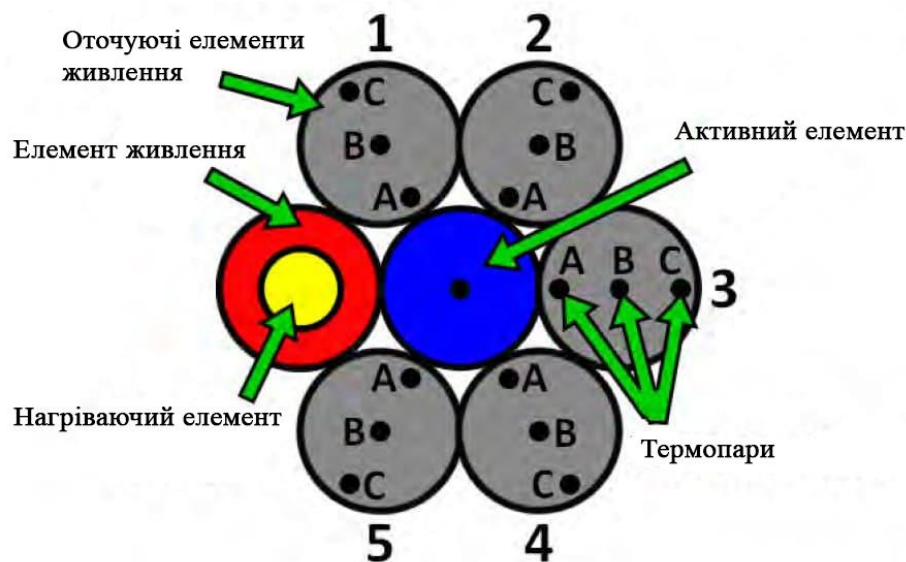


Рисунок 2.3 – Приклад розміщення елементів живлення виду 18650: горизонтальне або шестикутне (А) і (В) вертикальне [17]

Як було зазначено раніше, експеримент проводився також при різних величинах заряду активної батареї: 30%, 100% і більше 100%. В результаті проведених експериментів було отримано такі результати (табл. 2.1), де: $T_{акт}^{нов}$ – температура поверхні активного елемента, $T_{пр.ел}^{ср}$ – середній показник температури прилеглих імітаційних елементів живлення.

Таблиця 2.1

Результати досліджень залежно від величини заряду елементів живлення і їх розміщення [17]

Величина заряду активного елемента живлення	Вертикальне розміщення елементів живлення	Горизонтальне розміщення елементів живлення
30%	$T_{акт}^{нов} = 126 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_{пр.ел}^{сп} = 148-236 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_{акт}^{нов} = 127 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_{пр.ел}^{сп} = 70-75 \text{ }^{\circ}\text{C}$
100%	$T_{акт}^{нов} = 130 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_{пр.ел}^{сп} = 155-231 \text{ }^{\circ}\text{C}$ – для елементів 2, 3, 4; $T_{пр.эл}^{сп} = 250-418 \text{ }^{\circ}\text{C}$ – для елементів 1, 5.	$T_{акт}^{нов} = 129 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_{пр.ел}^{сп} = 64-68 \text{ }^{\circ}\text{C}$
> 100%	$T_{акт}^{нов} = 141 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_{пр.ел}^{сп} = 114-259 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_{акт}^{нов} = 107 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_{акт}^{нов} = 805 \text{ }^{\circ}\text{C}$ – максимальна температура. $T_{пр.ел}^{сп} = 91-109 \text{ }^{\circ}\text{C}$ – для елемента 1; $T_{пр.ел}^{сп} = 89-96 \text{ }^{\circ}\text{C}$ – для елементів 2.

Також необхідно відзначити, що при величині заряду активного елемента живлення 100% і більше при досягненні критичних температур спостерігалось рясне іскро- і газовиділення, що в кінцевому підсумку було сигналом для завершення експерименту.

Також на увагу заслуговує робота [18], в якій автори провели ряд експериментів, за аналогією з попередньою роботою, відразу з декількома елементами живлення (5 штук) виду 18650. В ході експерименту було визначено величину виділеної теплоти елементами живлення, вид і кількість небезпечних газів, які виділяються під час їх горіння залежно від величини заряду елементів живлення.

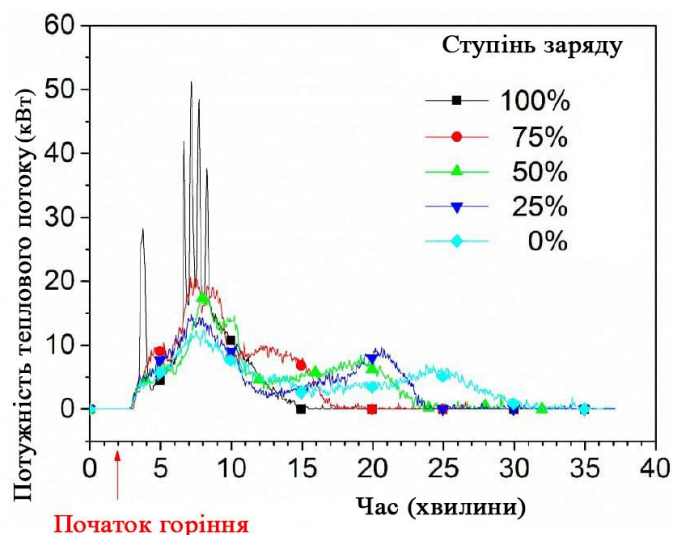


Рисунок 2.4 – Величина випромінювання для п'яти елементів живлення залежно від ступеня їх заряду (0% - 100%) [18]

Внаслідок горіння літій-іонних елементів живлення виділяється не тільки значна кількість теплоти, але і значна кількість токсичних продуктів горіння серед яких автори [18] виділяють гідроген флуорид (HF) і фосфор оксифлуорид (POF_3). Однак численні дослідження не дають остаточну відповідь яка саме концентрація POF_3 виділяється внаслідок горіння літій-іонних елементів живлення, але присутні дані які показують швидкість виділення HF (рис.2.5).

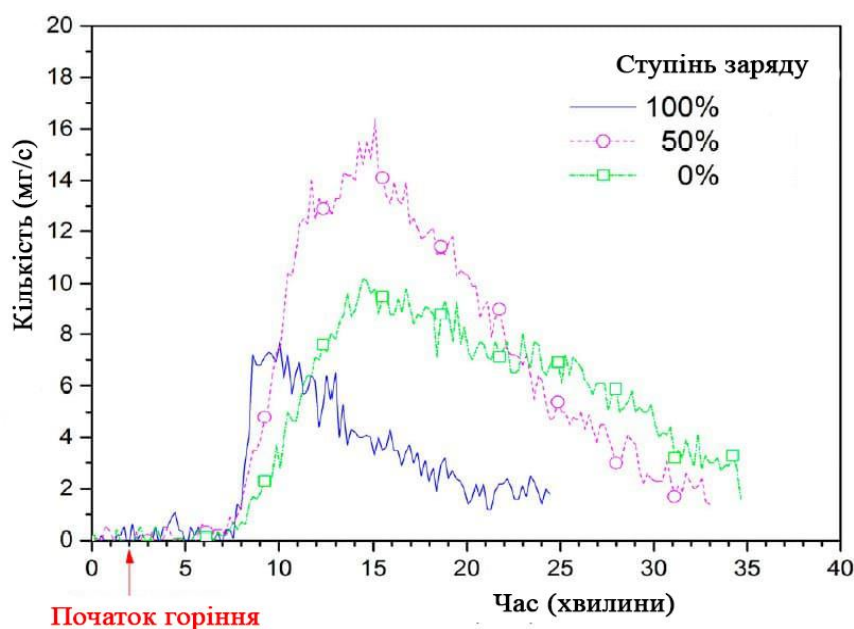


Рисунок 2.5 – Швидкість виділення гідроген флуориду (HF) для п'яти елементів живлення залежно від ступеня їх заряду (0% - 100%) під час їхнього горіння [18]

Важливо відзначити, що швидкість виділення Нґ набагато вища при ступені заряду елементів живлення 50%, а при 100% показники найменші.

Представлені вище результати досліджень стосувалися лише окремих елементів живлення акумуляторної батареї, але, як зазначено вище, акумуляторна батарея електрокара складається з 192 - 7000 таких елементів (залежно від марки автомобіля). Така кількість елементів живлення, виходячи з представлених раніше результатів, під час пожежі має виділяти надзвичайно велику кількість енергії, а якщо розглядати цей вид пожежі з боку тактики її гасіння, то для ліквідації подібної пожежі необхідно затратити значну кількість вогнегасного засобу.

Завдяки проведеним повномасштабним вогневим експериментам [19, 20] щодо визначення величини виділеної теплоти, під час згоряння справжньої акумуляторної батареї, і тактики її гасіння нам доступні унікальні результати.

Для проведення експерименту було взято два види акумуляторних батарей. Акумулятор «А» призначений для гібридних автомобілів, який містить герметичні літій-іонні акумулятори. Акумуляторна батарея з ємністю 4,4 кВт/г укладений в металевий корпус і жорстко встановлена в нижній частині задньої частини автомобіля, за заднім сидінням (рис.2.6а). Металевий корпус ізолюваний від високої напруги, прихований і відокремлений від пасажирського салону литою пластмасовою кришкою та накритий килимовим покриттям. Електроліт, який використовується в літій-іонних акумуляторах, є легкозаймистим органічним електролітом.



а)



б)

Рисунок 2.6 – Приклад акумуляторних батарей для проведення повномасштабних вогневих експериментів акумуляторної батареї «А» від гібридного автомобіля [19]

а) акумуляторна батарея типу «А»; б) акумуляторна батарея типу «В»

Акумулятор «В», призначений для електрокарів з ємністю 16 кВт/г, укладений в корпус зі скловолокна. Т-подібна форма акумулятора охоплює майже всю довжину транспортного засобу від задньої осі до передньої осі і жорстко змонтована під піддоном автомобіля (рис.2.6 б).

На першій стадії експерименту було досліджено кількість теплоти, яку виділятиме акумуляторна батарея типу «В» попередньо розігріта від стороннього джерела тепла (пропанові пальники) потужністю приблизно 400 кВт.

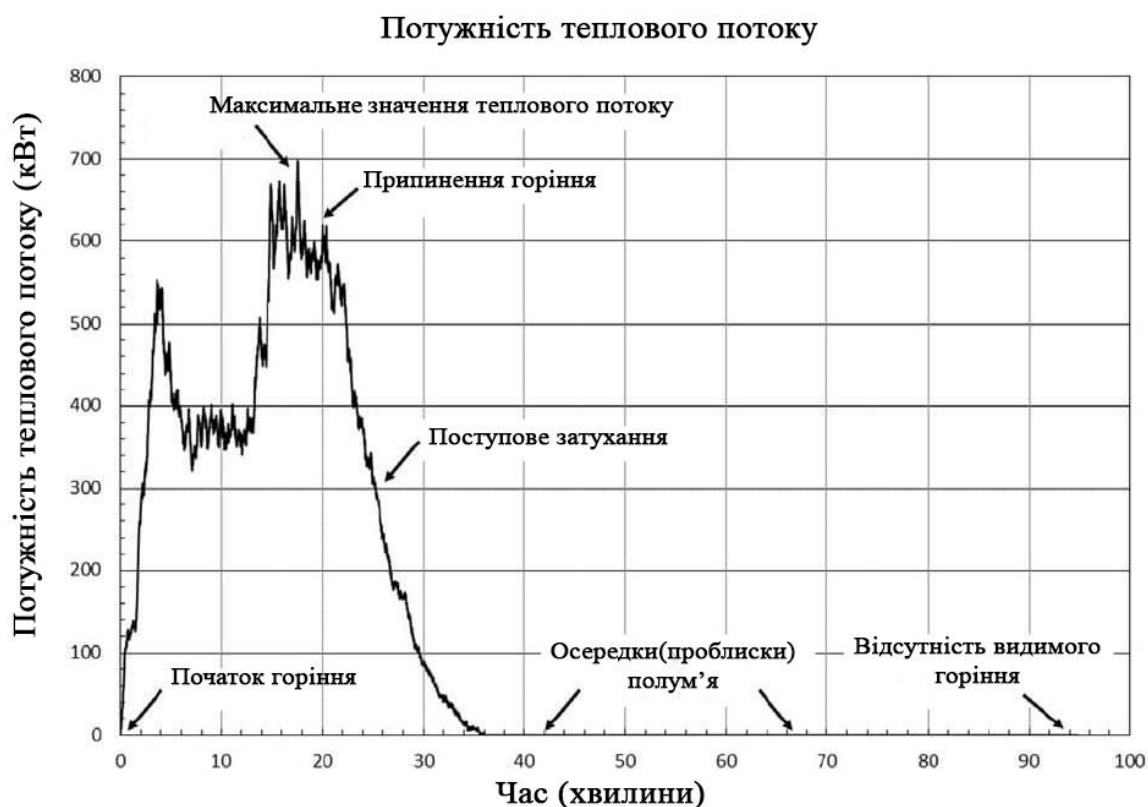


Рисунок 2.7 – Результати проведення експериментів з визначення кількості теплоти під час згоряння акумуляторної батареї типу «В» [20]

Вимірювання температури і теплового потоку реєструвалися на зовнішній і внутрішній стороні батареї, а також на відстані 1,5 і 3 метрів від батареї. Зразки продуктів згорання збирали для аналізу для виявлення токсичних або корозійноактивних сполук. Експеримент вважався завершеним після повного самовигорання акумуляторної батареї без сторонньої допомоги.

Максимальна величина теплового випромінювання становила 300 кВт (при відніманні потужності пропанового пальника), із застосуванням випробувального часу 17 хвилин і 30 секунд, а температура корпусу 684-1155 °С. Максимальні температури на відстані 1,5 і 3 метрів від батареї становили від 94 - 110 °С і 41 - 52 °С відповідно. У той же час максимальна величина теплового випромінювання на аналогічній відстані становила від 17,1 до 18 кВт/м² і від 3,7 до 4,7 кВт/м².

Після відключення пальників, приблизно на 20-хвилині, величина теплового випромінювання поступово спадала, після позначки 36 хвилин, полум'я значно зменшилося і величина теплового випромінювання практично була нульовою.

Невеликі локальні осередки загорання на батареї тривали приблизно протягом ще однієї години. Коли видиме горіння припинилося, зовнішня максимальна температура батареї становила приблизно 400 °С. Ще через три години максимальна температура становила приблизно 155 °С.

Також під час першого етапу досліджень було відібрано чотирнадцять зразків продуктів горіння з використанням мішків «Tedlar». Відбір проб проводили кожні 5 хвилин, починаючи з 5 хвилини випробування. Кожен зразок проби відбирали протягом 1 хвилини. Потім мішки аналізували на наявність HCl, HF, HBr, HCN, CO₂, CO, NO_x, SO₂, акролеїну і формальдегіду з використанням інфрачервоного спектрометра з перетворенням Фур'є. Результати показали лише наявність CO і CO₂. Кожен спектр також був проаналізований на наявність HCN і HF, яких не виявили. Однак, автори визнають, що в ході випробувань можлива похибка, яка вплинула на кінцеві результати.

На другому етапі досліджень були проведені повномасштабні дослідження, основним завданням яких було визначити час, кількість вогнегасної речовини (води), необхідної для гасіння акумуляторних батарей виду «А» і «В». При цьому умови розміщення акумуляторних батарей були максимально наближені до реальних:

- батарею розміщували в кузові автомобіля;
- батарею додатково накривали захисним листом металу;
- в кузові автомобіля додатково містилися елементи інтер'єру та декору.

Результати проведених тестів наведені в таблиці 2.2

Таблиця 2.2

Сумарні результати кількості витраченої води під час гасіння акумуляторних батарей в автомобілі [20]

Вид батареї / серія тестів	Час витрачений на гасіння, хв	Час подачі води, хв	Загальна кількість води, л	Примітка
A1	5,88	2,20	1040	Тільки батарея
A2	36,60	3,53	1673	Тільки батарея
A3	49,67	9,77	4012	Батарея з елементами декору
B1	26,52	14,03	6639	Тільки батарея
B2	37,60	21,37	9989	Тільки батарея
B3*	13,88	9,32	4410	Батарея з елементами декору

* час і кількість витраченої води для гасіння пожежі значно відрізняється внаслідок того, що пожежники вже мали досвід гасіння на прикладі попередніх спроб.

Аналогічно з першим етапом, під час другого етапу вимірювалася величина теплового випромінювання на відстань 1,5 та 3 метри. Вона становила 2,1-3,7 кВт/м² (під час горіння однієї батареї) і 8,1-11,9 кВт/м² (під час горіння батареї з елементами декору).

Після закінчення кожного варіанта гасіння акумуляторних батарей відбиралися проби води для подальшого аналізу на наявність шкідливих речовин. Аналіз зразків води, зібраних під час випробувань, свідчить про наявність хлоридів і флуоридів (ймовірно, в формі HF і HCl). Однак концентрація хлоридів в розчині була тільки в 2-3 рази вищою від нормальних реєстрованих рівнів, тоді як концентрація флуоридів була більш ніж в 100 разів вищою, ніж нормальні виявлені рівні. Жодних інших корозійних або токсичних сполук в зразках води не виявлено.

Отримані на сьогодні результати досліджень щодо літій-іонних елементів живлення акумуляторних батарей дають нам чітке розуміння того, що такий технічний пристрій одночасно з позитивним ефектом може нести значну небезпеку, а особливо небезпеку виникнення та поширення пожежі.

Отримані результати досліджень показують, що елементарний літій-іонний елемент живлення під час горіння здатний продукувати від 6 до 10 кВт енергії і досить велику кількість небезпечних продуктів горіння, особливо HF, POF_3 , хоча останнє твердження потребує подальших досліджень. Також показані результати досліджень однозначно підтверджують, що кількість енергії, що виділяється літій-іонним елементом живлення безпосередньо залежить від ступеня її заряду.

Повномасштабні результати з дослідження гасіння акумуляторних батарей електрокарів показали досить непередбачений результат щодо кількості води, необхідної для гасіння подібної пожежі. Виходячи з результатів експерименту середня кількість води необхідна для гасіння подібного загоряння, коливається від 2500 до 6000 л, що може перевищувати об'єм водяного резервуара автоцистерни. Таким чином постає гостра необхідність в удосконаленні тактики гасіння подібних пожеж та тренування особового складу.

У зв'язку з постійним розвитком і вдосконаленням технологій представлені результати будуть відрізнятися від нових видів батарей [21-25] тому в цьому напрямку завжди буде необхідність проводити додаткові дослідження та слідкувати за подальшим їх розвитком.

2.2. Пожежна безпека автомобілів на водневому паливі

АВП – це відносно новий тип електротранспорту, який за своєю будовою є відмінним від звичайних ЕА хоч й має деякі ідентичні конструктивні елементи. Робота АВП базується виключно на запасі стисненого водню (H_2), що і вирізняє цей ТЗ серед інших ТЗ на альтернативних джерелах енергії. Специфічні властивості водню та його пожежна безпека потребують особливої уваги зі сторони оперативно-рятувальних підрозділів під час проведення аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт, а також розробки протоколів безпеки, інструкцій щодо його зберігання, транспортування та використання.

Для розробки вищезазначених документів необхідно вивчити та детально ознайомитися з типовою будовою АВП і характеристиками основних небезпечних процесів, що можуть виникати під час горіння або пошкодження АВП.

Як зазначалося вище, АВП – це загалом ТЗ, що працює на електриці, однак на відміну від звичайних ЕА для отримання електроенергії тут використовують стиснений водень.

З огляду на представлену будову АВП та ґрунтуючись на особливостях гасіння і проведення аварійно-рятувальних робіт ЕА можна стверджувати, що наявність акумуляторної батареї великої потужності та електромережі подібного ТЗ потребує ідентичних підходів та алгоритмів роботи рятувальних підрозділів за аналогією з ЕА. Однак наявність резервуарів зі стисненим воднем під високим тиском 70 МПа та фізичні властивості водню створюють додаткову небезпеку [28, 29]. Саме питання безпеки використання водню в автомобілях та супутньої інфраструктури, включаючи гаражі, майстерні з технічного обслуговування, підземні стоянки та тунелі, є основною проблемою та небезпекою.

Основними особливостями водню, з точки зору пожежогасіння та пожежної безпеки, щодо інших, а зокрема вуглеводневих газів, є:

- температура горіння водню на відкритому повітрі може сягати близько 2000 °С. Водень горить практично безбарвним полум'ям;
- область концентрацій водню в газоповітряній суміші, за якої можливе його горіння, є вкрай широка від 4 до 75%, порівняно з іншими горючими газами ширша (пропан 2,1 – 10 %, випари бензину 1 – 7,8%). Однак ключовим параметром є нижня концентраційна межа поширення полум'я, яка у водню в два рази вища ніж у пропану і в чотири рази – ніж у бензину;
- нижня вибухова межа водню (13-18%), яка також є набагато нижчою за концентрації пароповітряних сумішей бензину та інших газів;
- через малу щільність, в'язкість та коефіцієнт дифузії водень здатний витікати практично в три рази швидше ніж інші гази. Для порівняння швидкість витікання водню становить 1308 м/с, а природного газу – 449 м/с.

Наведений опис лише деяких основних характеристик водню та все більш зростаюча зацікавленість виробників автомобілів у застосуванні стисненого водню у якості палива для автомобілів без зміни їх конструктивних особливостей дає можливість спрогнозувати такі надзвичайні ситуації, пов'язані з АВП:

- вибух паливних резервуарів з воднем;
- термічний опік, спричинений низькими температурами зберігання водню;
- витікання водню з паливопроводів (резервуара) під високим тиском;
- факельне горіння водню під високим тиском;
- витік водню в приміщенні (гаражі, закриті паркінги) без подальшого горіння;
- утворення газоповітряної горючої хмари;
- накопичення водню в суміжних приміщеннях.

Вибух газоповітряної суміші водню, паливних резервуарів з воднем

Розглядаючи випадок вибуху резервуарів з воднем в АВП необхідно зазначити, що подібну можливість слід розглядати як мінімум в двох можливих варіантах розвитку, а саме: у випадку появи стороннього джерела запалювання і, як наслідок, нагрівання та подальший вибух резервуарів з воднем, а також варіант неконтрольованого витоку водню і утворення газоповітряної суміші з подальшим її займанням.

Неконтрольоване виділення водню внаслідок аварії або іншого механічного пошкодження в тунелі або іншому обмеженому просторі може призвести до утворення легкозаймистої газоповітряної суміші. Запалювання такої суміші може призвести до "вибуху", який може мати дефлаграційний або детонаційний характер та супроводжуватися утворенням ударної хвилі, що становитиме загрозу для життя людей, будівель і споруд.

Дефлаграційне горіння поширюється зі швидкістю, нижчою від швидкості звуку, тоді як детонаційне горіння поширюється зі швидкістю, що перевищує швидкість звуку (надзвукова). В останньому випадку фронти ударної хвилі та полум'я поєднуються. Швидкість детонаційної хвилі залежить від складу водневої газоповітряної суміші. У стехіометричній суміші вона може досягати 2000 м/с.

Дефлаграційний вибух на відкритому просторі, за відсутності будь-яких перешкод, може створювати надлишковий тиск (тиск вище атмосферного) близько 10 кПа, що становить приблизно поріг надлишкового тиску який могли б витримати типові будівлі і споруди. На рис. 2.8, 2.9 представлено результати експериментальних досліджень з визначення зон ураження на відкритій місцевості за умови вибуху резервуара з воднем (з тиском зберігання від 100 МПа до 20 МПа) для людини та будівель і споруд відповідно.

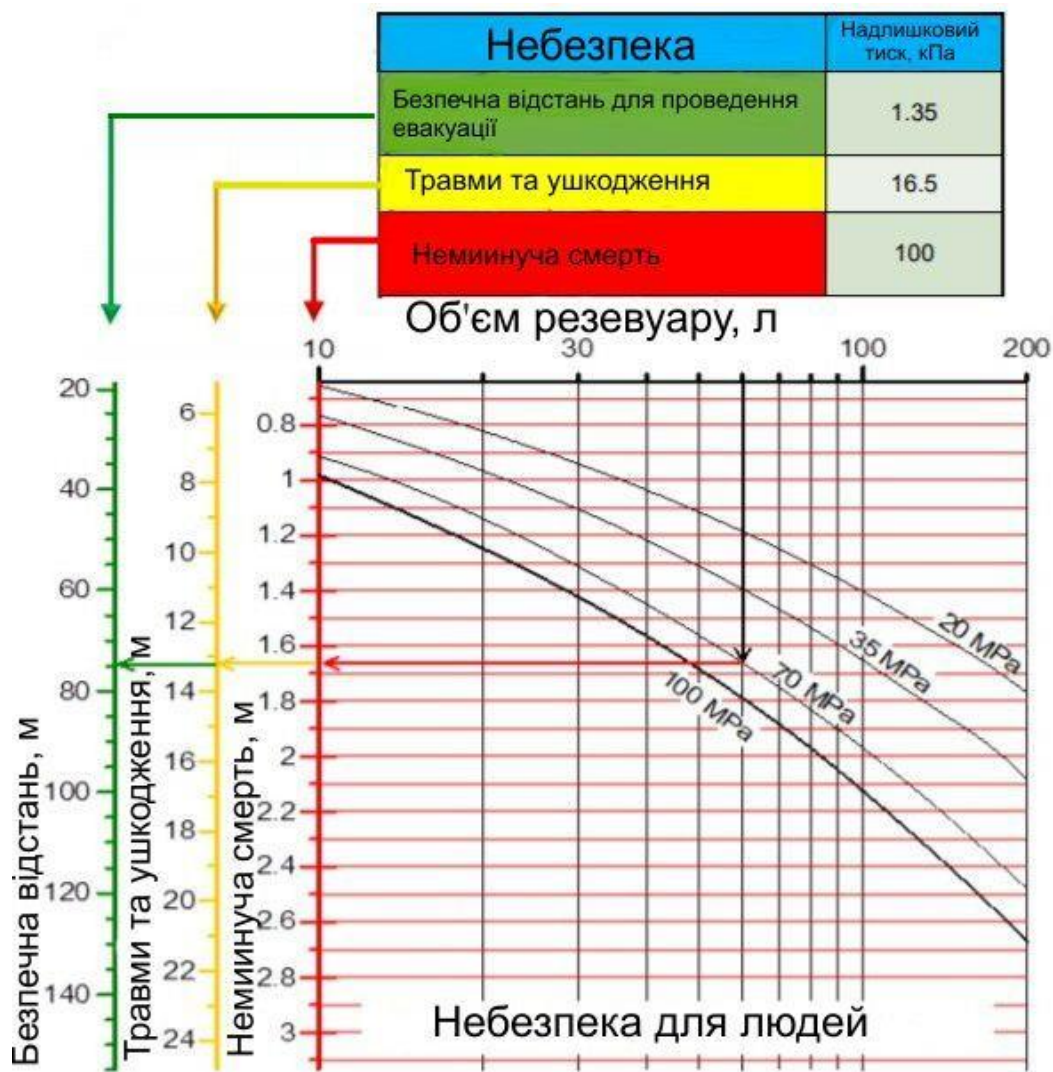


Рисунок 2.8 – Зони ураження надлишковим тиском вибуху для людини за умови вибуху балонів з воднем в АВП на відкритій місцевості (м) [12]

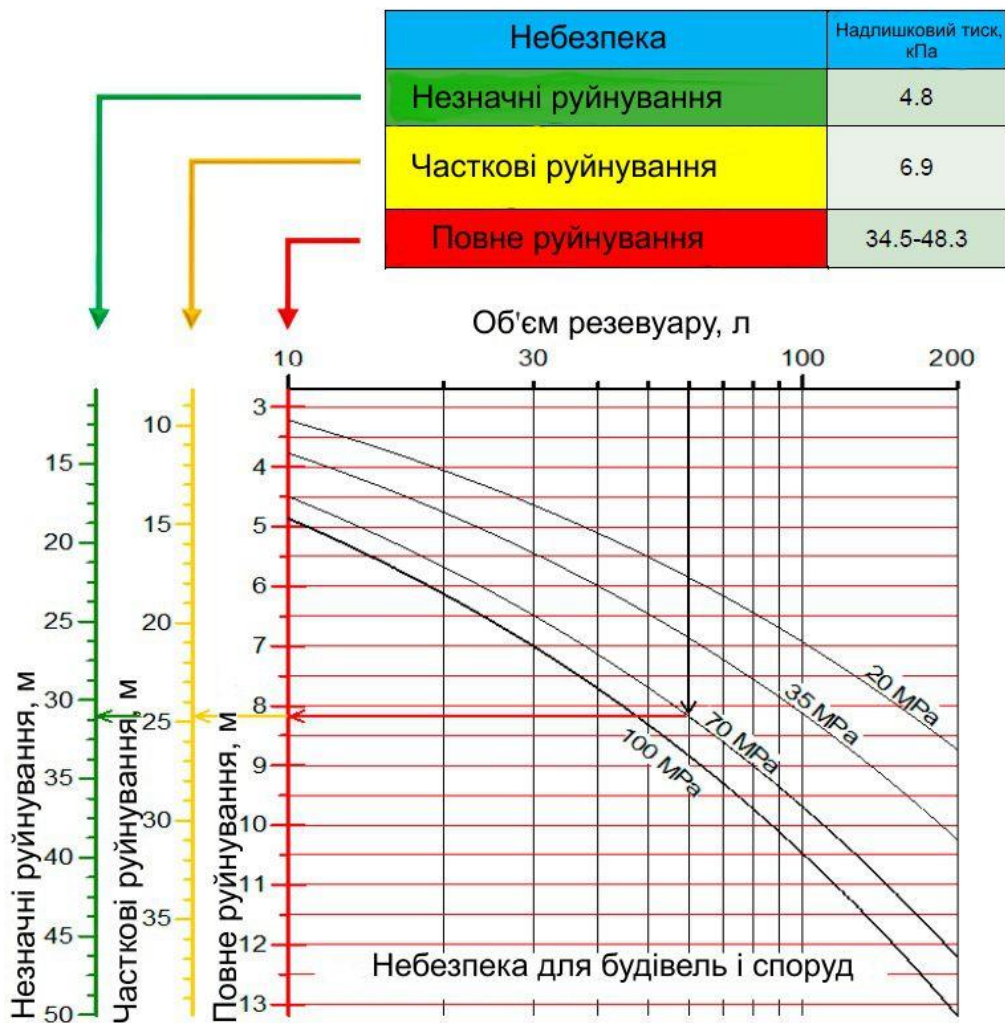


Рисунок 2.9 – Зони ураження надлишковим тиском для будівель і споруд за умови вибуху балонів з воднем в АВП на відкритій місцевості (м) [12]

Дефлагаційний вибух в огороженнях та/або обмежених просторах може призвести до більш значного надлишкового тиску, близько 0,7 МПа в щільно зачиненому приміщенні. Дефлагаційний вибух в огороженні можна «пом'якшити» шляхом використання розгалуженої та продуманої системи вентиляції, що є найбільш економічно ефективною, а також завдяки використанню легкоскидних конструкцій чи інших систем безпеки. Однак руйнівну силу детонаційного вибуху не можна знизити системою вентиляції приміщення оскільки вона характеризується вищими надлишковими тисками, які становлять приблизно до 1,5 МПа.

Іншим важливим питанням пожежної безпеки, яке повинні вирішити виробники АВП, є підвищення вогнестійкості водневих резервуарів (балонів).

Дослідження показують [29], що сучасні водневі резервуари мають межу вогнестійкості до 7 хвилин (характерно для резервуарів IV класу). Збільшення часу межі вогнестійкості водневих резервуарів значно б підвищило рівень безпеки під час використання АВП та сприяло б збільшенню часу, наприклад, евакуації населення з будівлі чи прилеглих територій.

Саме з метою зменшення руйнівної сили у випадку вибуху резервуара з воднем під високим тиском в АВП запроєктований термічний клапан ТАПЗТ. Аварійний викид водню через цей клапан спрямований на унеможливлення вибуху резервуара з воднем завдяки зменшенню концентрації водню в балоні.

У випадку несправності термічного клапана наслідки можуть бути катастрофічними, особливо якщо вибух трапиться в будівлі (паркінг, гараж, майстерня тощо).

Для прикладу в роботі [30] було змодельовано вибух резервуара з воднем з робочим тиском 35 МПа в АВП у випадку відсутності (неспрацювання термічного клапана). Нагрівання резервуара відбувалося газовими пальниками. З перших хвилин від початку експерименту температура зовнішніх стінок резервуара піднялася до 650 °С. Внутрішній тиск всередині резервуара залишався сталим протягом 9 хвилин, однак після 12 хвилини резервуар вибухнув (рис.2.10).



Рисунок 2.10 – Результати вибуху резервуара з воднем з робочим тиском 35МПа за умови відсутності аварійного термічного клапану [30]

За результатами експерименту було визначено, що на відстані 10 м відбулося зростання тиску до 13кПа, а безпечна зона спостерігалася лише на відстані 40 метрів (тиск 2 кПа). Значна частина автомобіля відлетіла на відстань 41 м від місця проведення експерименту, окремі уламки автомобіля були розкидані в радіусі 106 метрів.

Термічний опік спричинений низькими температурами

Для збільшення кількості водню в системі автомобіля автовиробники, зрозуміла річ, використовують звичну для всіх технологію стиснення або зрідження, що дає змогу у відносно невеликих об'ємах зберігати значну кількість речовини.

Стиснутий водень у водневих баках під тиском 35-70 МПа (350-700 бар) використовується в системах водневих резервуарів в транспортних засобах на основі вуглецево-композитної технології типу IV. Стиснений водень при таких тисках має температури від -200 до -120 °С залежно від його щільності (рис.2.11).

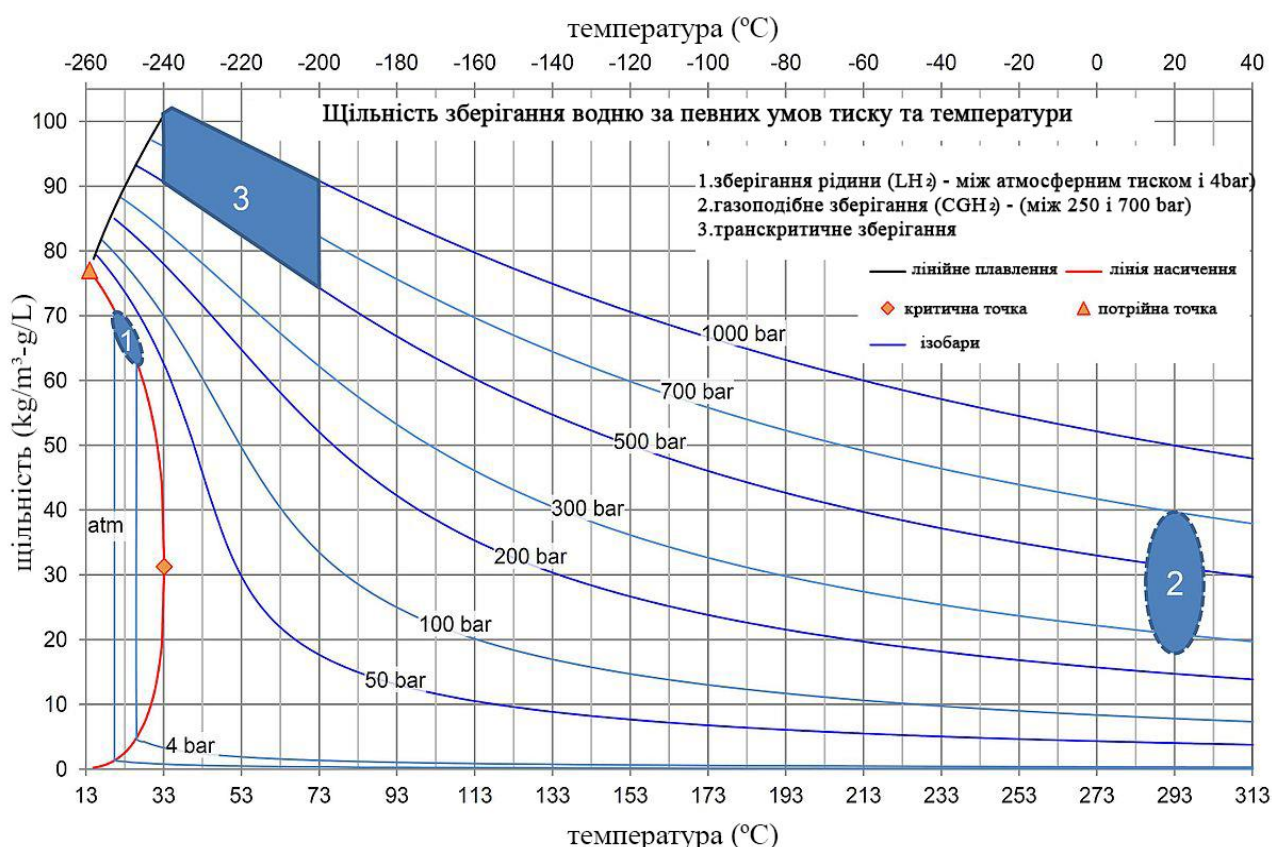


Рисунок 2.11 – Залежність щільності водню від тиску його зберігання та температури [31]

Зріджений водень. В Японії сховище рідкого водню (LH_2) розташоване в порту Кобе. Водень скраплюється шляхом зниження його температури до -253°C , як і зріджений природний газ, який зберігається при -162°C . Разом з тим існують приклади автомобілів, що працюють саме на зрідженому водні, наприклад BMW Hydrogen 7 [31].

Зберігання водню при таких низьких температурах створює додаткову небезпеку у вигляді обморожень або холодних опіків кінцівок або шкірного покриву людини.

Витікання водню з паливопроводів (резервуара) під високим тиском

Під час витікання водню під високим тиском (35 МПа-70 МПа) струмінь газу може завдати значних пошкоджень оголеним ділянкам тіла або навіть проникати через захисний одяг. Захисний одяг рятувальника не може на 100% гарантувати безпеку. Згідно з дослідженнями [32], газ під тиском 20 МПа легко проникав через захисні рукавиці та одяг. Проникнення газів через шкірний покрив може призвести до зупинки кровообігу та некрозу тканин [33]. Тиск газу 4,4 МПа достатній, щоб спричинити порізи шкірного покриву людини [34].

Позарегламентний (неконтрольований) витік водню з резервуарів та ємностей під високим тиском створюватиме сильно недорозширені струмені газового потоку (терміни недорозширений та перерозширений струмінь газу характерні для реактивних двигунів літаків та характеризуються надзвуковими швидкостями) [35, 36]. Це може призвести до утворення великої легкозаймистої воднево-повітряної оболонки (суміші). Таким чином якщо ця горюча воднево-повітряна оболонка (за умови концентрації водню в повітрі 4%, що дорівнює нижній концентраційній межі поширення полум'я за об'ємом) досягне систем вентиляції, для прикладу багатопверхового будинку, тоді наслідки для мешканців та самої будівлі можуть бути катастрофічними. Наявність джерела запалювання всередині такої оболонки може спричинити дефлаграційне горіння та потенційно перейти до детонації.

В низці наукових досліджень показано та описано залежності, що описують дисперсію водню та утворення займистої хмари, включаючи розпад осьової концентрації, для довільних струменів з різними параметрами. Таким чином в роботі [29] представлено номограму, яка дає змогу графічно визначити концентрації водню

залежно від діаметра вихідного отвору та утворенню нижньої (НКМП 4%) або верхньої (ВКМП 11%) концентраційної межі поширення полум'я. Для прикладу, при діаметрі вихідного отвору 1 мм з резервуара при тиску 70 МПа і температурі 27 °С (300 К) гранична відстань для НКМП буде дорівнювати 7,7 метрів та 2,7 метра відповідно для ВКМП, що в порівнянні з розрахунковим методом з використанням точних значень (НКМП – 8,36 м, ВКМП – 2,83 м.) складає похибку до 10 %.

Додатково, необхідно зазначити ще одну властивість водневих струменів під час витікання, а саме зміна напрямку витоків струменя через зниження тиску та концентрації або ефект плавучості.

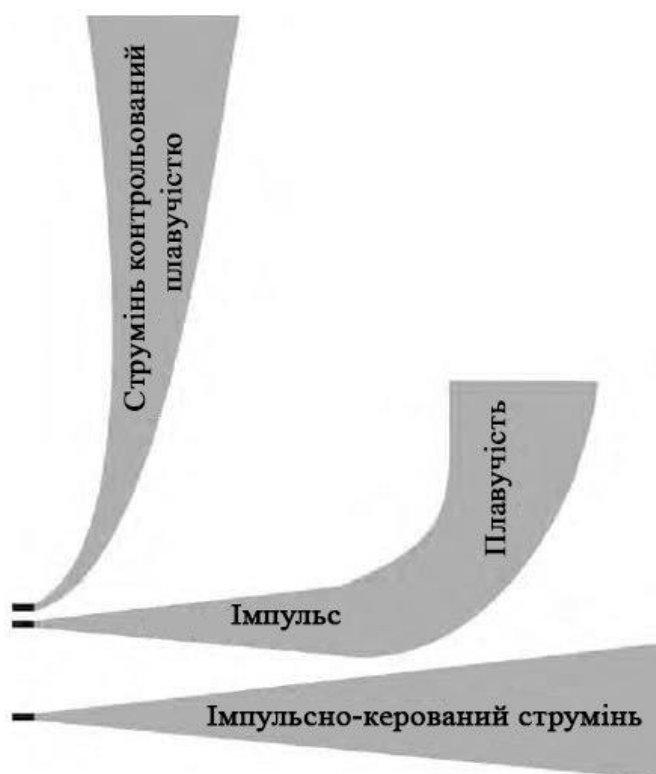


Рисунок 2.12 – Види струменів характерні для водню залежно від впливу ефекту плавучості

Ефект плавучості – це явище, яке виникає внаслідок перевищення температури струменя над температурою довкілля. Всі струмені можна умовно розділити на три типи, залежно від ефекту плавучості (рис.2 12).

На струмені, повністю контрольовані імпульсом (значним тиском), не впливає плавучість. Другий тип струменів, який можна назвати перехідним, має частину, в якій домінує імпульс, ближче до сопла і потік, керований плавучістю, далі за течією, коли швидкість

витікання струменя падає і діаметр струменя збільшується. Повністю контрольовані плавучістю струмені швидко змінюють свій напрям від горизонтального до вертикального.

Факельне горіння водню під високим тиском

Виникнення загорання в АВП або в безпосередній близькості до нього, наприклад розливу та загорання ЛЗР чи ГР у випадку ДТП, може призвести (у випадку впливу теплового випромінювання чи підвищення температури) до аварійного витoku водню через клапан ТАПЗТ (зазначено в розділі 1). Статистичні дані свідчать, що в більшості випадків позарегламентні витoki водню під високим тиском будуть супроводжуватися факельним горінням [37].

Струмені водню з резервуарів та обладнання під тиском до 100 МПа будуть переважно у формі недорозширеного струменя. Недорозширений струмінь визначається як струмінь з тиском на виході з сопла, вищим за атмосферний тиск.

Факельне горіння водню у випадку витoku через клапан ТАПЗТ може сягати десятків метрів залежно від вихідних параметрів струменя [38], і до сотень метрів – для промислових водневих установок під високим тиском, що створює небезпеку для життя людей та будівельних конструкцій через високу температуру полум'я та теплове випромінювання. Тут варто зазначити, що довжина полум'я від ТАПЗТ пропорційна діаметру отвору ТАПЗТ. Саме ці знання стали причиною зменшення діаметра ТАПЗТ з 6 мм до 2-3 мм. Однак зі зростанням попиту та розвитком АВП у світі постає питання подальшого зменшення вихідного отвору ТАПЗТ, оскільки при сьогodнішніх параметрах (2-3 мм) зберігається значна небезпека поширення пожежі, наприклад, на паркінгах (особливо багатоповерхових або підземних), гаражах тощо.

Факельне горіння водню під час викиду з клапана ТАПЗТ у закритому приміщенні може мати подвійний ефект на наслідки поширення пожежі. Через факельне горіння водню від ТАПЗТ може спостерігатися інтенсивніше теплове випромінювання. Водяна пара, що утворюється при згорянні водню, може деякою мірою виступати як вогнегасна речовина завдяки зменшенню концентрації кисню в приміщенні та знижувати швидкість поширення пожежі. Однак вплив описаних вище явищ до кінця не відомий і є предметом подальших наукових досліджень. Окрім цього, чинні стандартні вимоги щодо облаштування вентиляційних систем приміщень, особливо призначених для тимчасового зберігання чи обслуговування

автомобілів, можуть бути недостатніми, за умови виникнення факельного горіння чи викиду струменя водню з клапана ТАПЗТ, що може фактично погіршити наслідки пожежі або умови евакуації.

Розуміння потенційної небезпеки, а особливо вміння правильно спрогнозувати безпечну відстань у випадку факельного горіння водню є особливо важливим питанням. На рис. 2.13 представлена номограма, розроблена для спрощення оцінки довжини полум'я від вихідного діаметра отвору витікання струменя та робочого тиску зберігання водню [29].

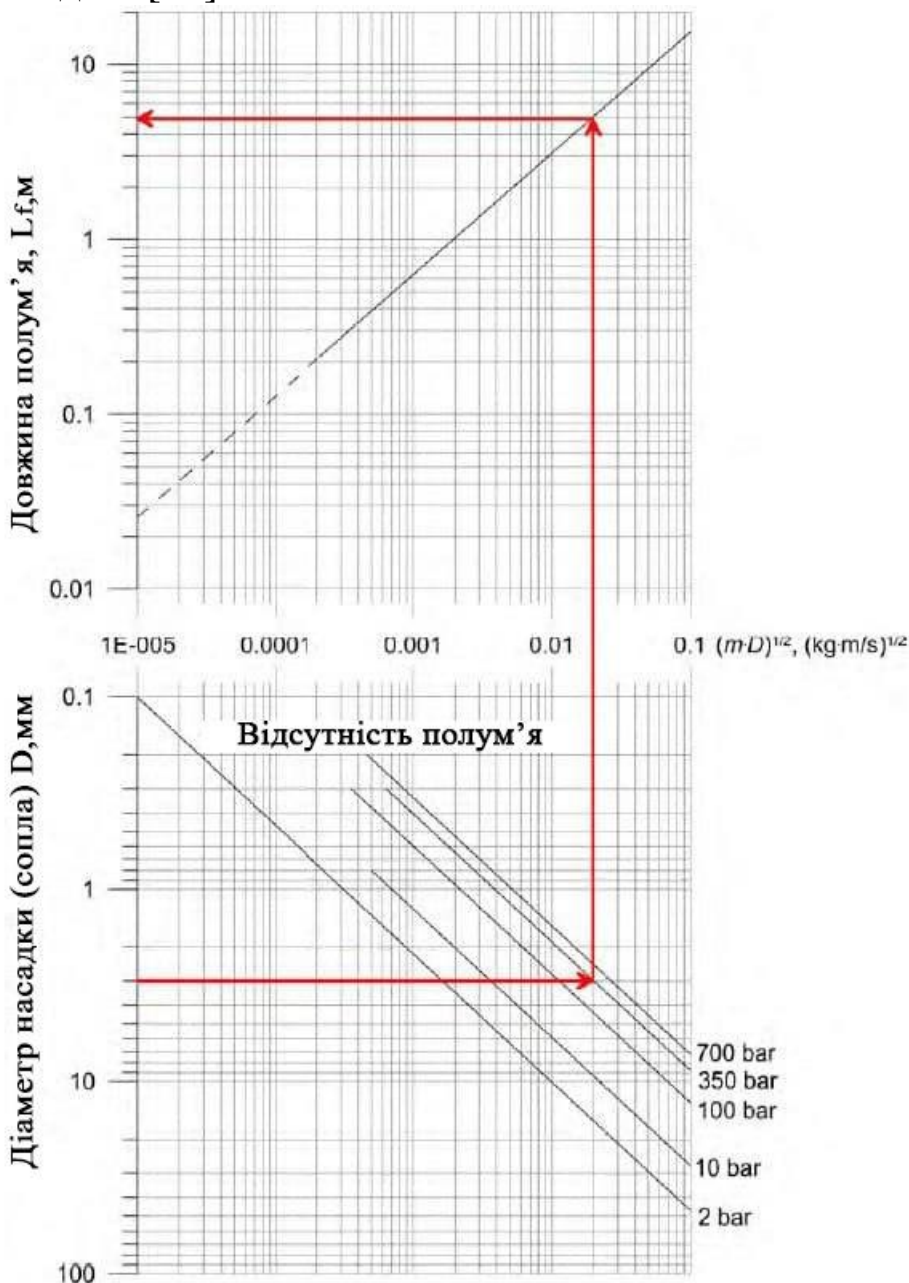


Рисунок 2.13 – Номограма залежності довжини факела водню залежно від діаметра вихідного отвору та тиску зберігання водню

Практичне використання номограми показано на рис. 2.13 червоними стрілками. З прикладу стає зрозумілим, що під час витіку водню при тиску 35 МПа через отвір діаметром 3 мм довжина факела полум'я становитиме близько 5 м. Номограму можна використовувати для швидкої оцінки довжини полум'я струменя водню.

Слід зазначити, що представлена номограма не враховує втрати потоку під час витікання, які мають суттєвий вплив на кінцевий розрахунковий результат. Враховуючи це необхідно розуміти, що номограма дає досить приблизний результат, а більш точний результат обчислення довжини факельного горіння водню можливий лише за умови використання розрахункового методу який дасть змогу розрахувати щільність струменя на виході з отвору витікання. З огляду на похибку графічного аналізу порівняно з розрахунковим цю довжину можна збільшити майже на 50%, тобто прийняти рівною 7,5 м.

Одним із другорядних факторів горіння водню є теплове випромінювання і як наслідок безпосереднє підвищення температури на значній відстані від самого факела. Дослідження для визначення безпечної зони перебування людей відносно факела водню мають ряд розбіжностей, оскільки це питання має ряд факторів та різних методів розрахунку, які впливають на кінцевий результат. Однак аналіз узагальнених результатів досліджень показує, що для людини можна виділити три зони перебування, які умовно можна розділити за досягненням критичної температури перебування:

1. 70 °С – «без шкоди» для здоров'я людини на відстані близько 20-25 метрів від краю полум'я;

2. 115 °С – можливі опіки другого ступеня протягом 5 хвилин перебування на відстані близько 15-20 метрів від краю полум'я;

3. 309 °С – опіки третього ступеня протягом 20 с. перебування на відстані 10-15 метрів від краю полум'я.

Представлені відстані є результатом аналітичного аналізу авторів посібника, який ґрунтується на результатах експериментальних та аналітичних досліджень [42, 43].

Витікання водню в приміщенні

Водень – безбарвний газ, який не має запаху та не шкідливий для людини. Однак його швидке виділення та накопичення в обмеженому просторі (приміщенні) може спричинити дефіцит кисню в повітрі, що в свою чергу призведе до втрати свідомості і до смерті людей, що перебувають поблизу. При концентрації кисню в повітрі

нижче 19% людина відчуватиме помітний негативний ефект. Вплив на людину підвищення концентрації водню в повітрі та відповідне зниження концентрації кисню вказано в таблиці 2.3 [32].

Таблиця 2.3

Співвідношення концентрації водню та кисню в повітрі та його вплив на людину

H ₂ %	O ₂ %	Вплив
0-9	19-21	Відсутні симптоми, відносно не шкідливо
9-28	15-19	Зниження уваги та концентрації, незначна задишка
28-42	12-15	Пришвидшений пульс, прискорене дихання, погана координація
42-52	10-12	Запаморочення, ризик смерті 11%, час до летального ефекту близько 30 хв
52-62	8-10	Втрата свідомості, можлива нудота, втрата кольору обличчя, час до летального ефекту близько 5 хв
62-71	6-8	Втрата свідомості за 3 хв, смерть за 8 хв. В 50 % випадків смерть, в 50 % випадків можлива реанімація постраждалого за умови надання допомоги впродовж 6 хв, в 100 % випадків можлива реанімація постраждалого за умови надання допомоги впродовж 4-5 хв
71-86	3-6	Втрата дихання, серцебиття, кома впродовж 40 с, пошкодження головного мозку, смерть
86-100	0-3	Смерть впродовж 45 с

Неконтрольоване та швидке витікання водню в приміщенні може спричинити додаткову та не менш загрозливу ситуацію для особового складу та інших мешканців.

Зокрема короткочасне та миттєве зростання тиску в приміщенні, що може призвести до його руйнування [29]. Відповідно до системи безпеки резервуарів АВП зі стисненим воднем аварійний термічний клапан для зниження тиску спрацьовує при температурі близько 110 °С. Клапан забезпечує швидке вивільнення водню, таким чином мінімізуючи імовірність вибуху резервуара під час тривалої дії полум'я. Такі умови є досить прийнятними за умови виникнення горіння на свіжому повітрі. Однак небезпека, яка виникає внаслідок швидкого викиду водню в приміщенні, наприклад в гаражі, на станції технічного обслуговування не прийнятна для гарантування безпеки та життя оточуючих.

Для прикладу, на рис.2.14 зображено порівняльну характеристику досягнення максимального тиску в приміщенні (для різних типів газів, зокрема для водню) залежно від часу, за умови однакової швидкості витікання (390 г/с) [40].

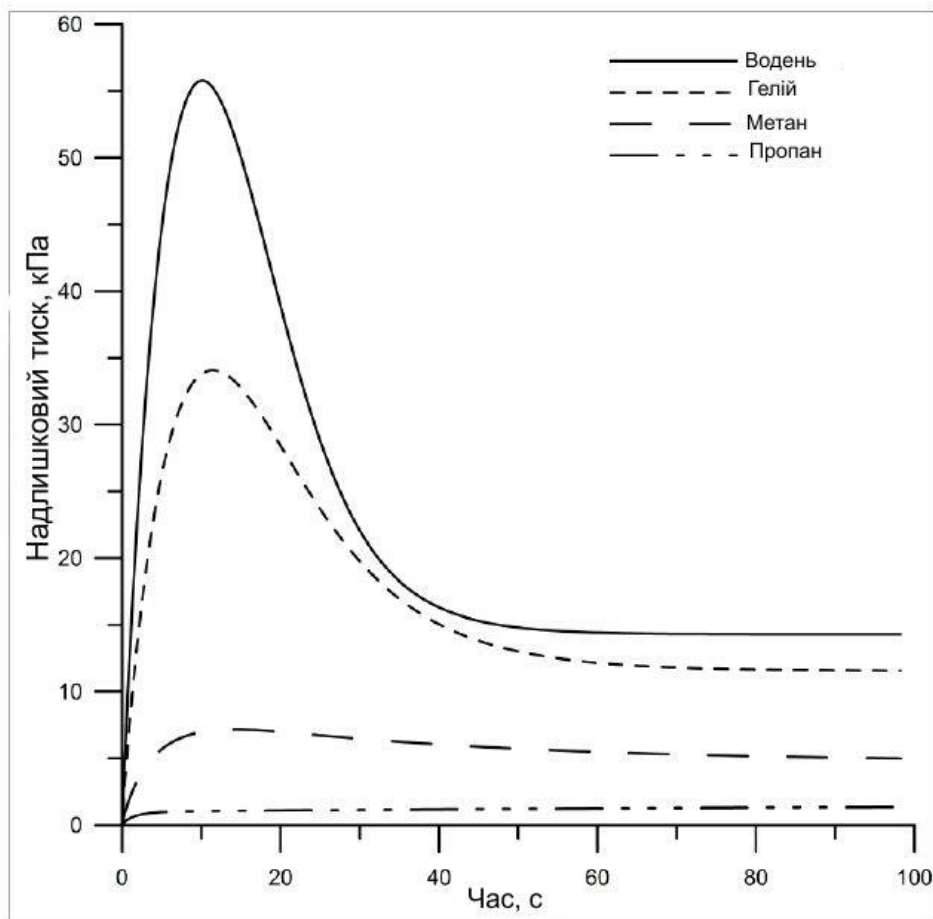


Рисунок 2.14 – Зображення розподілу тиску в приміщенні об'ємом 30,4 м³ при масовій швидкості витікання 390 г/с для різних типів газів

Відповідно до рис.2.14 видно, що водень лише за 10-15 секунд збільшить тиск в приміщенні до 55 кПа, що призведе до повного руйнування будівлі. Однак, вже за 20 секунд тиск вирівняється до прийнятного в 15 кПа. Цікавим є той факт, що ні для метану, ні для пропану не характерна така властивість, а лише гелій має подібну до водню характеристику.

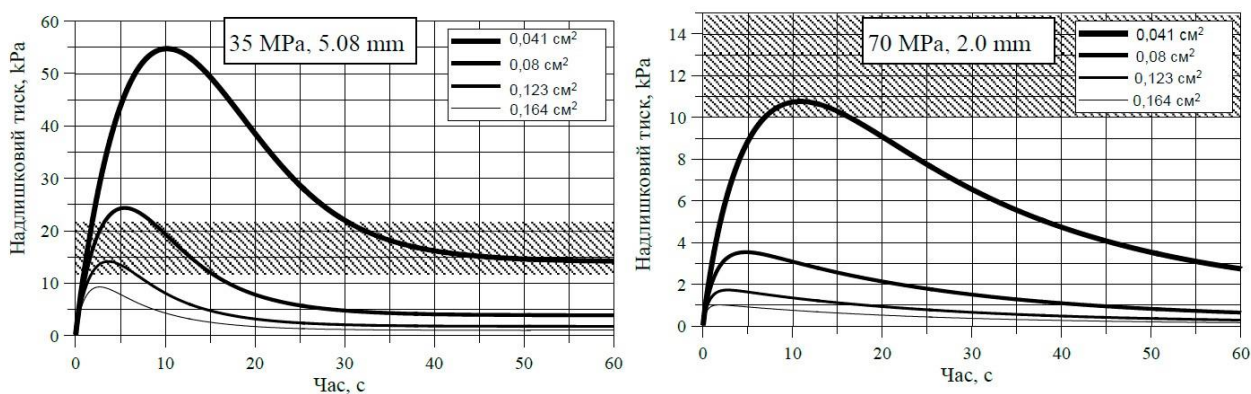


Рисунок 2.15 – Динаміка збільшення надлишкового тиску внаслідок витікання водню в приміщенні гаража для двох випадків: ліворуч – ТАПЗТ діаметром 5,08 мм, тиск зберігання 35 МПа (швидкість витікання водню 388 г/с); праворуч – ТАПЗТ діаметром 2,0 мм, тиск зберігання 70 МПа (швидкість витікання водню 107 г/с) [41]

На рис.2.15. показано моделювання динаміки зміни тиску в приміщенні (гаражі) за умови сталої швидкості витікання водню для двох постійних швидкостей виділення водню і чотирьох різних за величиною вентиляційних каналів, еквівалентних площі $0,041 \text{ cm}^2$, $0,08 \text{ cm}^2$, $0,123 \text{ cm}^2$ та $0,164 \text{ cm}^2$, використовуючи математичні моделі [39, 40]. При швидкості витікання 388 г/с (рис.2.15 ліворуч), у всіх сценаріях, крім одного, пік тиску перевищує критичне значення тиску, що допустимий для типових цивільних будівель і споруд, таких як гаражі, тобто 10-20 кПа. Тільки за умови вентиляційного отвору площею $0,164 \text{ cm}^2$, пік тиску був нижчим від порогового значення 10 кПа. Чим менша площа вентиляційного каналу, тим раніше досягається максимальний тиск.

На рис.2.15 (праворуч) зображена динаміка зміни тиску вже за умови швидкості витікання 107 г/с через отвір діаметром 2 мм та робочому тиску зберігання 70 МПа. З графіка видно, що тільки в одному випадку, при площі вентиляційного каналу в $0,041 \text{ cm}^2$ відбувається зростання тиску до критичних 10 кПа. Для інших трьох сценаріїв піковий надлишковий тиск значно нижчий за порогове значення 10 кПа. Максимальні значення тиску навіть нижче від порогового значення 3,7 кПа, тобто велика ймовірність того, що навіть цілісність скління не буде порушена. Представлені результати показують, що під час витікання водню в приміщення, саме зменшення діаметра аварійного клапана до 2 мм при тиску зберігання

70 МПа не матиме руйнівного впливу на будівлю навіть за умови облаштування типової вентиляції. Таким чином, можна стверджувати, що діаметр ТАПЗТ є основним параметром, що впливає на критичні зростання тиску в приміщенні під час вільного витікання водню. Зменшення діаметра ТАПЗТ з 5,08 мм до 2 мм було цілком достатньо, щоб запобігти руйнуванню будівлі, навіть за умови збільшення робочого тиску зберігання водню в резервуарі з 35 МПа до 70 МПа.

Контрольні питання до розділу

1. Що може статися внаслідок порушення стабільного режиму роботи літій-іонного елемента живлення?
2. Причини порушення стабільної роботи літій-іонного елемента живлення.
3. Які особливості горіння літій-іонних елементів живлення?
4. Що насамперед впливатиме на температурні показники горіння літій-іонного елемента живлення?
5. Які результати експериментальних досліджень щодо гасіння водою акумуляторних батарей ЕА?
6. Основні властивості водню. Пожежна небезпека водню.
7. Основні небезпеки, що характерні для АВП.
8. Безпечна відстань для людини у разі вибуху резервуара з воднем під тиском 70 МПа.
9. Яка температура зберігання зрідженого водню?
10. Дайте характеристику температури та безпечних відстаней під час витікання водню під тиском та його подальшим горінням.

РОЗДІЛ 3

ДОСВІД ТА ТАКТИКА ГАСІННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ НА АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛАХ ЕНЕРГІЇ

Наведений огляд наукових досліджень пожежної безпеки ЕА, АВП, їхніх основних елементів та систем, тактики та особливостей проведення гасіння показав значну небезпеку виникнення горіння в ЕА та АВП, а особливо необхідність врахування значної кількості факторів при ліквідації пожеж на подібних ТЗ. Одночасно з тим з проведеного аналізу випливає, що на сьогодні суспільство та працівники оперативно-рятувальних служб, що можуть залучатися до гасіння пожеж в ТЗ на альтернативних джерелах енергії, є недостатньо обізнаними у вище зазначених небезпеках.



Рисунок 3.1 – Приклад дорожнього знака, що забороняє заїзд на паркінг автомобілям на альтернативних джерелах енергії (Королівство Нідерланди)

Нечисленні випадки загорянь ЕА та усвідомлення небезпеки використання водню в АВП в деяких Європейських країнах, США призводять до того, що деякі приватні структури свідомо обмежують використання ТЗ на альтернативних джерелах енергії задля своєї безпеки. Так, зокрема у Королівстві Нідерландів деякі паркінги перед в'їздом встановлюють інформаційні стенди (автомобільні знаки), що забороняють в'їзд ЕА та АВП на їх територію рис. 3.1.

Однак впровадження подібних обмежень та заборон не спинять технічний прогрес та бажання людства рухатися вперед. Саме тому потрібно шукати рішення проблеми, а не уникати її. В першу чергу особовий склад аварійно-рятувальних підрозділів повинні вивчити та зрозуміти особливості розвитку, поширення та гасіння пожеж в ЕА та АВП, ознайомитися з існуючим досвідом гасіння таких пожеж та сформулювати єдиний підхід, методіку, алгоритм запобігання та гасіння загорянь характерних для ТЗ на альтернативних джерелах енергії.

3.1. Статистика виникнення пожеж електромобілів та їх наслідки

Порівняно незначна кількість ЕА на сьогодні в світі створює дефіцит статистичних даних та інформації стосовно кількості надзвичайних ситуацій (пожеж, дорожньо-транспортних пригод, тощо) з залученням або безпосередньою участю цих автомобілів. Лише незначна кількість випадків загорянь чи пожеж спричинених ЕА потрапляє в засоби масової інформації та широко обговорюється в суспільстві та й ті поодинокі випадки стають загальновідомими лише завдяки розвиненим на сьогодні соціальним мережам або тематичним групам в інтернеті.

Питання ведення статистики загорянь ЕА все ж залишається актуальним. Однак незважаючи на малу кількість офіційно зафіксованих випадків загорянь ЕА [47] вже сьогодні можна сформулювати основні причини загорянь (грунтуючись на 25 випадках займання ЕА).

Таблиця 3.4

Причини загоряння ЕА

Самозаймання (некоректна експлуатація ТЗ)	Несправність програмного забезпечення та зарядного устаткування	Механічне пошкодження батареї/ ДТП	Невідповідність, відсутність правильного з'єднання електропроводки/ Ремонтні роботи, що призвели до пожежі
Кількість проаналізованих випадків			
12	4	8	1
1. Їзда на швидкісних режимах; 2. Неправильна експлуатація акумуляторної батареї (повне розрядження); 3. Потрапляння вологи в акумуляторну батарею; 4. Несправність системи охолодження акумуляторної батареї внаслідок недотримання регламенту ТО.	1. Пошкодження або некоректна робота зарядного пристрою; 2. Некоректна робота програмного забезпечення; 3. Некоректна робота (відмова) запобіжників.	1. ДТП; 2. Пошкодження акумуляторної батареї внаслідок наїзду на перешкоду.	1. Халатність (людський фактор) під час ремонтних робіт (Використання не оригінальних з'єднань та елементів).

Таблиця 3.1 показує лише вже зведену кількість зафіксованих випадків загорянь ЕА та причини їх виникнення для узагальнення даних, більш детальна характеристика (рік, марка авто тощо) цих пожеж представлена в Додатку 1. Однак завдячуючи розширеним звітам, що є в загальному доступі [48, 49, 50] ми можемо ознайомитися з детальним аналізом дій пожежно-рятувальних підрозділів задіяних в ліквідації загорянь ЕА для визначення подальшої тактики гасіння подібних пожеж.

3.1.1. Опис пожеж електроавтомобілів

Лейк-Форест, Каліфорнія, серпень 2017 року. У п'ятницю, 25 серпня 2017 року, о 18:17, спортивний позашляховик Tesla X 2016 року, з водієм та одним пасажиром, їхав житловою вулицею зі швидкістю 130 км/год. Водій не впорався з керуванням виїхав з дороги та врізався у відкритий гараж (рис.3.2.) та припарковану в ньому порожню машину. Внаслідок зіткнення водій та пасажир отримали травми, однак їхньому життю нічого не загрожувало, автомобіль загорівся внаслідок чого пожежа охопила припаркований автомобіль в гаражі та саму будівлю гаража.



Рисунок 3.2 – Фото місця події та процесу гасіння пожежі
(Каліфорнія, серпень 2017 року)

Початкові дії рятувальників. Сигнал тривоги на пункт зв'язку частини поступив о 18:17, перший оперативно-рятувальний підрозділ прибув о 18:25. Штаб на пожежі створили о 18:28 по прибутті на місце події старшого керівного складу. Підрозділи, що прибули на місце події, в найкоротші терміни подали водяні стволи на гасіння пожежі. До 18:44 пожежа була локалізована, спостерігалися незначні осередки загорянь в приміщенні гаража та на даху. Зважаючи на небезпеку обвалу перекриття гаража пожежники не мали змоги повноцінно провести догашування осередків займання та розбір конструкцій, охоплених полум'ям. Про ліквідацію пожежі повідомили о 19:00. Однак після короткого проміжку часу під днищем електроавтомобіля з'являлися проблиски полум'я які неодноразово утворювалися знову після їх повторної ліквідації.

Станом на 19:17 до місця події прибув автомобільний евакуатор з допомогою якого було проведено ряд заходів із розбирання конструкцій та відбуксировано сам електроавтомобіль. Після чого було проведено оцінку джерела повторного загоряння електроавтомобіля, яким виявилася акумуляторна батарея автомобіля, яку повторно загасили. О 20:04 на електроавтомобілі, розташованому на безпечній відстані від особового складу аварійно-рятувальних підрозділів та прилеглих будівель і споруд, загорання акумуляторної батареї відновилося, пожежу повторно ліквідували. За 45 хвилин (протягом цього часу проводилися заходи із розбирання та проливання конструкцій приміщення гаража) електроавтомобіль почав виділяти густий білий дим та знову відновилося горіння (факельне, іскристе горіння, як описували очевидці). Подача вогнегасного засобу (на автомобіль) здійснювалася з витратою 12,6 л/с, але це не дало бажаного ефекту, таким чином було прийнято рішення, щоб продовжувалося вільне горіння автомобіля в безпечному місці до моменту самовигорання. Після зменшення інтенсивності горіння автомобіля було вирішено припідняти автомобіль використовуючи евакуатор на кут близько 45° відносно поверхні земля та здійснити подачу вогнегасного засобу (води) безпосередньо на акумуляторну батарею з максимальною витратою в 37 л/с впродовж 45 хвилин, щоб максимально охолодити акумулятор. Аж тоді горіння припинилося.

О 22:40 викликали додатковий евакуатор (який прибув о 23:09), для транспортування автомобіля на автомайданчик. Поки позашляховик завантажували на евакуатор, він знову почав виділяти

дим, і вогонь відновився. Таким чином виникла необхідність опустити автомобіль назад на асфальт та відновити гасіння. Під час розвантаження евакуатора водій отримав незначні опіки кінцівок оскільки елементи керування розташовувалися в безпосередній близькості до палаючого автомобіля.

Після чергового охолодження батареї та припинення горіння позашляховик відбуксировали з місця події о 00:21, приблизно через 6 годин після аварії.

Під час вивантаження автомобіля на автомайданчику позашляховик почав знову виділяти дим однак без подальшого горіння, через деякий час дим припинився. Позашляховик на майданчику розмістили якомога далі від інших транспортних засобів та будівель, приблизно на відстані 12 – 6 метрів. Згідно з журналом буксирування, робота була завершена о 01:15.

Таким чином пожежу остаточно ліквідували.

За результатами опитування слідчими особового складу, що брав участь у гасінні пожежі, було відібрано пояснення в яких було відображено таке:

– з огляду на відсутність практики гасіння подібних пожеж особовий склад охарактеризував пожежу як «дуже складну»;

– для успішного гасіння пожежі особовий склад був змушений залучати додаткові літературні джерела та шукати додаткові інструкції в Інтернеті;

– весь час особовий склад був змушений використовувати апарати на стисненому повітрі оскільки їдкий дим та продукти згорання не давали працювати без залучення індивідуальних засобів захисту органів дихання;

– на жаль тактика вичікування та повного вигорання пожежного навантаження не спрацювала оскільки існувала загроза, що пожежа продовжиться на довгі години, а продукти горіння змусять провести евакуацію мешканців прилеглих будівель;

– два члени особового складу задіяних в ліквідації пожежі, отримали легкі отруєння внаслідок вдихання продуктів горіння;

– загалом на гасіння пожежі було витрачено близько 75 тисяч літрів води.

Огляд транспортного засобу після пожежі. Протягом 6 – 7 вересня 2017 р. слідчими було оглянуто транспортний засіб (рис.3.3.) його акумуляторну батарею на автомобільному майданчику та місце виникнення пожежі.



Рисунок 3.3 – Фотофіксація огляду днища автомобіля Tesla X 2016 під час огляду

Під час огляду автомобіля було виявлено значні механічні пошкодження транспортного засобу. Силові кабелі високої напруги перебували безпосередньо в зоні дії полум'я внаслідок чого неможливо було встановити напевно чи мали можливість пожежники перед початком проведення гасіння відключити їх.

При огляді автомобіля було виявлено значні пошкодження днища та безпосередньо правої секції акумуляторної батареї (рис.3.3.). Імовірно під час наїзду автомобіля (на високій швидкості) на перешкоду відбулося зміщення автомобільного колеса разом з гальмівним диском та іншими технічними елементами трансмісії, що призвело до пошкодження та зміщення модулів акумуляторної батареї та її елементів живлення. Окремі елементи живлення акумуляторної батареї були виявлені на місці пожежі.

Цікавим виявився той факт, що незважаючи на те, що більше 80% модуля акумуляторної батареї вигоріло решта модулів залишилися практично неушкодженими дією високих температур. Всі клапани надлишкового тиску мали ознаки видалення продуктів згорання, а вентиляційні отвори в передній частині батареї повністю вигоріли.

США, Каліфорнія, березень 2018 року. 23 березня 2018 року о 9:27 ранку позашляховик Tesla Model X 2017 року їхав по автостраді у окрузі Санта-Клара, штат Каліфорнія. Позашляховик в'їхав у

бетонний відбійник, що розділяв смуги руху на швидкості 114 км/год. Після зіткнення автомобіль протаранив ще два автомобілі та загорівся. Водій помер від отриманих травм на місці події.

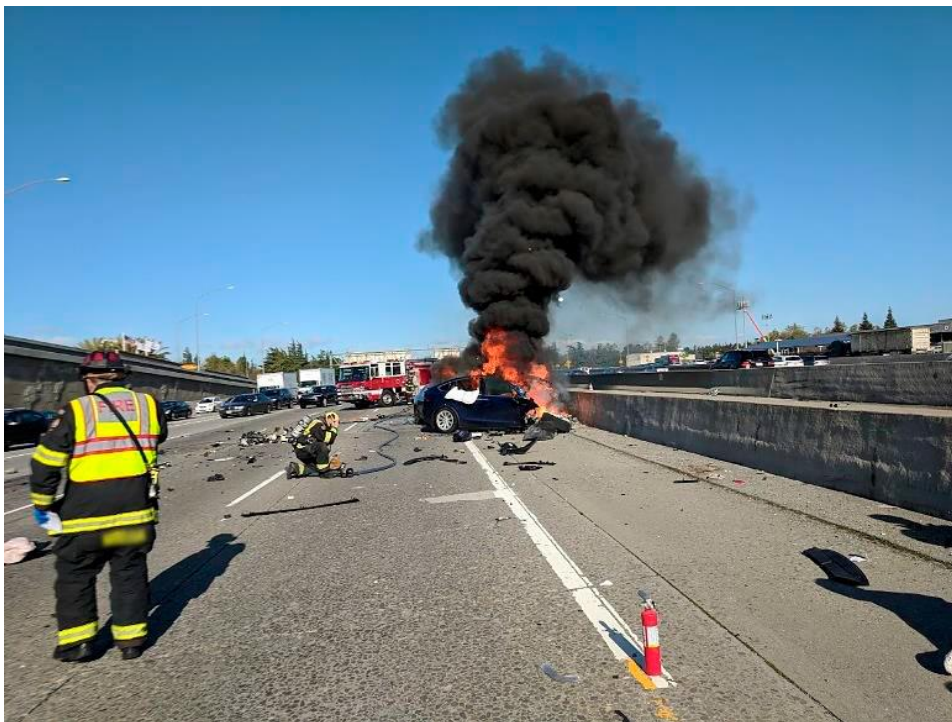


Рисунок 3.4 – Загальна фотографія місця події
(Каліфорнія, березень 2018 року)

Виклик до місцевих рятувальників поступив о 9:28 ранку. Через три хвилини оперативно-рятувальний підрозділ Маунтін-В'ю скерував до місця події три розрахунки на АЦ, один аварійно-рятувальний автомобіль та одну швидку допомогу для надання медичної допомоги імовірним постраждалим.

Пожежна техніка та рятувальні підрозділи прибули в проміжку між 9:37 до 9:40 ранку. Патрульна поліція долучилася до проведення аварійно-рятувальних дій о 9:46 ранку.

Пожежу на транспортному засобі вдалося ліквідувати швидко, використовуючи воду зі змочувачем (суміш води та піни). За попередніми підрахунками на безпосереднє гасіння автомобіля знадобилося близько однієї хвилини та загалом 750 літрів води. Після того, як полум'я було ліквідовано, лунали періодичні шуми супроводжувані димом, що спонукало пожежників подавати більше води. Під час гасіння пожежі в передній частині автомобіля спостерігалися електричні розряди, які залишалися і після ліквідації полум'я.

Наявність електричних розрядів та постійного іскріння високовольтного обладнання транспортного засобу надавала змогу рятувальникам провести повноцінний розбір та проливку конструкцій автомобіля. Після консультації з представниками заводу виробника автомобіля було прийнято рішення очікувати прибуття інженерів заводу-виробника транспортного засобу (аварія сталася недалеко від штаб-квартири виробника та його заводу) для оцінки умов роботи та надання рекомендацій щодо подальших дій рятувальників. До прибуття експертів була дана загальна рекомендація триматися якнайдалі від автомобіля для забезпечення особового складу оперативно-рятувальних підрозділів від ураження електричним струмом.

Станом на 12:30 на місце події прибули два інженери Tesla. Вони частково видалили пошкоджені блоки та елементи акумуляторної батареї, інші компоненти батареї та помістили їх у ємність попередньо заповнене водою. Подальші дії з видалення частин акумуляторної батареї автомобіля були небезпечними оскільки значна кількість модулів батареї була неушкоджена та була заряджена.

Далі було прийнято рішення евакуювати автомобіль на автомайданчик евакуатором, попередньо встановивши автомобіль на дерев'яну обрешітку для запобігання ураженню струмом. За рекомендаціями інженерів пожежна автоцистерна супроводжувала евакуатор до місця призначення. Позашляховик завантажили на евакуатор, місце події було очищено о 15:05.

Позашляховик було доставлено на автомайданчик о 16:17. За рекомендаціями інженерів компанії Tesla транспортний засіб було розміщено якнайдалі від інших автомобілів на майданчику та від займистих речей, хоча рекомендація була однозначною мінімум 15 метрів. За 20 хвилин після розміщення авто на автомайданчику охоронець був змушений викликати пожежників оскільки авто почало видавати дивні звуки та димітися. Пожежна автоцистерна прибула о 16:46. Пожежники розпочали обстеження автомобіля на відстані з використанням пожежних тепловізорів та не вживали ніяких заходів з гасіння. Так продовжувалося до 17:20 аж до моменту припинення виділення продуктів згорання та сторонніх звуків.



Рисунок 3.5 – Фотографія з камери відеонагляду з фіксації процесу нічного гасіння електроавтомобіля на автомайданчику

Однак за 5 днів о 19:01 28 березня охоронець автостоянки повідомив про повторне загорання автомобіля. Як виявилось пізніше, того ж таки дня слідчі проводили огляд автомобіля (вилучали деяке обладнання) під час якого стояли на ньому, безпосередньо в місці розміщення акумуляторної батареї.

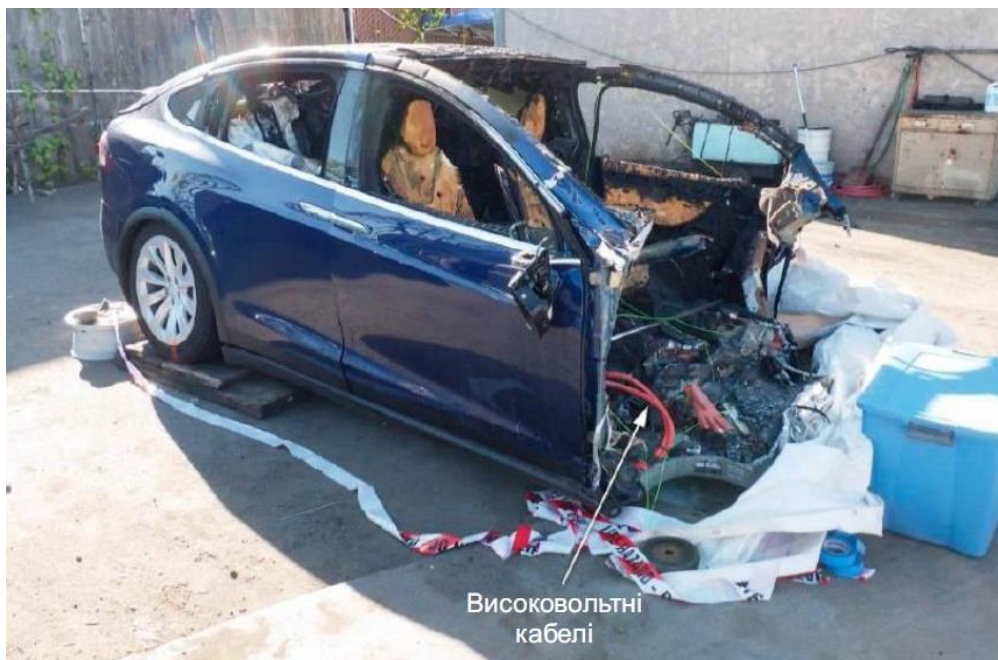


Рисунок 3.6 – Загальна фотографія ступеня пошкодження автомобіля з оголеним проводом високої напруги

Пожежники прибули о 19:09 і повідомлялося про пробіски полум'я висотою 20-30 см, що виходило з правої передньої частини автомобіля. Пожежники загасили вогонь, використовуючи воду та піну.

Загалом на гасіння було витрачено близько 2700 літрів води протягом 30-40 хвилин однак це не дало бажаного результату, тільки після використання повітряно-механічної піни горіння та виділення продуктів горіння припинилося (о 20:10, приблизно через 5 хвилин після подачі піни). Остаточну ліквідацію пожежі завершили о 21:50. Загалом для ліквідації горіння автомобіля, враховуючи два випадки загорання, було витрачено близько 5300 літрів води.

Слідчі НАБТ (Національного агентства США з безпеки на транспорті) та інші представники зацікавлених державних органів оглянули позашляховик 27 та 28 березня 2018 року. За результатами попереднього огляду комісія прийняла рішення провести додатковий огляд автомобіля 6 квітня 2018 року з залученням представників автовиробника та пожежників, метою якого було виявлення шляхів повного знеструмлення акумуляторної батареї автомобіля та ліквідації небезпеки враження електричним струмом.

Інженери Tesla намагалися здійснити демонтаж акумуляторної батареї однак через значні пошкодження деяких її елементів та наявність оголених силових кабелів цього не вдалося. Додатково інженери намагалися здійснити саморозрядження неушкоджених частин батареї, однак і ця спроба не вдалася. Попри на численні спроби знизити електричний заряд залишків авто та силових елементів автомобіля бажаного ефекту досягнуто не було.

Західний Голлівуд, Каліфорнія, червень 2018. У п'ятницю, 15 червня 2018 року, близько 17:30 автомобіль Tesla Model S 2012 року їхав міською вулицею в Західному Голлівуді, округ Лос-Анджелес, штат Каліфорнія. Інші автомобілісти побачили, як із машини виходить дим, і дали знати водієві. Водій зупинився біля узбіччя та покинув транспортний засіб, який потім загорівся. Водій не постраждав.



Рисунок 3.7 – Загальна фотографія пожежі електроавтомобіля Tesla Model S 2012 (Західний Голлівуд, Каліфорнія, червень 2018р)

Сигнали про пожежу був зафіксований о 17:38, пожежний розрахунок прибув на місце о 17:40. Першочергово пожежники загасили полум'я використовуючи повітряно-механічну піну та від'єдали живлення високовольтних кабелів. Після зникнення відкритого полум'я та іскріння з підкапотного простору автомобіля все ще йшов дим рис.3.8.

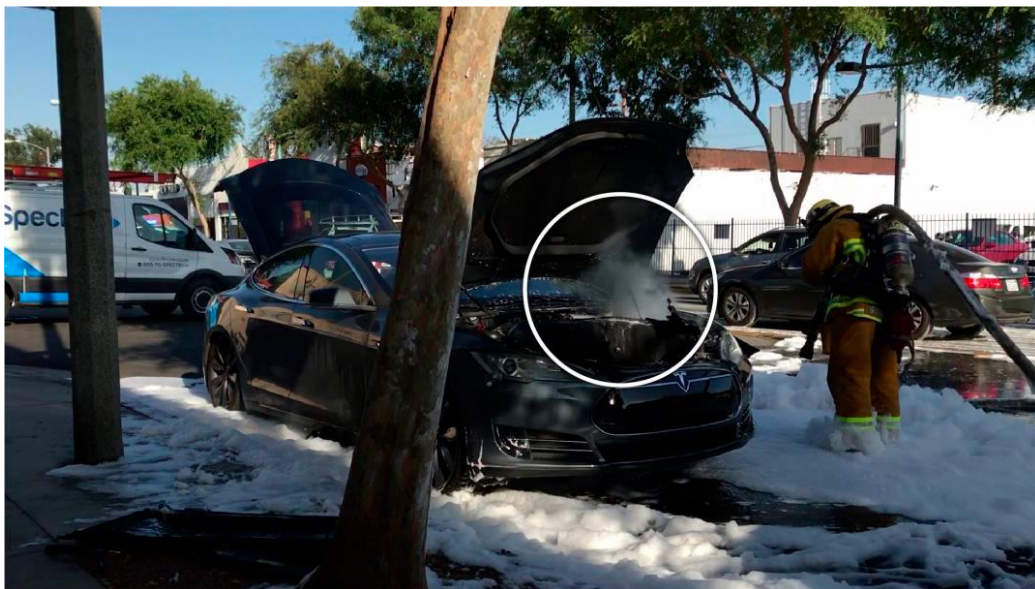


Рисунок 3.8 – Загальна фотографія гасіння загорання Tesla Model S 2012

Таким чином було прийнято рішення здійснювати додаткове охолодження та прогашування автомобіля. Загалом подачу води здійснювали протягом 30 хв та затратили близько 1135 літрів води.

Намагаючись дістатися місця займання, щоб ефективніше подати вогнегасні засоби (воду та піну) пожежники змушені були демонтувати ліве переднє крило та капот використовуючи спеціальний аварійно-рятувальний інструмент.

За свідченнями керівника гасіння він був здивований тим фактом, що після знеструмлення основних силових кабелів бортовий комп'ютер (центральний дисплей) автомобіля все ще працював. Хоча він був вже знайомий з тактикою гасіння та типовою будовою електроавтомобілів, оскільки проходив тренінги з їх гасіння.

Після того, як полум'я було загашено дим продовжував йти з-під автомобіля. Власник зателефонував в службу підтримки виробника транспортного засобу, який пояснив, що центральний дисплей живиться окремо від додаткового 12 вольтного акумулятора, який не пов'язаний з основною акумуляторною батареєю. Щодо зупинення виділення продуктів горіння, то рекомендація була однозначна – продовжувати охолоджувати акумуляторну батарею до повного припинення виділення продуктів згорання.



Рисунок 3.9 – Акумуляторна батарея Tesla Model S 2012 під час проведення аналізу причин займання автомобіля

По завершенні гасіння та остаточної ліквідації пожежі транспортний засіб було транспортовано на автомайданчик, звідки через деякий час представники виробника відбуксировали його в свій дослідно-випробувальний центр для подальшого аналізу та детального огляду.

Для аналізу причин займання автомобіля було знято акумуляторну батарею. Подальший огляд батареї показав, що всі модулі акумулятора автомобіля неушкоджені та відсутні будь-які ознаки механічного пошкодження. Лише один блок з 16 (а саме 14) має незначні ознаки термічного впливу. Подальший аналіз причин займання автомобіля не дав змоги остаточно визначити причини пожежі, все що було визначено фахівцями та слідчими – це незначні отвори на місцях під'єднання силових клем та модулів батареї, що утворилися внаслідок виділення продуктів згорання та полум'я. Остаточних причин пожежі так і не оприлюднено.

3.2. Аналіз факторів пожежної небезпеки електроавтомобілів

Грунтуючись на представлених вище статистичних даних загорянь електроавтомобілів та їх наслідків, результатах досліджень пожежної небезпеки елементів живлення можна провести послідовний аналіз факторів пожежної небезпеки подібних транспортних засобів.

Наявність горючих матеріалів.

Для забезпечення функціонування та нормальної роботи електроавтомобіля використовуються елементи живлення (детальний аналіз і опис яких представлений вище), що й будуть безпосередніми учасниками процесу горіння.

Разом з тим елементи оздоблення салону автомобіля (сидіння, килимки, оббивка дверей та стелі) в процесі розвитку автомобільної пожежі будуть однозначно сприяти її розвитку та потужності.

Наявність великої кількості електропроводів сприятиме розвитку пожежі і буде також відноситися до горючих матеріалів.

Можливість утворення вибухонебезпечної суміші.

Оскільки в електроавтомобілях відсутні легкозаймисті речовини можливість утворення вибухонебезпечної концентрації в повітрі виключаємо. Однак, існують випадки, що під час горіння батарей електроавтомобілів спостерігаються хлопки та детонації, схожі за вибухи. Хоча, відповідно до статистичних даних, під час горіння електроавтомобілів таких випадків не спостерігалось, а відбувалося лише динамічне горіння з подальшим запаленням продуктів горіння.

Джерела запалювання.

Згідно з проведеним аналізом статистичних даних та наукових досліджень, основними джерелами запалення можуть бути:

1) короткі замикання електропроводки внаслідок неправильного з'єднання проводів або їх пошкодження;

2) механічне пошкодження елементів живлення батарей і як наслідок неправильна термохімічна реакція з виділенням теплоти та окисника. Механічне пошкодження можливе за умови зіткнення автомобіля з перешкодою (іншим автомобілем) або наїздом авто на предмет;

3) перевищення заряду елементів живлення (надмірне заряджання). Подібне може трапитися за умови порушення правильної роботи зарядних пристроїв, стрибків напруги електромережі не обладнаної відповідними запобіжниками;

4) самозагорання елементів живлення через неправильну систему розподілу електроенергії чи через всі вище згадані причини.

Основні місця виникнення пожежі.

Відповідно до згаданих вище факторів пожежної небезпеки електроавтомобілів, найімовірнішим місцем виникнення пожежі в електроавтомобілів буде акумуляторна батарея. Залежно від її розміщення, а не переважно в днищі автомобіля, і буде визначатися місце горіння.

Умови, що ускладнюють гасіння.

Основною умовою що ускладнюватиме гасіння електроавтомобіля буде складність доступу до акумуляторної батареї автомобіля. Відповідно до конструктивних особливостей акумуляторної батареї, імовірний елемент живлення, що призвів до загорання автомобіля, розміщатиметься за декількома шарами металевих пластин, захисними елементами та декоративним оздобленням автомобіля.

За умови неможливості чи незнання конструкції та алгоритму дій під час гасіння електроавтомобіля існує імовірність ураження електричним струмом.

Відповідно до результатів досліджень гасіння електроавтомобіля потребуватиме значної кількості вогнегасної речовини (води) для проведення успішного гасіння. Через це керівник гасіння пожежі може мати проблеми з безперебійною подачею води під час гасіння подібної пожежі.

3.3. Способи та тактика гасіння електроавтомобілів

Проведений аналіз основних небезпек акумуляторної батареї, що використовуються для живлення електрокарів показав, що:

- під час пожежі електрокара виділяється значна кількість небезпечних хімічних речовин, зокрема також можлива наявність HCN та HF, що зобов'язує рятувальників використовувати засоби індивідуального захисту органів дихання;

- гасіння акумуляторної батареї потребує значної кількості води (від 1200 літрів і більше) і також можливі самозаймання після проведення гасіння;

- явище повторного самозаймання акумуляторної батареї пояснюється самодостатністю хімічного процесу, що проходить всередині літій-іонного акумулятора. Тобто під час порушення нормальної роботи літій-іонного акумулятора та підвищення в ньому температури понад 74 °C вивільняється велика кількість окисника, що доповнює класичний трикутник горіння. Саме тому використання повітряно-механічної піни під час гасіння акумуляторної батареї електрокарів, як зрештою інших засобів, вогнегасна дія яких ґрунтується на принципі виключення окисника з зони горіння, є неефективним.

Отже основним вогнегасним засобом для гасіння електроавтомобілів, у випадку займання акумуляторної батареї, будуть розпилені струмені води. Відповідно до своїх властивостей, вода буде максимально забирати теплоту, що виділятиметься, і таким чином знижуватиме загальну температуру. Однак, для успішного гасіння цього може бути замало, оскільки інтенсивність подачі води має бути досить високою та її об'єм є теж суттєвим.

Беручи до уваги закордонний досвід гасіння пожеж в електромобілях, а саме: в Нідерландах, Бельгії, Австрії та інших країнах Європейського Союзу, за попередньо розробленими алгоритмами та розкладом виїзду автомобілів на гасіння подібних пожеж залучаються додаткові сили і засоби.

Для прикладу, для гасіння електроавтомобіля в Бельгії (рис.3.10.) було залучено дві автоцистерни (для забезпечення безперебійного водопостачання), додаткову ємність для занурення автомобіля у воду та автопідймач (кран).

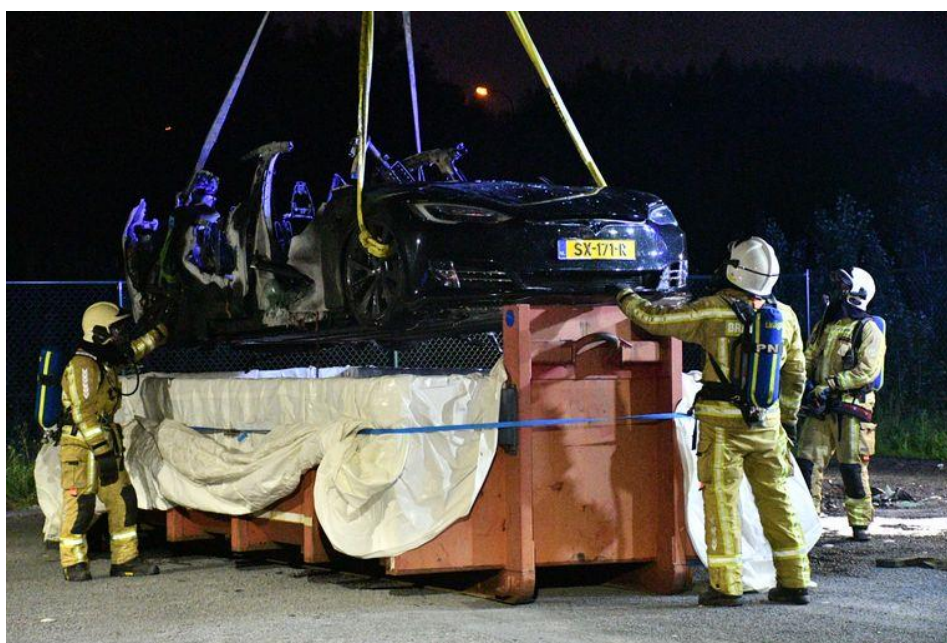


Рисунок 3.10 – Проведення гасіння автомобіля «Tesla» в Бельгії

Аналогічна методика проведення гасіння електроавтомобіля спостерігалася в Нідерландах (рис.3.11), коли у виставковому центрі раптово спалахнув автомобіль «BMW».



Рисунок 3.11 – Проведення гасіння автомобіля «BMW» в Нідерландах

З огляду на представлені випадки гасіння пожеж електроавтомобілів, зазначених вище, особливості розвитку горіння акумуляторних батарей електрокарів, небезпечні фактори пожежі та необхідну кількість вогнегасного засобу для забезпечення успішного гасіння, виникає необхідність уточнення тактики гасіння електроавтомобілів з подальшим коректуванням пожежно-технічних розрахунків та алгоритму дій оперативно-рятувальних підрозділів ДСНС України.

На етапі розробки планів та карточок пожежогасіння в оперативно-рятувальних підрозділах ДСНС України [51, 52] виконується розрахунок необхідної кількості сил та засобів для гасіння імовірної пожежі. Згідно з проведеним розрахунком, КГП може спрогнозувати свої дії на випадок пожежі та дізнатися необхідну кількість вогнегасних речовин. Відповідно до особливостей об'єкта та небезпеки виникнення пожежі на ньому, керівництво оперативно-рятувального підрозділу проводить подальше відпрацювання та корегування планів та карток пожежогасіння.

Згідно з методикою розрахунку сил і засобів [52] та довідниковими даними [53], під час проведення розрахунку потрібної кількості сил і засобів необхідно зважати на інтенсивність подачі вогнегасного засобу на гасіння пожежі, оскільки цей параметр безпосередньо впливатиме на необхідну кількість сил та засобів для гасіння пожежі.

Як зазначалося раніше, у випадку гасіння акумуляторної батареї електрокара використання повітряно-механічної піни є неефективним, саме тому основним вогнегасним засобом для гасіння електрокарів має бути розпилена вода та водні розчини. Відповідно до довідникових показників, інтенсивність подачі води під час гасіння транспортних засобів, а саме автомобілів на відкритих стоянках, становить $0,1 \text{ л}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$. Однак, зважаючи на результати експериментальних даних та практичний досвід гасіння електрокарів, цей показник потребує коригування.

Ґрунтуючись на результатах проведених експериментів (табл.2.2), було визначено середню витрату води (л/с) на гасіння макета електромобіля зі справжньою акумуляторною батареєю, яка становить 7,6 л/с (табл.3.2).

Таблиця 3.2

Результати кількості витраченої води під час гасіння акумуляторних батарей електромобіля

Вид батареї / серія тестів	Час, затрачений на гасіння, хв	Час подачі води, хв	Загальна кількість води, л	Витрата води, л/с
A1	5,88	2,20	1040	7,8
A2	36,60	3,53	1673	7,8
A3	49,67	9,77	4012	6,8
B1	26,52	14,03	6639	7,8
B2	37,60	21,37	9989	7,7
B3*	13,88	9,32	4410	7,8
Середнє значення витрати води з всієї серії дослідів, л/с				7,6

Отримавши середнє значення витрати води на гасіння електрокара (макета автомобіля) ми можемо тепер визначити безпосередньо інтенсивність витрати води з розрахунку подачі на 1 м^2 , який становитиме близько $1,2 \text{ л/(с}\cdot\text{м}^2)$. за умови, що повна площа горіння електрокара становитиме 6 м^2 . Загальна площа електромобіля прийнята з розрахунку середніх показників звичайного автомобіля, а саме: ширина – 2 м та довжина – 3 м. Отримане значення інтенсивності подачі та необхідність значної кількості води можна також підтвердити значним практичним досвідом гасіння подібних пожеж та безпосередніми рекомендаціями інструкцій заводів-виробників.

Порівнявши отримане значення інтенсивності подачі води на гасіння з довідниковим стає цілком очевидним, що реальні потреби у забезпеченні водою перевищують нормативні у 12 разів.

3.4. Рекомендації з гасіння електроавтомобілів

Розглядаючи первинні дії керівника гасіння пожежі (КГП) з прибуттям на місце пожежі (горіння електрокара) 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 електрокарів розміщення силових кабелів, акумуляторних батарей тощо може суттєво відрізнятись. Правильне визначення розміщення основних елементів електромобіля створить сприятливі та безпечні умови для подальшої ліквідації пожежі та рятування постраждалих.

2. За можливості, перемістити автомобіль в безпечне місце або забрати припарковані поруч транспортні засоби, майно тощо.

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

4. Обов'язково відключити системи електроживлення електроавтомобіля. 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.

5. 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. Під час проведення гасіння у разі необхідності потрібно проводити заходи із запобігання ураженню електричним струмом особового складу шляхом застосувань діелектричного комплекту, заземлення пожежного ствола. По можливості для гасіння необхідно використовувати сучасні перекивні пожежні стволи (Protect, TFT тощо) з можливістю подачі розпиленого струменя води та регульованої витрати (від 3,7 до 7,4 л/с).

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

7. Після ліквідації пожежі необхідно розібрати акумуляторну батарею та пролити її розпиленими струменями води. Розбирання акумуляторної батареї необхідно здійснювати з використанням діелектричного комплекту та спеціального моторизованого інструменту. Можливе використання тепловізора для визначення найбільш нагрітих ділянок для подальшого їх охолодження.

8. Після проведення всіх робіт потрібно попередити відповідні служби, власника про можливість повторного самозаймання автомобіля. Для запобігання подібній ситуації необхідно здійснювати постійний нагляд за електроавтомобілем 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. Відповідно, для економії часу та сил гасіння електроавтомобіля можливо 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.

Для порівняння отриманих результатів проведемо первинний розрахунок сил та засобів, необхідних для ліквідації надзвичайної ситуації, пов'язаної з займанням акумуляторної батареї електроавтомобіля та звичайного автомобіля з ДВЗ. Прийmemo що площа пожежі (S_n) становитиме 6 м^2 .

$$Q_n^2 = S_n \cdot I_{np} = 6 \cdot 0,1 = 0,6 \quad (1)$$

$$Q_n^2 = S_n \cdot I_{np} = 6 \cdot 1,2 = 7,2 \quad (2)$$

де Q_n^2 – необхідна витрата вогнегасного засобу (води), л/с;
 S_n – площа пожежі, м^2 ; I_{np} – розрахункова інтенсивність подачі води на гасіння л/(с· м^2), для двох варіантів розрахунку.

Визначаємо кількість стволів для локалізації пожежі, шт.:

$$N_{ств}^B = \frac{Q_n^2}{q_{ств}^B} = \frac{0,6}{3,7} = 1 \quad (3)$$

$$N_{ств}^B = \frac{Q_n^2}{q_{ств}^B} = \frac{7,2}{3,7} = 2 \quad (4)$$

де $q_{ств}^B$ – мінімальна витрата з ствола «Б» при напорі 40 м.в.с, л/с.

Визначаємо фактичну витрату води на гасіння пожежі, л/с:

$$Q_{\phi} = Q_{\Phi}^{\Gamma} = (n_{ств}^B \cdot q_{ств}^B) = (1 \cdot 3,7) = 3,7 \quad (5)$$

$$Q_{\phi} = Q_{\Phi}^{\Gamma} = (n_{ств}^B \cdot q_{ств}^B) = (2 \cdot 3,7) = 7,4 \quad (6)$$

Визначаємо кількість особового складу:

$$N_{o/c} = N_{ств}^B \cdot 1 + N_{роз} \cdot 1 + N_{водії} \cdot 1 + N_{(КПП, ШТАБ)} = 1 \cdot 1 + 1 + 1 + 1 = 4 \quad (7)$$

$$N_{o/c} = N_{від}^{ГДЗС} \cdot 2 + N_{роз} \cdot 1 + N_{водії} \cdot 1 + N_{(КПП, ШТАБ)} = 2 \cdot 2 + 1 + 1 + 1 = 7 \quad (8)$$

де $N_{o/c}$ – кількість особового складу, необхідного для гасіння гасіння, чол.; $N_{ств}^B$ – кількість перекривних пожежних стволів, необхідних для гасіння, шт.; $N_{від}^{ГДЗС}$ – кількість ланок газодимозахисної служби, шт.; $N_{роз}$ – кількість розгалужень, шт.; $N_{водії}$ – кількість водіїв, чол.; $N_{(КПП, ШТАБ)}$ – кількість керівників, чол.

Визначаємо кількість відділень

$$N_{від} = \frac{N_{o/c}}{4} = \frac{4}{4} = 1 \quad (9)$$

$$N_{від} = \frac{N_{o/c}}{4} = \frac{7}{4} = 2 \quad (10)$$

де $N_{від}$ – кількість відділень, шт.

Виходячи з можливостей автоцистерни щодо вивозу особового складу, кількості відділень необхідних для залучення ліквідації загоряння автомобіля (електроавтомобіля), можна прирівняти до кількості необхідних машин (автоцистерн або автомобілів першої допомоги).

$$N_m = N_{від} \quad (11)$$

N_m – кількість відділень, шт.

Отримані розрахунки зведемо в таблицю (табл.3.3)

Таблиця 3.3

Результати розрахунку основних параметрів пожежогасіння електроавтомобіля за умови різних варіантів інтенсивності подачі вогнегасного засобу

Параметр	Варіант розрахунку за умови $I_{np} = 0,1$ л/(с·м ²)	Варіант розрахунку за умови $I_{np} = 1,2$ л/(с·м ²)
Q_u^e	0,6	7,2
$N_{ств}^B$	1	2
Q_ϕ	3,7	7,4
$N_{o/c}$	4	7
$N_{від}$	1	2
N_m	1	2

Згідно з отриманими результатами та наведеним алгоритмом дій КГП під час гасіння електроавтомобіля, можна стверджувати, що кількість необхідних сил та засобів для ліквідації подібної надзвичайної ситуації у порівнянні із типовим загоранням автомобіля на ДВЗ має бути збільшена мінімум удвічі [54].

В додатках 3-5 наведено типові (рекомендовані) блок-схеми алгоритму дій рятувальників під час ліквідації НС на ЕА, також схеми розміщення сил та засобів під час гасіння загорянь.

3.4.1. Інженерно-технічні рішення для гасіння електроавтомобілів

Відповідно до представлених випадків гасіння електроавтомобілів в Нідерландах та Бельгії можна однозначно стверджувати, що найбільш ефективним та енергоефективним способом гасіння подібних транспортних засобів буде їхнє занурення під воду. Однак цей метод має ряд недоліків основним з яких є затрати часу на наповнення водою резервуара, повне пошкодження автомобіля тощо.



Рисунок 3.12 – Устаткування для гасіння електроавтомобілів (розробка Королівства Данії)

Оскільки, в переважній більшості, відповідно до конструктивних особливостей та статистики пожежогасіння електроавтомобілів джерело загоряння розміщується під автомобілем, датським колегами було розроблено і запропоновано власний підхід до гасіння електроавтомобілів (рис.3.12).

Запропонована установка складається з контейнера, що вивозиться вантажним автомобілем з розвантажувально-навантажувальним механізмом. Контейнер обладнаний системою паралельних перфорованих трубопроводів, розміщених по центру на відстані 1 метра один від одного. Для забезпечення водою трубопроводів контейнера використовується додаткова автоцистерна, встановлена на пожежний гідрант. Загальна інтенсивність подачі води не повинна бути нижчою за $1,2 \text{ л}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$. Для убезпечення персоналу та навколишнього середовища контейнер обладнаний

механізмами, що забезпечують його повне закриття та ізоляцію. Палаючий електроавтомобіль переміщується в контейнер за рахунок електролебідкою, розташованою в контейнері.

Запропоноване рішення дає змогу насамперед в першу чергу мінімізувати пошкодження самого електроавтомобіля та зменшити ризик впливу продуктів горіння та небезпечних факторів пожежі на особовий склад, цивільне населення, об'єкти нерухомості.

3.5. Рекомендації з гасіння АВП

Враховуючи попередньо представлений аналіз небезпеки АВП та тактики гасіння ЕА цілком можливо вже зараз сформувавши чіткі та зрозумілі підходи щодо тактики гасіння АВП. Оскільки будова АВП на 70% схожа з ЕА то очевидно, що й тактика гасіння АВП практично нічим не відрізнятиметься від ЕА, однак наявність резервуарів з воднем під високим тиском автоматично підвищує ризики додаткового ураження та травмування як для звичайних людей, так і для рятувальників. З огляду на це першочерговий аналіз та порядок дій рятувальників буде відрізнятися від тактики гасіння ЕА оскільки сценаріїв розвитку подій може бути набагато більше, як і наслідків від них.

Зважаючи на ризики та можливі сценарії розвитку пожежі АВП рятувальники повинні дотримуватися принципів вирішальних дій на пожежі які, якщо узагальнити, можна звести до трьох основних відповідно до їх важливості:

- недопущення людських втрат;
- недопущення матеріальних втрат;
- недопущення погіршення оперативної обстановки.

Тактику дій оперативно-рятувальних підрозділів можна умовно розділити на активну та пасивну.

Активна тактика дій – швидка подача вогнегасних засобів з метою запобігання виникненню небезпечних явищ та процесів які надалі можуть створити небезпеку життю та здоров'ю людей, руйнування конструкцій.

Переваги: можливість ліквідації пожежі з залученням незначної кількості особового складу, відсутність необхідності здійснювати додаткові заходи із евакуації населення тощо.

Недоліки: створення небезпеки для особового складу оперативно-рятувальних підрозділів.

Пасивна тактика дій – обмеження впливу небезпечних чинників пожежі, що створює умови для безпечної евакуації населення, матеріальних цінностей, уникнення впливу небезпечних факторів пожежі на будівлі та споруди.

Переваги: практично відсутність небезпеки для особового складу.

Недоліки: необхідність залучення додаткових сил і засобів, збільшення часу на ліквідацію надзвичайної ситуації (пожежі), необхідність здійснення підготовчих заходів (евакуації, очеплення).

Повідомлення про пожежу на оперативно-диспетчерський пункт. Під час повідомлення про пожежу АВП диспетчер в обов'язковому порядку зобов'язаний (по можливості) отримати таку інформацію:

- марку транспортного засобу, рік випуску, тип палива (оскільки по прибутті можуть виникнути складнощі з ідентифікацією транспортного засобу через термічні та механічні чинники, обставин створення надзвичайної ситуації);
- характер надзвичайної ситуації (витік водню, вибух балонів з воднем, горіння водню, несправність електричної системи автомобіля, горіння акумуляторної батареї тощо)
- місце події (відкрита/надземна/підземна автопарковка, автопарковка біля масового скупчення людей, власний гараж тощо).

Отримання зазначеної інформації, а особливо даних, що стосуються безпосередньо автомобіля, дасть змогу першому керівнику гасіння пожежі (КГП) заздалегідь підготуватися до імовірної небезпеки і визначити імовірну тактику проведення аварійно-рятувальних робіт використовуючи сучасні мультимедійні можливості та розширення для планшетів і телефонів (див. п 3.4.).

Процес ліквідації будь якої НС (пожежі) можна умовно розділити на певні послідовні які можна реалізовувати як одночасно так і поступово в залежності від можливостей [12]:

1. Проведення розвідки. Дії КГП та особового складу повинні бути спрямовані на збір всієї доступної інформації, яка може вплинути на хід ліквідації НС: місце НС (будівля, відкрита

місцевість), характер НС, кількість постраждалих, загроза людям та будівлям, наявність небезпечних факторів пожежі (полум'я, температура, задимлення).

Отримання максимально доступної інформації дасть змогу КГП визначити вирішальний напрямок оперативних дій на пожежі, сформулювати та віддати необхідні розпорядження підлеглим.

2. Рятування постраждалих та евакуація людей, яким загрожує небезпека. Відповідно до результатів розвідки, а у разі необхідності – негайно (з огляду на можливість виникнення або наявність небезпечних чинників для життя та здоров'я особового складу), необхідно вжити всіх необхідних заходів для забезпечення життя та здоров'я людей, яким загрожує небезпека.

3. Проведення попереднього/повного оперативного розгортання, підготовка необхідного пожежно-технічного озброєння, вивчення/обговорення особливостей проведення аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт в зоні НС.

4. Віддача кінцевих вказівок та розпоряджень щодо визначення тактики проведення гасіння (ліквідації НС), визначення вирішального напрямку оперативних дій.

Приклад 1. На невеликій сільській дорозі горить АВП. Водій та пасажир евакуювалися та знаходяться в безпеці.

Використовуючи пожежний тепловізор КГП визначив, що йде факельне горіння водню, і чути шипіння, що свідчить про спрацювання аварійного-термічного клапана та контрольований витік водню.

Факельне горіння водню нічому не загрожує.

Тактика дій. Використовувати пасивну тактику гасіння. Закрити проїзд автодорогою в обидва напрями та чекати поки повністю не вигорить водень. По завершенні вигорання водню здійснити безпосереднє гасіння автомобіля за алгоритмом дій гасіння ЕА.

Приклад 2. АВП горить на переповненій центральній вулиці міста недалеко від 10-поверхового адміністративного будинку. За візуальними ознаками сторонніх звуків не чути. Горіння АВП продовжується 5 хвилин.

Тактика дій. Використовувати активну тактику гасіння. Закрити автодорогу в обидва напрями, очепити місце події в радіусі 100 метрів та не дозволяти нікому наблизитися.

Здійснити оперативне розгортання підрозділів на дві робочі рукавні лінії з водяними стволами типу «Protex» (на безпечній відстані) на відстані 100 метрів та розпочати охолодження та гасіння автомобіля під безпечними кутами (дивитись далі) до моменту спрацювання аварійного термічного клапана.

5. Постійний контроль за перебігом оперативної обстановки на місці НС (пожежі). Дії особового складу та КГП спрямовані на спостереження за поведінкою будівель і споруд за умови впливу небезпечних факторів пожежі на будівельні конструкції, проведення аналізу імовірного поширення пожежі та погіршення оперативної обстановки на пожежі, унеможливлення подальшого поширення пожежі, впливу небезпечних факторів пожежі. КГП та інші посадові особи на пожежі слідкують за наявністю необхідної кількості вогнегасних речовин, аварійно-рятувального та спеціального обладнання необхідних для успішної ліквідації НС.

6. Розбір та проливка конструкцій. Щоб пересвідчитися у ліквідації пожежі і запобігти повторному загоранню особовий склад по завершенню повинен провести розчищення місця події від горючих речовин, додатково пролити конструкції, що зазнали теплової дії полум'я.

7. Нагляд та спостереження за місцем пожежі. У випадку пожежі на специфічних об'єктах або, як у нашому випадку, на ЕА та АВП, існує імовірність повторного загорання через суттєвий проміжок часу. Таким чином КГП зобов'язаний за можливістю організувати потрібний нагляд або проінструктувати персонал об'єкта про необхідність додаткового нагляду та убезпечення місця можливого виникнення пожежі на певний проміжок часу.

Враховуючи описанні вище основні види небезпек, пов'язаних з АВП, можна виділити чотири імовірних сценарії надзвичайних ситуацій:

1. рятування людей з пошкодженого АВП;
2. горіння акумуляторної батареї АВП, салону;
3. факельне горіння водню;
4. витік водню під високим тиском без подальшого горіння;

Рятування людей з пошкодженого АВП. Цей сценарій розвитку подій може охоплювати такі варіанти:

- блокування постраждалого в АВП;

- отруєння, спричинене витоком водню в приміщення та, як наслідок, зменшення необхідної концентрації кисню в повітрі;
- ураження електричним струмом;
- опіки (холодні), спричиненні витоком водню.

За умови виникнення та подальшого розвитку вищезазначених варіантів подій, пропонується такий алгоритм дій оперативно-рятувальних підрозділів, наведений в табл.3.4.

Таблиця 3.4

Орієнтовна покрокова послідовність дій оперативно-рятувальних підрозділів за необхідності проведення сценарію рятування людей

Етапи	Дії	Цілі
Проведення розвідки	Оцінка оперативної обстановки	Перед початком проведення будь яких дій оцінити ризик та небезпеку для особового складу, відповідно до діючих норм правил безпеки праці. Врахувати ризик можливості вибуху водню в приміщенні. Врахувати ризик отруєння (асфіксії) внаслідок зменшення концентрації кисню в приміщенні. Врахування ризику ураження електричним струмом. Визначення моделі, марки АВП.
	Встановлення обмежень та заборон	Відключити систему вентиляції приміщення до визначення та врахування всіх обставин та небезпек; Здійснити огороження місця події в радіусі 50 метрів, провести евакуацію. Відключити електропостачання будівлі обмежити використання електроприладів та обладнання в радіусі 50 метрів.
Рятування постраждалих та евакуація людей яким загрожує небезпека		У разі витоку водню в приміщенні: – використовувати засоби індивідуального захисту органів дихання (ЗІЗОД), апарати на стисненому повітрі (АСП); – надання першої медичної допомоги постраждалим проводити за межами небезпечної зони;

		<ul style="list-style-type: none"> – стабілізація транспортного засобу. – Якщо існує ризик ураження електричним струмом: – обов'язкове використання діелектричного комплекту та необхідність проведення заземлення пожежно-технічного обладнання; – уникати контакту з проводкою автомобіля без попереднього аналізу;
Підготовчі дії, планування безпосередніх дій з ліквідації НС		<p>Підтвердити або уточнити зону небезпеки (50 м).</p> <p>Провести розвідку приміщень з використанням газоаналізатора.</p>
Віддача вказівок та розпоряджень		<p>У разі витoku водню в приміщенні:</p> <ul style="list-style-type: none"> – за можливості здійснити дії для зупинки витoku водню (перекрити вентиль, клапан, тощо); – провітрити приміщення використовуючи природну вентиляцію. Максимально відкрити вікна та двері. Використання примусової вентиляції з використанням технічних засобів (електричних, механічних) ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ; – можливо нагнітати свіже повітря з використанням гідровентилляторів з попередньо узгодженою схемою руху повітря. <p>У разі загрози ураження електричним струмом:</p> <ul style="list-style-type: none"> – відключити електроживлення АВП через штатну систему пуску автомобіля або аварійно використовуючи спеціальне обладнання, діелектричний комплект та відповідну інструкцію-схему АВП з відключення силової мережі автомобіля. Після відключення необхідно зачекати ще близько 20 хвилин щоб уникнути ураження залишковим струмом.
Умови локалізації та ліквідації НС (події)		<p>НС (подія) вважається ліквідованою за умови:</p> <ul style="list-style-type: none"> – якщо рівень кисню в приміщенні становить 20%; – якщо рівень водню в повітрі становить 0%; – відсутня небезпека ураження електричним струмом.

Горіння акумуляторної батареї АВП, салону може загрозувати резервуарам з воднем, які від дії високих температур можуть або вибухнути або здійснити аварійний випуск водню з подальшим горінням.

Найоптимальнішим та умовно безпечним сценарієм горіння АВП є горіння салону автомобіля без займання акумуляторної батареї та відсутності впливу (на момент прибуття підрозділів) високих температур на резервуари з воднем. В такому випадку не гаючи часу КГП повинен діяти відповідно до типової тактики гасіння звичайних транспортних засобів при цьому розуміючи всі можливі небезпеки, пов'язані з АВП. Одним з інноваційних методів гасіння ТЗ може бути використання вогнетривкої кошми [55] яка дає змогу в найкоротші терміни припинити горіння завдяки зменшенню концентрації кисню (рис.3.13). При цьому передбачається, що КГП, використовуючи пожежний тепловізор, проводитиме постійний аналіз ефективності такого гасіння до моменту критичного зниження температури та пересвідчення про припинення горіння.



Рисунок 3.13 – Приклад використання вогнетривкої кошми для гасіння автомобіля

Однак за умови горіння акумуляторної батареї така тактика може бути не ефективною. Таким чином, щоб запобігти погіршенню оперативної обстановки при горінні акумуляторної батареї АВП пропонується порядок дій, наведений в табл.3.5.

Таблиця 3.5

Орієнтовна покрокова послідовність дій оперативно-рятувальних підрозділів за умови горіння акумуляторної батареї АВП

Етапи	Дії	Цілі
Проведення розвідки	Оцінка оперативної обстановки	Перед початком проведення будь яких дій оцінити ризик та небезпеку для особового складу, відповідно до діючих норм правил безпеки праці. Врахувати ризик ураження електричним струмом. Визначення моделі, марки АВП.
	Встановлення обмежень та заборон	Обгородити місце події в радіусі 50 метрів, провести евакуацію. Обмежити використання електроприладів та обладнання в радіусі 50 метрів.
Рятування постраждалих та евакуація людей яким загрожує небезпека		Надання першої медичної допомоги постраждалим проводити за межами небезпечної зони. Якщо існує ризик ураження електричним струмом: – обов'язкове використовувати діелектричний комплект та необхідно провести заземлення пожежно-технічного обладнання; – уникати контакту з проводкою автомобіля без попереднього аналізу.
Підготовчі дії, планування безпосередніх дій з ліквідації НС		Підтвердити або уточнити зону небезпеки (50 м). Провести аналіз будови, технічних характеристик АВП. Стабілізувати транспортний засіб. Підготувати для гасіння порошкові або вуглекислотні вогнегасники. Здійснити попереднє оперативне розгортання у напрямку автомобіля з метою проведення гасіння та подачі перекривних водяних стволів-розпилювачів типу «Protect». Забезпечити безперебійне водопостачання.
		Здійснити гасіння пожежі: – з використанням порошкових або вуглекислотних вогнегасників на відстані не менше ніж 1 м;
Віддача вказівок та розпоряджень		

		<p>– з використанням розпиливаних струменів води (кут розпилення 30-40⁰) з відстані не менше ніж 3 метри.</p> <p>У разі загрози ураження електричним струмом:</p> <p>– відключити електроживлення АВП через штатну систему пуску автомобіля або аварійно використовуючи спеціальне обладнання, діелектричний комплект та відповідну інструкцію-схему АВП з відключення силової мережі автомобіля. Після відключення необхідно зачекати ще близько 20 хвилин, щоб уникнути ураження залишковим струмом.</p>
<p>Умови локалізації та ліквідації НС (події)</p>		<p>НС (подія) вважається ліквідованою за умови:</p> <ul style="list-style-type: none"> – припинення видимого горіння та виділення продуктів горіння; – відсутності сторонніх звуків. <p>Щоб пересвідчитися в ефективності проведення гасіння, необхідно провести огляд автомобіля з використанням пожежного тепловізора для виявлення прихованих осередків займання або місць з підвищеною температурою.</p>

Факельне горіння водню. У разі виникнення НС (події), пов'язаної з АВП одним з найнебезпечніших та імовірних сценаріїв може бути спрацювання термічного клапана та витік водню з подальшим його горінням (рис.3.14).

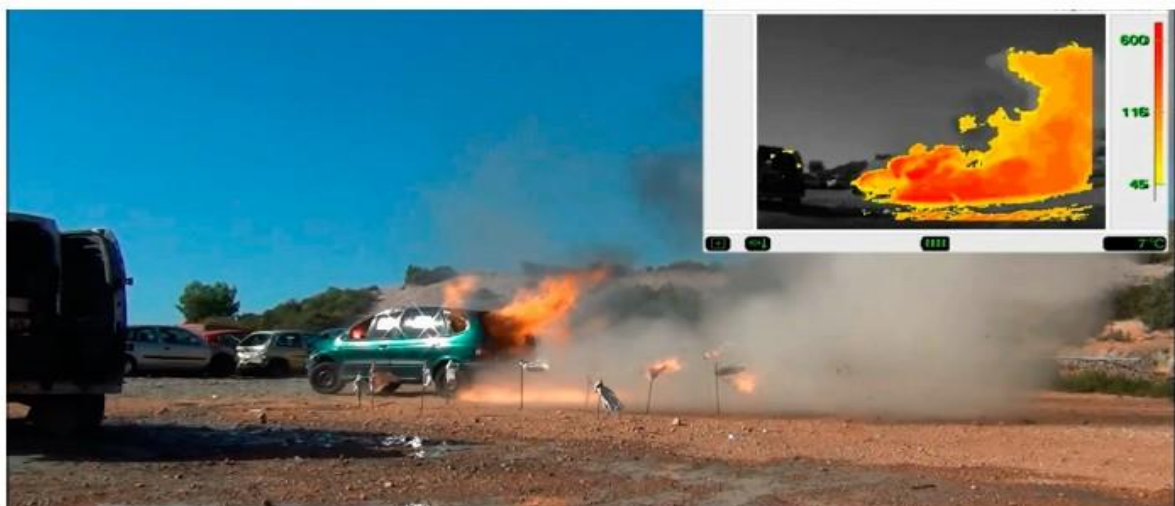


Рисунок 3.14 – Приклад горіння водню в АВП та його зображення на моніторі пожежного тепловізора

Найефективнішим методом гасіння буде контрольоване самовигорання водню якщо немає небезпеки займання сусідніх будівель і споруд. Одночасно з цим, оперативно-рятувальні підрозділи повинні здійснювати охолодження резервуарів з воднем та інших елементів ТЗ.

За необхідності наближення особового складу оперативно-рятувальних підрозділів до АВП, що супроводжується факельним горінням, необхідно використовувати стволи-розпилювачі з високою витратою (рис.3.15). Прикриваючись розпиленим струменем води (під кутом $45-50^{\circ}$) підрозділи здатні наблизитися впритул до ТЗ та провести необхідні дії: перекрити витік водню, збити полум'я з використанням порошкового вогнегасника, провести інші маніпуляції.



Рисунок 3.15 – Приклад тактичного використання стволів-розпилювачів для гасіння факельного горіння

В таблиці 3.6 пропонується загальний порядок дій для ліквідації подібної пожежі.

Таблиця 3.6

Орієнтовна покрокова послідовність дій оперативно-рятувальних підрозділів за умови факельного горіння водню

Етапи	Дії	Цілі
Проведення розвідки	Оцінка оперативної обстановки	<p>Перед початком проведення будь яких дій оцінити ризик та небезпеку для особового складу відповідно до діючих норм правил безпеки праці.</p> <p>Врахувати ризик утворення газоповітряної вибухонебезпечної суміші в суміжних приміщеннях (за умови виникнення НС в будівлі).</p> <p>Визначення моделі, марки АВП.</p>
	Встановлення обмежень та заборон	<p>Обгородити місце події в радіусі 50 метрів, провести евакуацію.</p> <p>Обмежити використання електроприладів та обладнання в радіусі 50 метрів (за умови виникнення НС в будівлі).</p> <p>Використовуючи пожежний тепловізор провести аналіз температурних показників та довжини факельного горіння.</p>
Рятування постраждалих та евакуація людей яким загрожує небезпека		<p>У разі виникнення НС в приміщенні здійснити захист органів дихання та зору з використанням ЗІЗОД, АСП.</p> <p>Надання першої медичної допомоги постраждалим проводити за межами небезпечної зони.</p> <p>Якщо існує ризик ураження електричним струмом:</p> <ul style="list-style-type: none"> – обов'язково використовувати діелектричний комплект та необхідно провести заземлення пожежно-технічного обладнання; – уникати контакту з проводкою автомобіля без попереднього аналізу.
Підготовчі дії, планування безпосередніх дій з ліквідації НС		<p>Підтвердити або уточнити зону небезпеки (50 м).</p> <p>Провести аналіз будови, технічних характеристик АВП;</p> <p>Стабілізувати транспортний засіб;</p> <p>Здійснити попереднє оперативне розгортання з метою встановлення водяних завіс з використанням стволів-розпилювачів (НРТ-5, 10, РВ-12, Protec тощо) для захисту</p>

		<p>будівельних конструкцій, матеріальних цінностей від теплової дії факельного горіння. Здійснити попереднє оперативне розгортання з метою охолодження резервуарів з воднем, акумуляторної батареї автомобіля (за необхідністю). Забезпечити безперебійне водопостачання.</p>
<p>Віддача вказівок та розпоряджень</p>		<p>Здійснити охолодження прилеглих будівельних конструкцій та устаткування. Здійснити охолодження резервуарів з воднем. Здійснювати аналіз температурних показників використовуючи пожежний тепловізор. Здійснювати аналіз концентрації водню та рівня кисню в прилеглих приміщеннях використовуючи газоаналізатор (за умови виникнення НС в приміщенні). У разі загрози ураження електричним струмом: – відключити електроживлення АВП через штатну систему пуску автомобіля або аварійно, використовуючи спеціальне обладнання, діелектричний комплект та відповідну інструкцію-схему АВП з відключення силової мережі автомобіля. Після відключення необхідно зачекати ще близько 20 хвилин, щоб уникнути ураження залишковим струмом.</p>
<p>Умови локалізації та ліквідації НС (події)</p>		<p>НС (подія) вважається ліквідованою за умови: – припинення видимого горіння та виділення продуктів горіння; – відсутності сторонніх звуків. Для пересвідчення ефективності проведення гасіння необхідно провести огляд автомобіля з використанням пожежного тепловізора для виявлення прихованих осередків займання або місць з підвищеною температурою.</p>

Під час гасіння АВП та його вузлів або при наближенні до АВП для огляду, чи проведення інших дій необхідною умовою є дотримання та визначення безпечного кута наближення до ТЗ (рис.3.16).

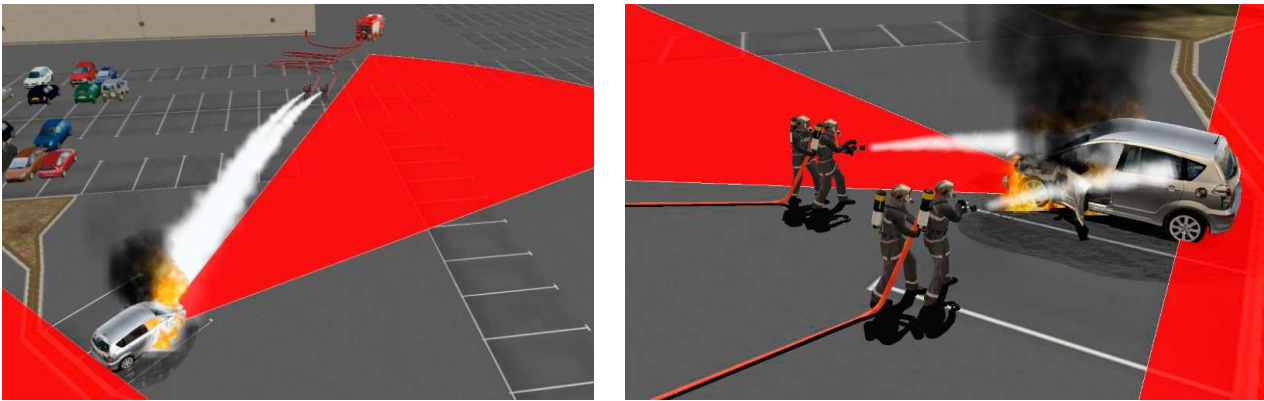


Рисунок 3.16 – Безпечні кути наближення до АВП

Щоб уникнути ураження у разі вибуху уламками ТЗ особовий склад повинен здійснювати наближення до АВП під кутом 45° відносно капота. Позаду автомобіля наближатися небезпечно. Ця рекомендація є загальною не лише у випадку горіння автомобіля, а й навіть за відсутності видимих ознак небезпеки АВП.

Витік водню під високим тиском без подальшого горіння

Цілком імовірним та найнебезпечнішим сценарієм НС, пов'язаної з АВП, може бути витік водню. Подібна ситуація може виникнути як внаслідок пошкодження автомобіля, так і через технічну несправність. За умови відсутності чи несправності датчиків надлишку водню в повітрі (які є обов'язковим для АВП), витік водню може призвести до жахливих наслідків і всіх вище перелічених подій та сценаріїв розвитку.

Тому, своєчасне виявлення та ліквідація витоку водню є важливим елементом забезпечення успіху ліквідації подібної НС. Типовий алгоритм дій оперативно-рятувальних підрозділів представлений в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7

Орієнтовна покрокова послідовність дій оперативно-рятувальних підрозділів у випадку вільного витоку водню

Етапи	Дії	Цілі
Проведення розвідки	Оцінка оперативної обстановки	<p>Перед початком проведення будь яких дій оцінити ризик та небезпеку для особового складу відповідно до діючих норм правил безпеки праці.</p> <p>Врахувати ризик утворення газоповітряної вибухонебезпечної суміші.</p> <p>Врахувати ризик отруєння (асфіксії) внаслідок зменшення концентрації кисню в приміщенні.</p>

		Врахувати можливість отримання пошкоджень шкірного покриву за рахунок високого тиску струменя водню. Визначення моделі, марки АВП.
	Встановленн я обмежень та заборон	Відключити систему вентиляції приміщення до визначення та врахування всіх обставин та небезпек. Здійснити огороження місця події в радіусі 50 метрів, провести евакуацію. Відключити електропостачання будівлі обмежити використання електроприладів та обладнання в радіусі 50 метрів.
Рятування постраждалих та евакуація людей, яким загрожує небезпека		У разі витoku водню в приміщенні: – використовувати ЗІЗОД, АСП; – надання першої медичної допомоги постраждалим проводити за межами небезпечної зони; Якщо існує ризик ураження електричним струмом: – обов'язково використовувати діелектричний комплект та необхідно провести заземлення пожежно-технічного обладнання; – уникати контакту з проводкою автомобіля без попереднього аналізу.
Підготовчі дії, планування безпосередніх дій з ліквідації НС		Підтвердити або уточнити зону небезпеки (50 м) використовуючи газоаналізатори. Стабілізувати транспортний засіб. Провести аналіз будови, технічних характеристик АВП.
Вказівки та розпорядження		У разі витoku водню в приміщенні: – якщо можливо, зупинити витік водню (перекрити вентиль, клапан, тощо); – провітрити приміщення використовуючи природну вентиляцію. Максимально відкрити вікна та двері. Використання примусової вентиляції з використанням технічних засобів (електричних, механічних) ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ; – можливе нагнітання свіжого повітря з використання гідровентиляторів за попередньо узгодженою схемою руху повітря.
Умови локалізації та ліквідації НС (події)		НС (подія) вважається ліквідованою за умови: – якщо рівень кисню в приміщенні становить 20%; – якщо рівень водню в повітрі становить 0%.

Наведені алгоритми дій КГП та особового складу задіяного в ліквідації НС (пожеж) на АВП за умови виникнення різноманітних сценаріїв розвитку містять лише приблизний перелік основних заходів та тактичних прийомів необхідних для успішного подолання НС. Відповідно до оперативно-тактичних умов, місця виникнення НС, кількості постраждалих та імовірних загроз, КГП зобов'язаний першочергово діяти згідно з чинними нормативно-правовими актами, інструкціями та рекомендаціями ДСНС України.

В додатках 6-7 наведено типові (рекомендовані) блок-схеми алгоритму дій рятувальників під час ліквідації НС на АВП, а також схеми розміщення сил та засобів під час гасіння АВП або проведення інших невідкладних робіт.

3.6. Міжнародне регулювання дій з проведення аварійно-рятувальних робіт в ТЗ на альтернативних джерелах енергії

Першоджерелом для отримання необхідної інформації про необхідні дії та правила проведення аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт на ТЗ на альтернативних джерелах енергії є інструкції заводів-виробників. Однак з огляду на різноманіття ЕА та АВП, суб'єктивне бачення ситуації та нехтування нюансами проведення аварійно-рятувальних робіт, досить часто інструкції подібних між собою ТЗ можуть відрізнятись. Саме тому існує необхідність визначення уніфікованого та загально затвердженого алгоритму дій, виконання якого регламентувалося міжнародним стандартами або нормативно-правовими актами, затвердженими, на рівні держави. На сьогодні можна виділити декілька таких документів.

Так для США існують «Рекомендації щодо проведення аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт на транспорті з гібридними та електричними двигунами (SAE J2990)». Ці рекомендації були розроблені товариством профспілок США основною метою якого є визначення проблемних питань, розробка стандартів, рекомендацій та іншої технічної літератури для всіх сфер життєдіяльності населення. Рекомендації вперше були видані в листопаді 2012 року і перевидані в липні 2019 року. Прогалиною цих рекомендацій є те, що в них не враховано небезпеку використання АВП.

Цікавою особливістю SAE J2990 є те, що він рекомендує автовиробникам розробляти аварійні картки (інструкції) дотримуючись міжнародного стандарту ISO 17840. Крім того існує рекомендація здійснити стандартизацію дій рятувальників (заголовки глав, послідовність розділів, кольорові коди, графічні позначення), використовуючи той же міжнародний стандарт.

Додатково в США розроблено рекомендації з проведення аварійно-рятувальних робіт на ЕА та АВП у вигляді «швидкого алгоритму» від NFPA (Національної асоціації з пожежної безпеки).

3.6.1. Міжнародний стандарт ISO 17840

ISO – це всесвітня федерація стандартизації, членами якої є представники більшості країн світу. ISO здійснює розробку та публікацію стандартів практично з усіх напрямків життєдіяльності людства, включаючи сфери управління, охорони праці, енергетики, безпеки продуктів харчування та інформаційних систем.

Стандарт ISO 17840 «Дорожні транспортні засоби – інформація для учасників проведення аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт» – це стандарт, що складається з чотирьох документів які здійснюють структуровану подачу інформації відповідно до типу та моделі транспортного засобу та заходів, необхідних для успішного проведення аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт. Стандарт був розроблений Міжнародною асоціацією пожежно-рятувальних підрозділів (CTIF) у тісній співпраці з Європейською програмою оцінки нових автомобілів (Euro NCAP) та Європейською Шенгенською інформаційною системою (SIS).

ISO 17840-1 (опублікований у серпні 2015 р.) Стандартизує зміст та наповнення «рятувальних карток» для легкових автомобілів та легких комерційних автомобілів. Рятувальна картка – це короткі документи, що дають швидку інформацію про конструкцію транспортного засобу, призначену для використання аварійно-рятувальними підрозділами на місці аварії. Стандарт охоплює загалом всі відомі ТЗ (дизельні, бензинові, автомобілі на скрапленому газі, стисненому природному газі, ЕА та гібридні електроавтомобілі.

ISO 17840-2 (опублікований у квітні 2019 року) стандартизує рятувальні листи для автобусів та важких комерційних автомобілів.

ISO 17840-3 (опублікований у квітні 2019 р.) Встановлює шаблон та визначає загальний зміст детальних інструкцій, що

надаються заводами виробниками для аварійно-рятувальних підрозділів на випадок виникнення НС. Представлені інструкції з реагування на НС призначені для використання разом із рятувальними листами, як правило, для проведення навчання аварійно-рятувальних служб. Ця частина стандарту ISO 17840 відноситься до легкових автомобілів, автобусів, легких та важких комерційних транспортних засобів.



Рисунок 3.17 – Запропоновані умовні позначення для ідентифікації транспортного засобу у відповідності до Міжнародного стандарту ISO 17840

ISO 17840-4 (опублікований у червні 2018 року) визначає графічні позначення та кольорове розрізнення, що використовуються для ідентифікації джерел енергії, що використовується для приведення в рух транспортного засобу (рис.3.17). На графічних позначеннях одночасно з позначенням типу палива, що використовує автомобіль, зазначаються його властивості. Для прикладу:

- фізичні властивості газу (легший чи важчий за повітря, температура зберігання, імовірність розширення при нагріванні);
- небезпека ураження електричним струмом тощо.

Для прикладу ISO 17840-3 рекомендує здійснювати структуровану подачу інформації у відповідній послідовності для більш швидкої оцінки ситуації та, як наслідок, правильного прийняття рішення першим КГП на місці події. Шаблон, встановлений стандартом, описується як блок-схема основних дій оперативно-рятувальних підрозділів на місці події. Шаблон містить заголовки для різних розділів посібника з реагування на надзвичайні

ситуації (наприклад, «Виключення прямих загроз» або «У випадку пожежі») та порядок їх подачі (рис. 3.18) за виробниками закріплюється обов'язок здійснити інформаційне наповнення кожного розділу відповідно до технічних характеристик та особливостей автомобіля.

1. Ідентифікація / упізнання
2. Знерухомлення / стабілізація / підйом
3. Нейтралізація прямих загроз / техніка безпеки
4. Доступ до пасажирів
5. Джерела енергії / рідини / газу / тверді речовини
6. У випадку пожежі
7. У випадку загоплення
8. Буксирування / транспортування / зберігання
9. Важлива додаткова інформація
10. Пояснення до використовуваних піктограм

Рисунок 3.18 – Стандартизований порядок подачі інформації для потреб здійснення аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт відповідно до Міжнародного стандарту ISO 17840

У лютому 2020 року Euro NCAP опублікував протокол для випробування та оцінки безпеки ТЗ, який спонукає до використання та впровадження вимог стандарту ISO 17840 та включає оцінку щодо наявності рятувальних листів виробника. Австралійський осередок NCAP, який публікує результати краш-тестів автомобілів, що продаються в Австралії та Новій Зеландії, також опублікував версію подібного протоколу в липні 2020 року.

3.6.2. Мультимедійний додаток для організації та проведення аварійно-рятувальних робіт на ТЗ

У червні 2020 року Euro NCAP [56] оголосив, що систематизував рятувальні листи автовиробників у безкоштовному мобільному додатку для всіх охочих, а особливо для оперативно-рятувальних підрозділів, який можна завантажити під назвою «Euro Rescue» (рис.3.19), одночасно австралійський NCAP запустив власний додаток "ANCAP Safety". У своєму прес-релізі Euro NCAP зазначив: "Оскільки транспортні засоби стають все більш різноманітними та вибагливішими зростає актуальність та важливість питання правильного та вмілого реагування рятувальників на імовірні виклики та небезпеку, що може чатувати на місці події. Важливо розуміти та знати, що можна робити, а що ні".



Версія для Android



Версія для IOS

Рисунок 3.19 – QR-код для завантаження додатку «Euro Rescue»

Euro Rescue на сьогодні функціонує англійською, французькою, німецькою та іспанською мовами. З 2023 року додаток буде доступний мовою всіх країн Європи. В додатку 2 наведено переклад графічних умовних позначень, що використовуються в «рятувальних картках».

Контрольні питання до розділу 3

1. Яка статистика загорянь електроавтомобілів у світі?
2. Які основні причини загорянь електроавтомобілів відповідно до статистичних даних?
3. Дайте коротку характеристику процесу ліквідації загорянь електроавтомобілів, відповідно до наведених описів пожеж.
4. Які основні етапи процесу ліквідації загорянь

- електроавтомобілів?
5. Які основні рекомендації КГП під час гасіння електроавтомобілів?
 6. Які імовірні сценарії надзвичайних ситуацій (подій) пов'язаних з АВП?
 7. Який порядок дій рятувальників під час рятування людей з пошкодженого АВП?
 8. Який порядок дій рятувальників під час підтвердження горіння акумуляторної батареї АВП?
 9. Який порядок дій рятувальників під час факельного горіння водню?
 10. Який порядок дій рятувальників під час витоку водню з АВП без подальшого горіння?

РОЗДІЛ 4

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ТА ПЕРЕРОБКИ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ ЕЛЕКТРОАВТОМОБІЛІВ

4.1. Екологічні наслідки використання акумуляторних батарей

Висвітлені вище тенденції розвитку ТЗ на альтернативних джерелах енергії наочно показують, що людство невпинно йде шляхом заміни традиційних джерел енергії та впевненими кроками йде до досягнення цієї мети. Відмова від традиційних автомобілів на двигунах внутрішнього згорання лише вершина цього науково-технічного прогресу. Наприклад, офіційний сайт Toyota повідомляє, що компанія пододала позначку в 10 мільйонів проданих автомобілів зі змішаним типом двигунів. Покупці керуються не тільки явною економією витрат на паливо, а й екологічністю в питанні викиду вихлопних газів. Однак, роблячи акцент на інформації про забруднення газами, люди не задумуються про згубний вплив на навколишнє середовище виробництва та утилізації літій-іонних акумуляторів, які застосовуються в ЕА та АВП.

Якщо подивитися навколо, можна помітити, що акумуляторні батареї сьогодні оточують нас на кожному шляху. Все частіше ми можемо помічати на вулицях міста різноманітні засоби пересування такі як гіроскутери, гіроборди, сігвеї, електросамокати та багато інших різновидів, що працюють на літій-іонних чи інших елементах живлення. Окремо, необхідно відзначити різноманітні мультимедійні засоби (ноутбуки, планшети, смартфони) та електромеханічний інструмент (шуруповерти, дрилі, аварійно-рятувальний гідроінструмент) які вже вкоренилися в нашому житті і ми просто не уявляємо своє життя без них, а що буде далі?

За оцінками Міжнародного енергетичного агентства, до 2030 року в світі будуть задіяні 140 мільйонів електроавтомобілів. Якщо країни будуть слідувати цілям Паризької угоди про зміну клімату ці ЕА можуть залишити 11 мільйонів тонн відпрацьованих літій-іонних елементів живлення, які потребують утилізації і це тільки автомобілі.

Виготовлення елементів живлення пов'язане з рядом труднощів і небезпек. У промисловості літій хлорид отримують шляхом випарювання з соляних озер, а потім обробляють його для подальшого виробництва енергоносіїв. Однак, цей процес потребує великої кількості води (близько 1,8 мільйона літрів на тонну літію). В

сукупності з щорічним зростанням попиту на акумулятори таке споживання в довгостроковій перспективі може викликати дефіцит води в посушливих районах, де зазвичай розташовані ці озера. Також в процесі виробництва елементів живлення використовуються такі матеріали, як кобальт, нікель і графіт, видобуток яких викликає забруднення води і зменшення лісового покриву. Крім того, використання подібних токсичних речовин чинить серйозний негативний вплив на центральну нервову систему працівників заводів з виробництва літій-іонних акумуляторів, роблячи їх роботу вдвічі шкідливішою, ніж при виготовленні інших типів елементів живлення.

Найбільшу небезпеку для здоров'я представляє процес вилучення кобальт сульфату і солей літію. Все це наводить на думку, що виготовлення батареї обходиться природі так само дорого, як і створення цілого автомобіля з двигуном внутрішнього згорання. Це пов'язано як з екологічними витратами при видобутку і транспортуванні сировини, так і з викидами шкідливих речовин при виробленні електрики для виробництва елементів живлення. Особливо цей вплив характерний в країнах, де поширені «брудні» джерела енергії, яка споживається при складанні гібридних автомобілів. У таких випадках збиток від виробництва може бути порівняний зі шкодою, якої завдають бензинові авто за весь свій термін експлуатації.

Виробництво елементів живлення є не єдиною проблемою використання ЕА. При руйнуванні або пошкодженні літій-іонних батарей виділяються іони фтору, які в свою чергу є навіть більш токсичними для людського організму, ніж свинець. Величезну небезпеку для органів дихання викликають такі біологічні отрути, як бензен, толуен, стирен і гідроген флуорид. Ці речовини викликають клітинну мутацію, володіючи гострою токсичністю, призводять до роз'їдання шкірного покриву, а також дихальних шляхів. Через дегазацію літій-іонних батарей і термічного витоку виділяється небезпечна газова суміш з вибухонебезпечними і канцерогенними компонентами, які мають шкідливий вплив не тільки на живий організм, але і на навколишнє середовище в цілому, викликаючи патології в зародку.

Мало того, що батареї при пошкодженні несуть ризик виділення токсичних газів, а й такі основні інгредієнти, як літій і кобальт, є кінцевими речовинами, а їх вилучення з енергоносія може привести до забруднення води і виснаження інших екологічних ресурсів.

Більшість цих наслідків можна уникнути, якщо відправляти батареї на переробку однак і цей процес має велику кількість складнощів. За даними британської газети The Guardian, зараз в ЄС переробляється близько 5% від усіх літій-іонних батарей.

Компанія Umicore, вклала 25 мільйонів євро в промисловий завод в Антверпені (Бельгія), щоб переробляти літій-іонні батареї, також вона уклала угоди з Tesla і Toyota, щоб використовувати плавку для вилучення таких дорогоцінних металів, як кобальт і нікель. Незважаючи на те, що процеси плавки можуть легко відновлювати багато металів, вони не можуть безпосередньо відновити життєво важливий літій, який змішаний з побічним продуктом.

Umicore стверджує, що вони можуть вилучити літій з побічного продукту, але кожен додатковий процес збільшує вартість. Таким чином, хоча повна утилізація батареї в середньому оцінюється всього в 1 євро, вартість відновлених матеріалів становить лише третину цієї суми.

Додаткові складнощі для будівництва переробних заводів становлять не тільки невиправданні витрати, які могли б бути компенсовані державним субсидюванням, але і той факт, що на даний момент не існує єдиного стандарту з проектування літій-іонних батарей і схеми їх переробки, а це, в свою чергу, заважає створенню автоматизованого процесу утилізації.

Беручи до уваги все перераховане вище, стає очевидним той факт, що використання ТЗ на альтернативних джерелах енергії все ще тягне за собою велику небезпеку як для здоров'я живих організмів, так і для навколишнього середовища в цілому. Сама ідея заміни стандартних двигунів внутрішнього згорання має величезний потенціал для майбутнього, але для його повного розкриття необхідне введення загальних стандартів конструювання та переробки літій-іонних елементів живлення [57].

4.2. Переробка акумуляторних батарей

З огляду на наведенні вище дані та на роботі [58] одним з найбільш важливих елементом літій-іонних елементів живлення є літій. Так, для виробництва одної акумуляторної літій-іонної батареї електроавтомобіля (від 50 до 150 елементів), залежно від її хімічного складу необхідно затратити від 0,24 до 12,7 кг літію. Станом на сьогодні світове споживання літію становить 47 тисяч тон/рік і

прогнозовано зросте до 117 тисяч тон до 2024 року [59], і це тільки те, що стосується літію без врахування таких необхідних складових, як алюміній, кобальт, магній, мідь, нікель тощо.

Технологічний процес переробки (рис.4.1.) акумуляторних елементів живлення можна розділити на три загальні стадії (процеси): механічний, пірометалургійний та гідрометалургійний. Під час переробки передбачається що ці стадії йдуть по чергово.

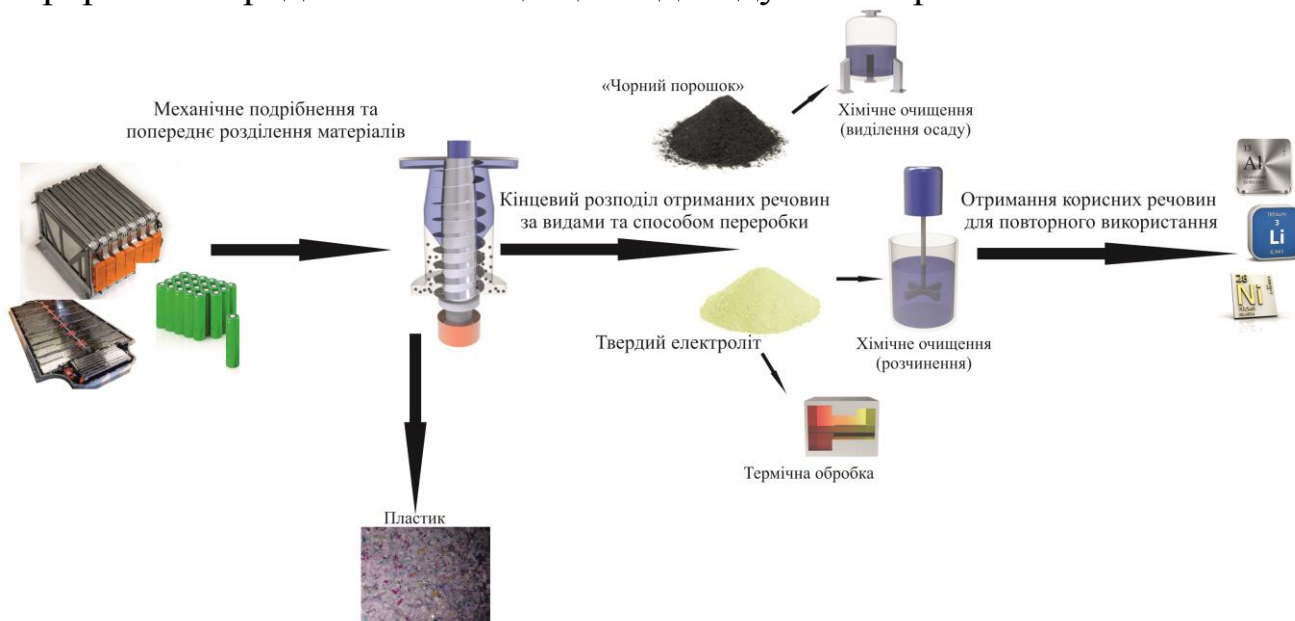


Рисунок 4.1 – Процес переробки елементів живлення електроавтомобілів

Механічний процес розділення компонентів.

Інертна, суха атмосфера підходить для механічної обробки батарей, оскільки дає змогу уникнути попадання вмісту клітини водяної пари, яка може гідролізувати електроліт.

Це також зменшує вплив внутрішніх коротких замикань, які можуть бути сильними при контакті з киснем. Механічні процеси включають подрібнення, просіювання, магнітне розділення, дрібне подрібнення та класифікацію з отриманням концентрованого матеріалу для відновлення з використанням інших процесів.

Відзначено, що два етапи дроблення та просіювання дають можливість ефективно відділити металовмісні частини від відходів. Магнітний сепаратор може бути використаний для зняття сталевого кожуха. Було вивчено, що механічне розділення, проведене перед процесом вилуговування, не тільки покращує ефективність

відновлення цільових металів, але також виключає необхідність процесу очищення фільтрату.

Фільтрація застосовується як на першому рівні очищення оболонки і концентрування, так і на проміжному етапі, наприклад, для відокремлення полівінілдіфториду, оскільки він не розчиняється в розчині кислоти, залишається в макусі після фільтрації. Крім того, вуглець з катода не розчиняється в розчині кислоти, і натомість він плаває в розчині. При визначенні процесів механічного розділення фактори, які відіграють важливу роль, крім відокремлення всіх компонентів один від одного, таких як метали, органічні речовини та неорганічні речовини, полягають у мінімізації проникнення та перехресного забруднення.

Термічна обробка

Термічна обробка, як правило, складається з нагрівання в печі при температурі 100-150 °С, щоб відокремити нерозчинні органічні добавки та клеї. Цей процес також використовується як посередницький етап після кожного етапу вимивання гарячою кислотою. Час нагрівання не є стандартизованим, але ніколи не перевищує двох годин.

Іноді рештки, що залишаються, також піддають термічній обробці, щоб відокремити сполуки металів від органічних матеріалів. Наприклад; твердий залишок, що виходить від кислотного вилуговування HNO_3 відпрацьованих літій-іонних батарей, складається із суміші гідроксидів заліза, кобальту та нікелю та деяких крапель $\text{Mn}(\text{OH})_3$. Їх нагрівають в муфельній печі при 500 °С протягом 2 годин для вилучення вуглецю та органічних сполук.

Хоча термічні процеси корисні для поліпшення процесу переробки, залишаються актуальними питання виділення побічних шкідливих сполук, очищення димових газів.

Хімічне очищення

Переробка за допомогою хімічних процесів включає розчинення, вимивання кислот та основ і виділення осаду.

Рідкий електроліт диспергується в порах електродів та сепаратора. Зануливши у відповідний розчинник на кілька годин, можна відділити електроліт. Після відділення від залишкових твердих речовин розчинник можна відновити випаровуванням при зниженому тиску, залишаючи чистий електроліт. В якості розчинника для екстракції можна використовувати кілька рідин. Основні вимоги

полягають у тому, щоб температура кипіння при зниженому тиску була нижчою за температуру розкладання солей літію (80 °C) і щоб матеріал був доступний у безводному стані. Якщо в електроліті відсутні леткі добавки, також часто віддають перевагу термічній обробці, зазначеній вище, для виділення розчинника.

Електрохімічно активний матеріал, який відокремлюється від корпусу, такого як пластмаса, чорні метали на етапі попередньої обробки, вилуговуються кислим розчином для перенесення металів із використовуваної сполучної форми у розчин фільтрату. Такий підхід актуальний лише із сполукою LiCoO_2 .

Електрохімічна дисоціація

Також можливо відділяти кобальт із сполук LiCoO_2 , використовуючи нітратну кислоту як розчин для вилуговування. Кобальт гідроксид осідає на титановому електроді, а потім отримують кобальт оксид методом дегідратації.

Інженери Volkswagen в даний час працюють над концепцією утилізації відпрацьованих літій-іонних акумуляторів. Як повідомляє автомобільна група, на майданчику в Зальцгіттер (Salzgitter) будуть перероблятися використані автомобільні батареї – з 2020 року близько 1200 тон на рік – приблизно 3000 комплектів. Розглядається збільшення виробничих потужностей. При цьому мова йде про ефективний процес, який дозволить відновлювати для повторного використання кобальт, літій, марганець і нікель.

Акумулятори, що «відпрацювали» своє в електромобілях, можуть застосовуватися в стаціонарних системах зберігання енергії, але після цього їх все одно потрібно утилізувати.

Виділена сировину буде надходити повторно у виробничий процес концерну – одночасно з установкою по переробці акумуляторів в Зальцгіттер створюється пілотний завод з виробництва акумуляторних батарей з «Центром передового досвіду».

За словами Volkswagen, в найближчі роки за проектом в Зальцгіттер підуть інші децентралізовані заводи з переробки. Ефективне відновлення металів, що містяться в елементах живлення, важливе не тільки з точки зору оптимізації виробничих процесів або екології, а й для зниження вуглецевого сліду автомобільного концерну.

Контрольні питання до розділу

1. В чому небезпека літій-іонних акумуляторних елементів живлення для довкілля?
2. Які цінні метали можна отримати від переробки літій-іонних елементів живлення?
3. Який сучасний стан та перспективи розвитку галузі переробки літій-іонних елементів живлення?
4. Який порядок переробки літій-іонних елементів живлення?
5. Чи можливе повторне використання отриманих елементів та речовин після переробки літій-іонних елементів живлення?

Статистика пожеж електроавтомобілів з коротким описом наслідків та причин загорання

1 жовтня 2013 року Tesla Model S загорілася після того, як автомобіль зачепив металевий уламок на автотрасі в м. Кенті, штат Вашингтон. Зі слів водія, він наїхав на незнайомий предмет під час подорожі після чого автоматика машини повідомила про пошкодження і вказала на необхідність зупинки ЕА. Водій виконав вказівку, зупинився та вийшов з автомобіля.

Через короткий проміжок часу з передньої частини автомобіля почало виходити полум'я. Згідно з повідомленням безпосередніх учасників гасіння, початкові спроби гасіння були марними, оскільки полум'я розгоралося повторно після того як було загашене. Для успішного гасіння було прийнято рішення вирізати отвір в середині батареї автомобіля, подати воду безпосередньо на палаючі елементи живлення.

Виробник автомобілів підтвердив, що пожежа почалася в акумуляторній батареї, і це було спричинено пошкодженням одного з модулів акумуляторної батареї великим металевим предметом.

18 жовтня 2013 року сталося загорання ще одного автомобіля Tesla Model S в м. Мериді, Мексика. У цьому випадку транспортний засіб їхав з великою швидкістю через круговий роз'їзд і врізався в стіну та в дерево. Детального опису пожежі та розслідування не проводилося зі сторони компанії виробника оскільки пожежа сталася за межами США.

15 листопада 2013 року в гаражі в м. Ірвіні, штат Каліфорнія, спалахнула пожежа під час заряджання Tesla Model S. Відповідно до рапорту з розслідувань причин пожежі впливає, що причиною пожежі міг стати зарядний пристрій що постачається компанією-виробником.

Незабаром після цього Tesla оновила вбудовану програму Model S для зменшення струму зарядки при виявленні коливань потужності та замінила адаптери на нові блоки, що містить тепловий запобіжник.

На початку **лютого 2014 року** стався ще один випадок пожежі в м. Торонто, Канада. Model S заходилась в гаражі, і вона не була підключена до зарядного пристрою. Станом на 14 лютого 2014 року про причини пожежі нічого не відомо.

Ряд випадків загорянь акумуляторної батареї автомобілів Tesla сприяв тому, що виробник заявив, що забезпечить більш надійний захист своїм літій-іонним акумуляторам.

Виробник удосконалив систему захисту акумуляторних батарей та додаткових елементів від механічного пошкодження шляхом облаштування титанової пластини, порожнистої алюмінієвої трубки та ряду компенсаторів удару.

1 січня 2016 року на заправці Tesla в Норвегії сталася пожежа в зарядному пристрої Tesla Model S. Пожежа розвивалась повільно і власник встиг відключити автомобіль від мережі та забрати майно.

Розслідування Норвезької комісії з розслідування нещасних випадків показало, що пожежа виникла в автомобілі, але деталей та обставин визначити неможливо оскільки автомобіль повністю вигорів.

У березні 2016 року Tesla заявив, що їхнє власне розслідування інциденту прийшло до висновку, що пожежа була спричинена коротким замиканням у розподільній коробці транспортного засобу, але кількість шкоди заважала їм визначити точну причину. Tesla заявив, що Supercharger виявив коротке замикання і вимкнувся, а майбутнє оновлення програмного забезпечення Model S зупинить заряджання автомобіля, якщо буде виявлено коротке замикання.

15 серпня 2016 року під час промо-тест-драйву в м. Біарріце, Франція, новий Tesla Model S 90D загорівся без видимих на те причин. Після раптового гучного шуму приладова панель подала водієві попередження про проблему «зарядки». Дотримуючись «поради» Tesla, водій зупинився і всі троє пасажирів благополучно вийшли з транспортного засобу. Через кілька хвилин автомобіль почав горіти, і хоча пожежники швидко прибули, **вогонь повністю знищив транспортний засіб протягом 5 хвилин.**

Згодом Tesla визначив, що транспортний засіб має проблеми з «електричним з'єднанням болтів» яке, як правило, здійснюється роботом на заводі, але в цьому випадку було «неправильно затягнуте» людиною, що й стало причиною пожежі.

25 серпня 2017 року водій Model X втратив керування транспортним засобом та врізався у гаражі в м. Лейк-Форесті, штат Каліфорнія, що спричинило пожежу, яка пошкодила машину та конструкцію гаражу.

Зі слів пожежників, що здійснювали гасіння цієї пожежі, загалом саму пожежу вдалося погасити досить швидко включаючи автомобіль, однак через деякий час автомобіль зайнявся знов. Для успішного гасіння автомобіля необхідно була викликати евакуатор для того щоб припідняти автомобіль та здійснити безпосереднє гасіння акумуляторної батареї.

8 травня 2018 року 18-річний чоловік втратив керування своїм Tesla Model S під час руху 186 км/год та наїхав на бордюр і в стіну через, що акумулятор автомобіля спалахнув. Водій та пасажир загинули внаслідок аварії та подальшої пожежі. Акумуляторна батарея двічі самозаймалася після «успішного» гасіння і пожежники здійснювали повторну подачу води.

10 травня 2018 року Tesla S загорівся після наїзду на відбійник на швейцарській трасі Монте-Сенері, між Лугано та Беллінцоною, в результаті чого загинув 48-річний німецький водій.

16 червня 2018 року пішоходи на вулиці в Лос-Анджелесі попередили водія Tesla Model S, що з його транспортного засобу виходить дим. Після того як водій вийшов з транспортного засобу, полум'я почало «вистрілювати» з-під нього.

Пожежники швидко загасили пожежу, під час горіння постраждала лише передня частина автомобіля.

8 лютого 2019 року в приватному гаражі в Пітсбурзі загорівся Tesla Model S. Через два місяці, 8 квітня, ще перебуваючи під слідством, він знову загорівся.

24 лютого 2019 року Tesla Model S у м. Даві Флорида, врізався у дерево та спалахнув.

Також **24 лютого 2019 року** спалахнула Tesla Model X посеред замерзлого озера Шамплен.

21 квітня 2019 року в підземному гаражі в Шанхаї, Китай, після недовгого горіння з-під переднього колеса практично «вибухнув» Tesla Model S. Внаслідок пожежі постраждало 5 автомобілів.

4 травня 2019 року м. Сан-Франциско США, Tesla Model S, не підключений до зарядного пристрою. Спостерігався дим, що йшов з-під правого заднього колеса. Пожежа була ліквідована без суттєвих пошкоджень автомобіля.

13 травня 2019 року Tesla Model S, загорівся під час стоянки на парковці в Гонконгу. З камер спостереження видно, що пожежі передували три короткі хлопки (вибухи) після чого машина загорілася. Оперативно-рятувальним підрозділам для гасіння пожежі знадобилося 45 хвилин.

1 червня 2019 року в м. Антверпен Бельгія, Tesla Model S загорівся під час зарядки на заправці Tesla.

10 серпня 2019 року м. Москва Росія, на швидкісній дорозі (100 км/год) зіткнувся автомобіль Tesla Model 3 з припаркованою вантажівкою. Автомобіль відразу загорівся.

1 вересня 2015 року Nissan Leaf загорівся та був знищений на дорозі в м. Flower Mound, штат Техас, не заподіявши додаткової шкоди. Причину пожежі не було встановлено.

7 грудня 2017 року в м. Тріангелі Німеччина, загорівся e-Golf VW. Детальна інформація про причини та обставини пожежі відсутня.

16 березня 2018 року E-Hybrid Panamera, який був підключений до побутової розетки для зарядки в Таїланді, спалахнув. Пожежа розпочалася в задній частині автомобіля та швидко розповсюдилася по зарядному кабелю далі. Перед пожежею очевидці чули ряд «вибухів», що й спричинило їхнє хвилювання.

26 липня 2019 року, Hyundai Kona Electric припаркована в житловому гаражі в м. Монреаль Канада. Автомобіль, за словами власника не був підключений до джерел живлення. Під час горіння автомобіля стався вибув внаслідок якого були вибиті гаражні двері.

25 березня 2019 року за даними пожежної частини в м. Тільбурзі, Нідерланди, BMW i8 почав димітися, перебуваючи в автосалоні. Персонал зателефонував у оперативно-рятувальну службу. По прибутті на місце пожежі BMW i8 був поміщений у резервуар з водою, щоб запобігти подальшому горінню та вибуху.






21 вересня 2019 року у м. Києві на бульварі Марії Приймаченко у дворі житлового будинку згорів електромобіль Chevrolet Bolt. На час прибуття рятувальників полум'я повністю охопило автомобіль. Вогонь почав поширюватися на одноповерхову прибудову. Але протягом 40 хвилин пожежа була ліквідована.


















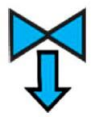


Як розповів господар машини, він щойно зарядив акумулятор і пішов додому. Через 10 хвилин йому повідомили, що машина горить. Очевидці стверджують, що загорання пішло з-під лівого заднього колеса.


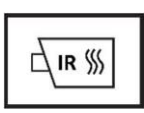

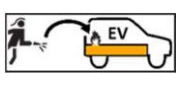


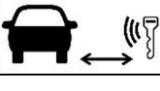
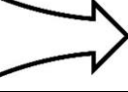
Додаток 2

Умовні позначення, що використовуються в «рятувальних картках» відповідно до стандарту ISO 17840

Графічне позначення	Значення	Графічне позначення	Значення	Графічне позначення	Значення
	Транспортні засоби на рідкому паливі (дизель)		Піропатрон		Резервуар для зберігання газу
	Транспортні засоби на рідкому паливі (бензин/етанол)		Фіксатор-натягувач ременя безпеки		Високовольтний ультраконденсатор
	Транспортні засоби на зрідженому вуглеводневому газі (ЗВГ)		Газова стійка / Попередньо навантажена пружина		Пристрій низької напруги, що відключає високу напругу
	Транспортні засоби на стисненому природному газі (СПГ)		Активна система захисту пішоходів		Блок запобіжників для відключення високої напруги
	Електричні транспортні засоби		Зона високої міцності		Місце перерізання кабелів
	Електричні транспортні засоби з гібридним двигуном (дизельним)		Рульове колесо розміщено праворуч		Пристрій високої напруги, що відключає високу напругу
	Електричні транспортні засоби з гібридним двигуном		Рульове колесо розміщено ліворуч		Паливний бак з дизельним паливом

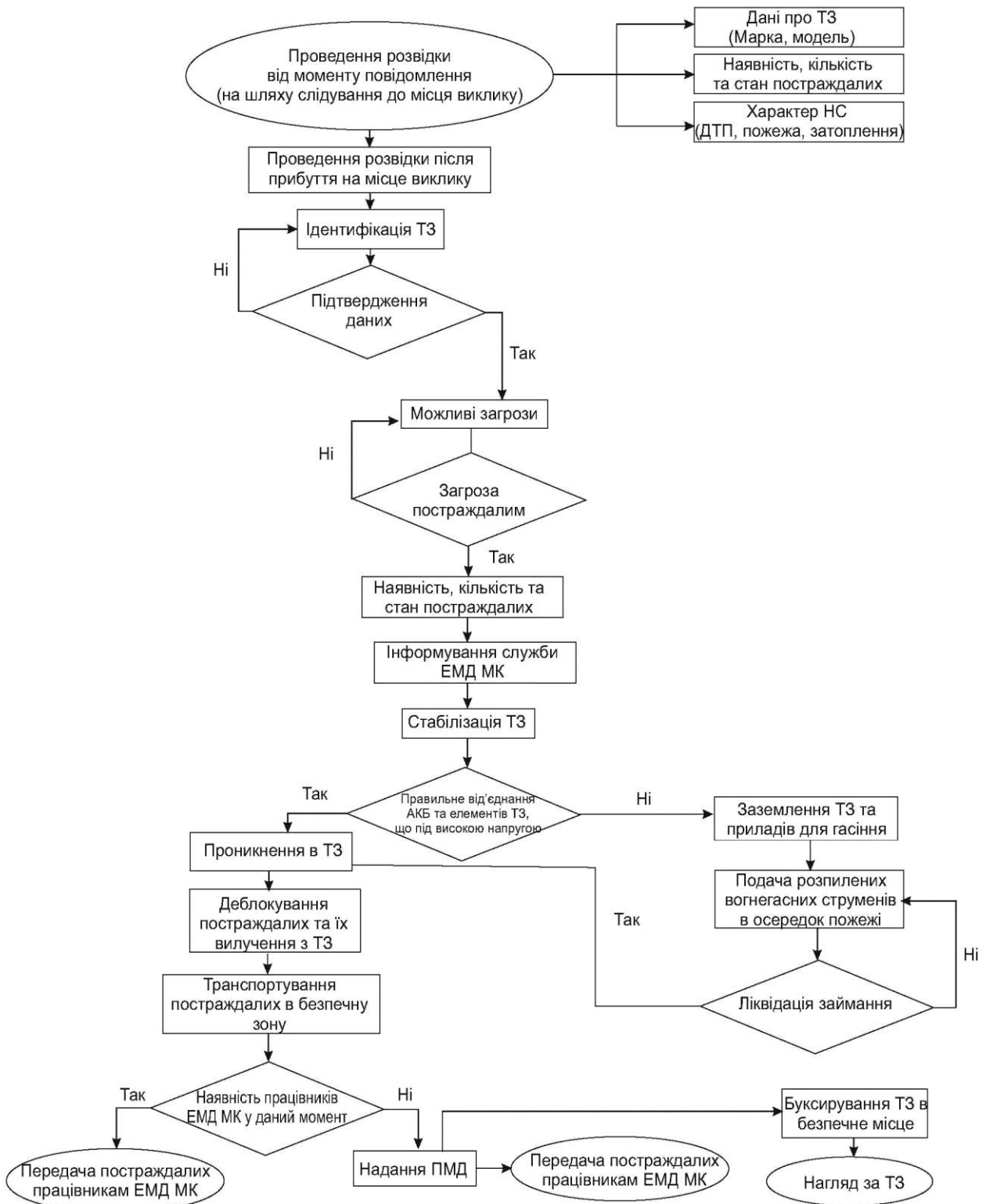
	Автомобілі на водневому паливі		Низьковольтний ультраконденсатор		Паливний бак з бензином/етанолом
	Транспортні засоби на зрідженому природному газі		Електронний блок керування систем безпеки		Елементи під високою напругою
	Транспортні засоби на диметил етері (C ₂ H ₆ O)		Високовольтна акумуляторна батарея		Аварійний вихід
	Акумуляторна батарея низької напруги		Автоматична система захисту від перекидання		Капот
	Подушка безпеки		Паливний бак		Багажник
	Запобіжний клапан		Випуск капота, вантажівка		Резервуар із зазначенням типу газу (СПГ)
	Високовольтний силовий кабель		Пристрій для відключення живлення в автомобілі		Ручний запірний клапан із зазначенням типу газу (СПГ)
	Ручний запірний клапан із позначенням типу газу (H ₂)		Небезпечна напруга		Автоматичний запобіжний клапан надлишкового тиску з зазначенням типу газу (СПГ)
	Автоматичний запобіжний клапан надлишкового тиску з позначенням типу газу		Індукційна (безпроводна) зарядка автомобіля		Резервуар із зазначенням типу газу (ЗВГ)

	Повітряний резервуар		Автоматичне підкачування коліс з використанням пневмосистеми		Ручний запірний клапан із позначенням типу газу
	Компонент кондиціонера		Вантажівка з регулюванням висоти, за допомогою пневмопідвіски		Автоматичний запобіжний клапан надлишкового тиску з позначенням типу газу
	Газопровід (загальний)		Контроль нахилу рульового колеса		Резервуар із зазначенням типу газу (C ₂ H ₆ O)
	Газопровід (H ₂)		Регулювання висоти сидіння		Ручний запірний клапан із позначенням типу газу
	Лінія кондиціонування		Поздовжнє регулювання сидіння		Автоматичний запобіжний клапан надлишкового тиску з позначенням типу газу
	Напрямок стравлення запобіжного клапану надлишкового тиску газу у транспортному засобі		Пункт підйому; центральна підтримка		Резервуар із зазначенням типу газу (зріджений природний газ, ЗПГ)
	Напрямок стравлення запобіжного клапану надлишкового тиску водню у транспортному засобі		Вуглецева структура		Ручний запірний клапан із позначенням типу газу (ЗПГ)

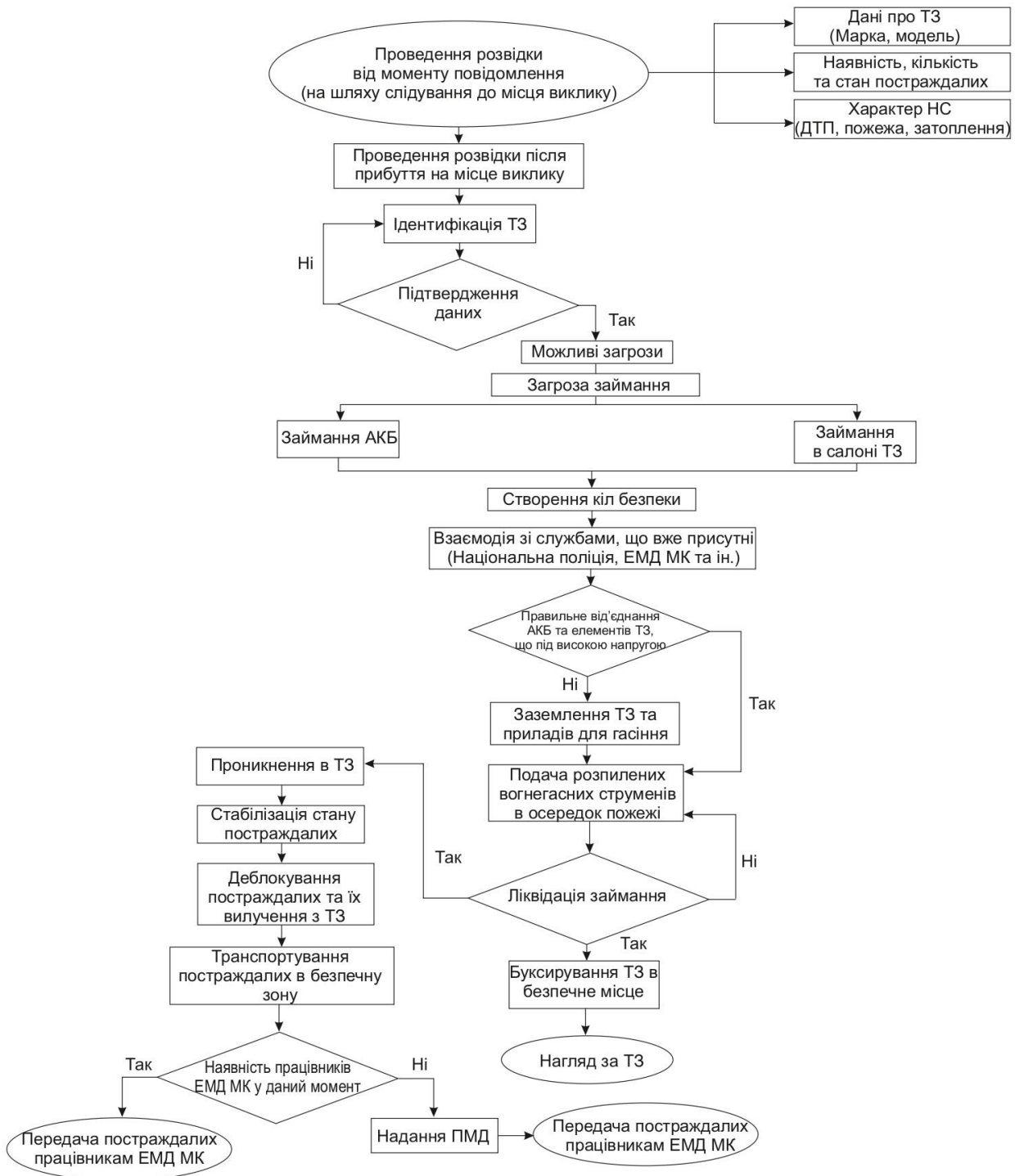
	Загальний знак УВАГА		Паливний елемент автомобіля на водневому паливі		Автоматичний запобіжний клапан надлишкового тиску з зазначенням типу газу (ЗПГ)
	Увага, висока напруга		Резервуар з нафтою		Резервуар із зазначенням типу газу (H ₂)
	Увага, низька температура		Використову йте теплову інфрачервону камеру (тепловізор)		Їдкі речовини
	Увага; водень горить майже непомітним полум'ям		Автоматична система пожежогасін- ня		Легкозаймистий
	Небезпечний для здоров'я людини		Спеціальний доступ до акумулятор- ної батареї		Окислювач
	Гостра токсичність		Для гасіння використову- йте воду		
	Небезпека для навколишнього середовища		Використову вати водопінний вогнегасник		
	Напрямок клапана надлишкового тиску		Використову вати вуглекислот- ний вогнегасник		
	Вийняти розумний ключ		Використову вати порошковий вогнегасник		
	Забір повітря		Не гасити водою		
	Вибухонебезпеч- ний		Гази під тиском		

Блок-схема рекомендованого алгоритму дій рятувальників під час ліквідації НС на ЕА у випадку [70]

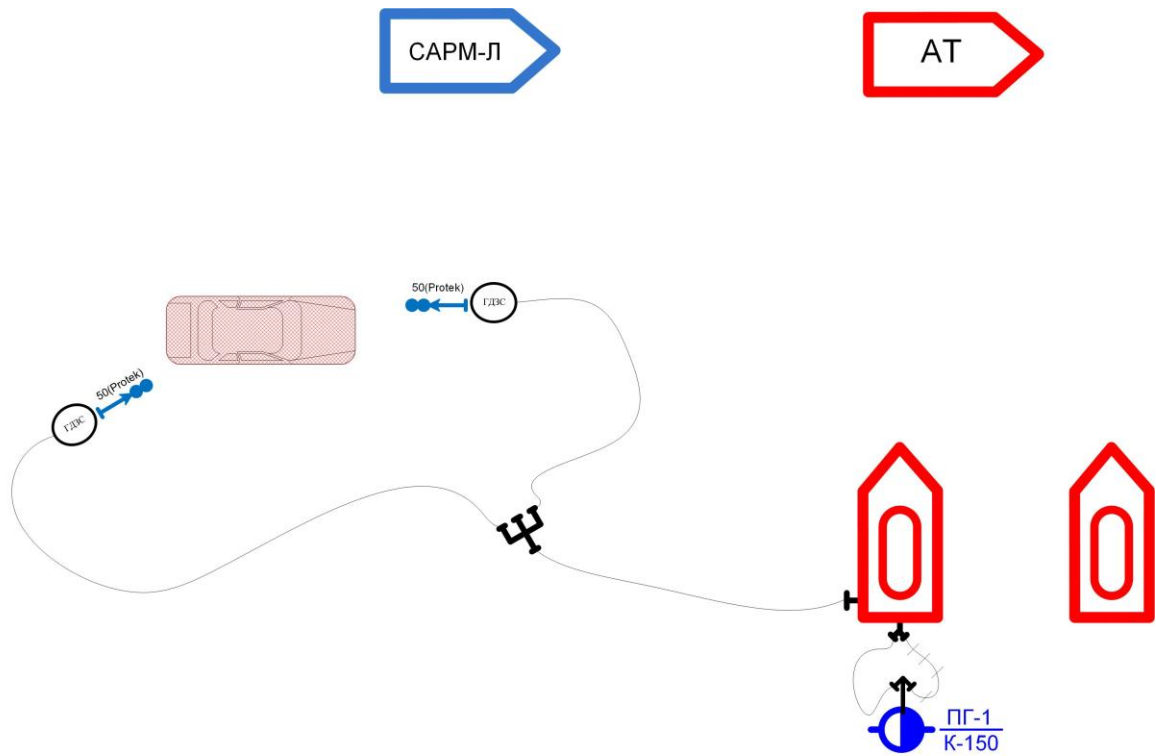
Загрози пасажиром



Загорання акумуляторної батареї

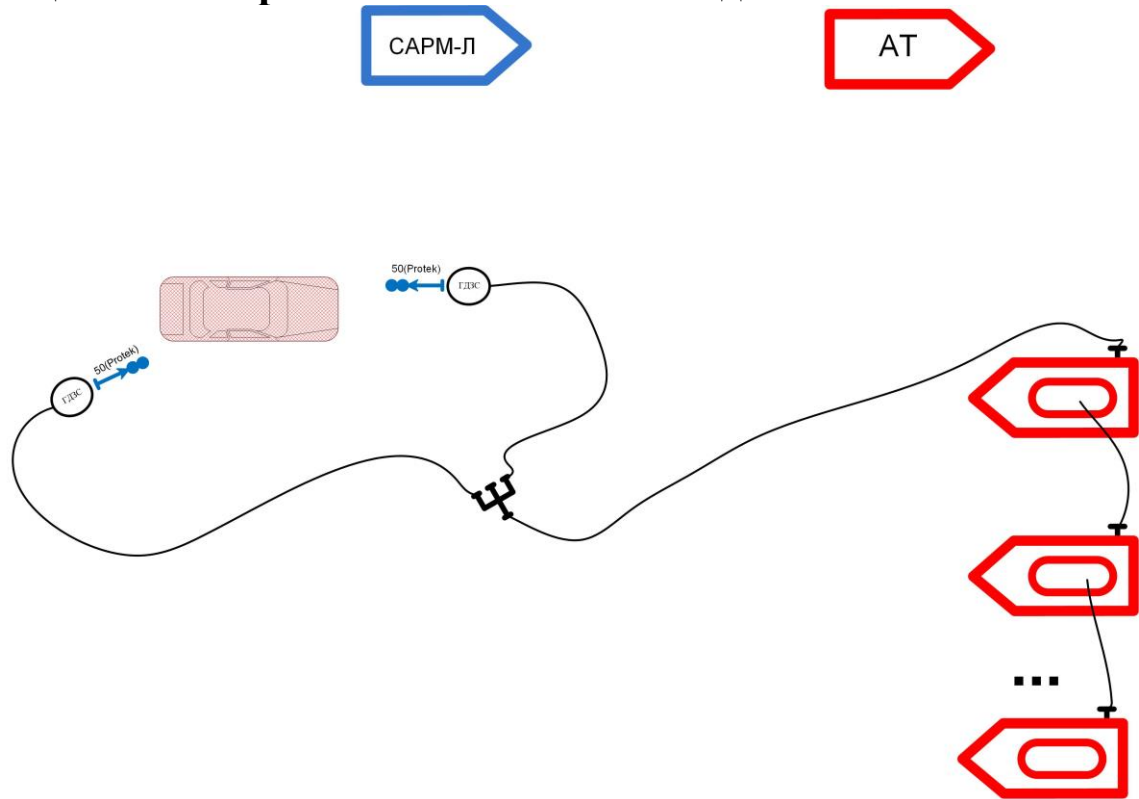


**Рекомендована схема розташування сил і засобів під час гасіння
ЕА та проведення інших невідкладних робіт в межах міської
забудови**



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

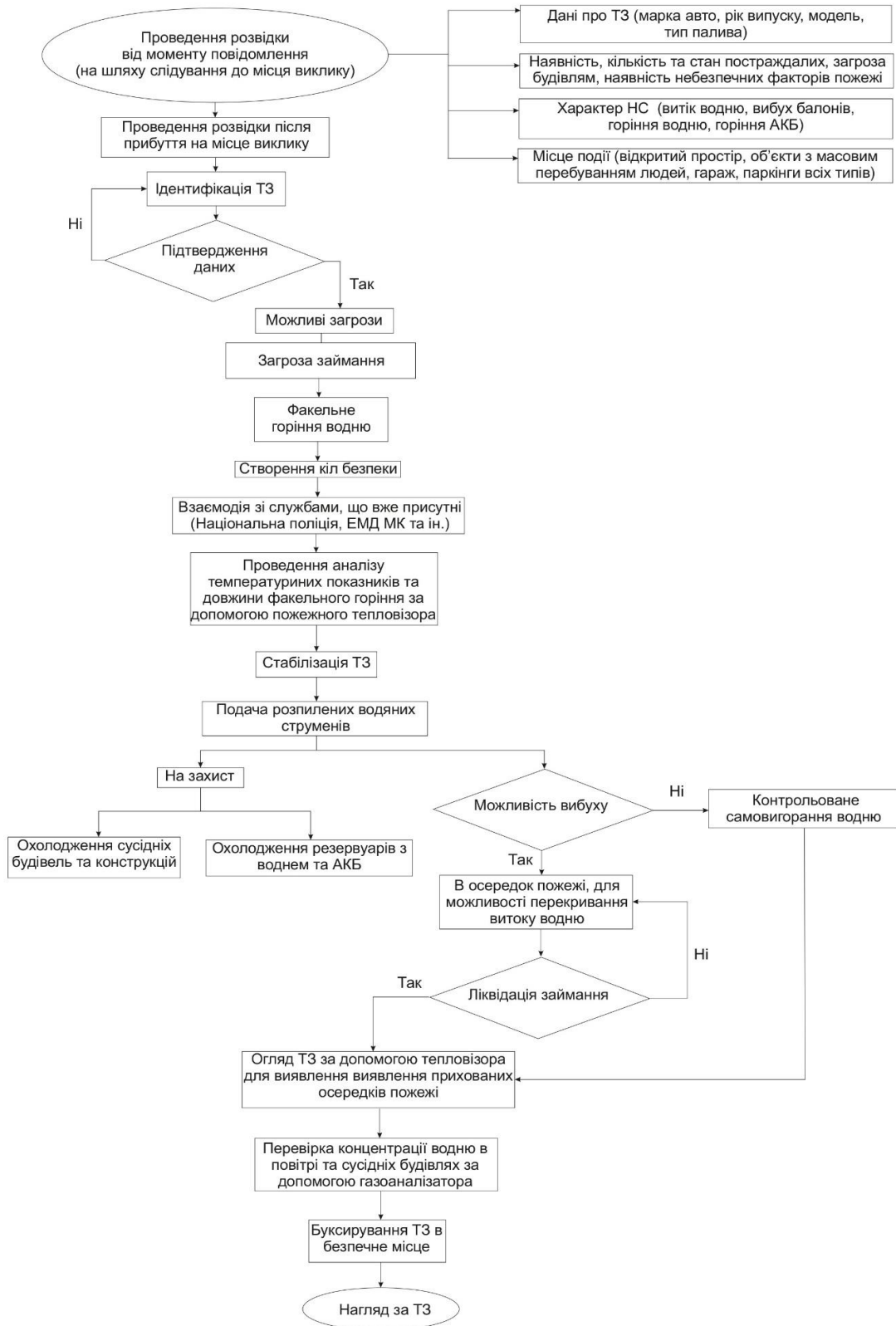
Рекомендована схема розташування сил і засобів під час гасіння ЕА та проведення інших невідкладних робіт в межах сільської місцевості або районів з обмеженим водопостачанням



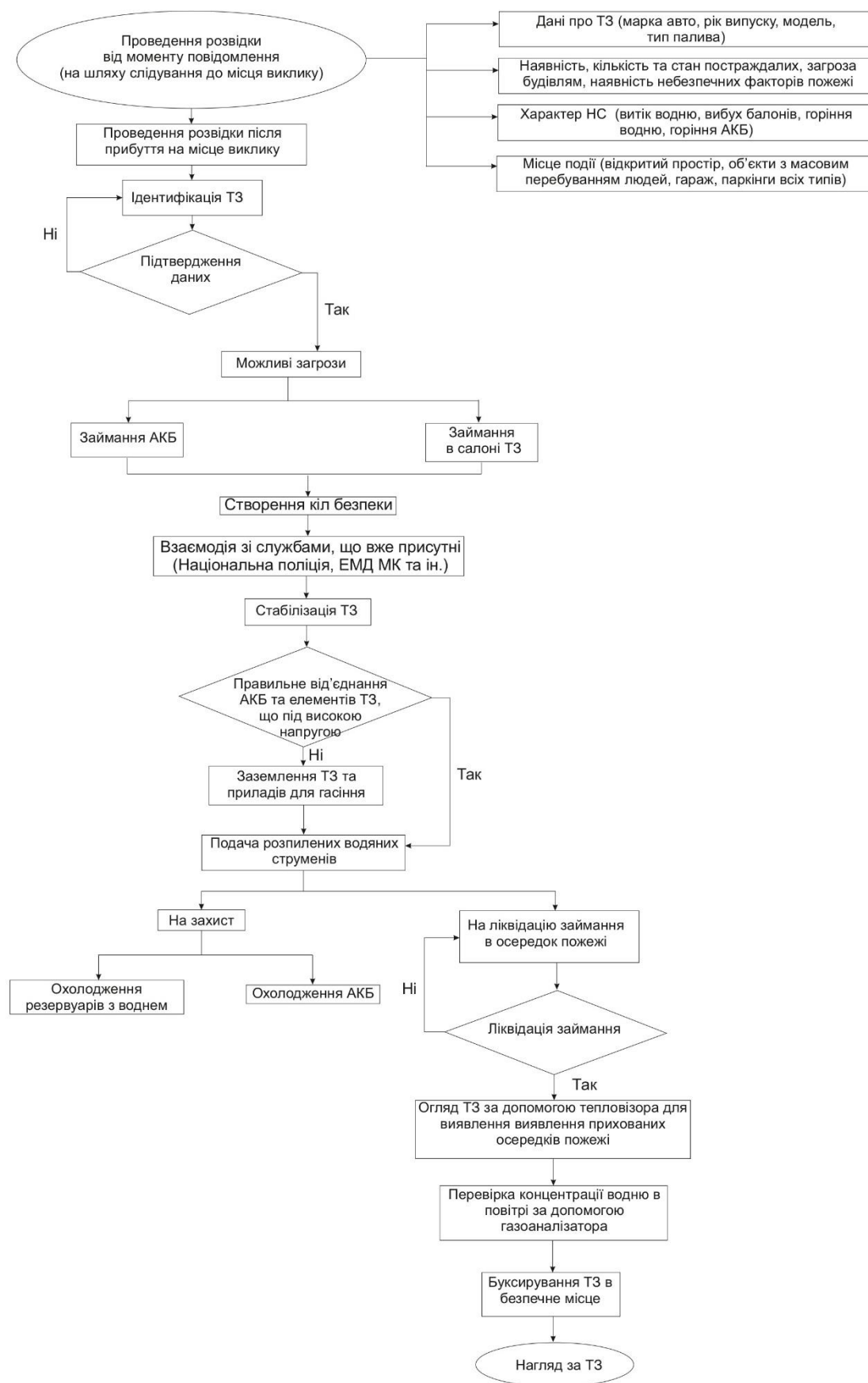
- Ланка ГДЗС повина складатися з двох газодимозахисників;
- Мінімальний запас вогнегасних речовин (води) повинен становити близько 8 тонн;
- Автомобіль технічної служби повинен бути обладнаний краном-маніпулятором;

Блок-схема рекомендованого алгоритму дій рятувальників під час ліквідації НС на АВП у випадку:

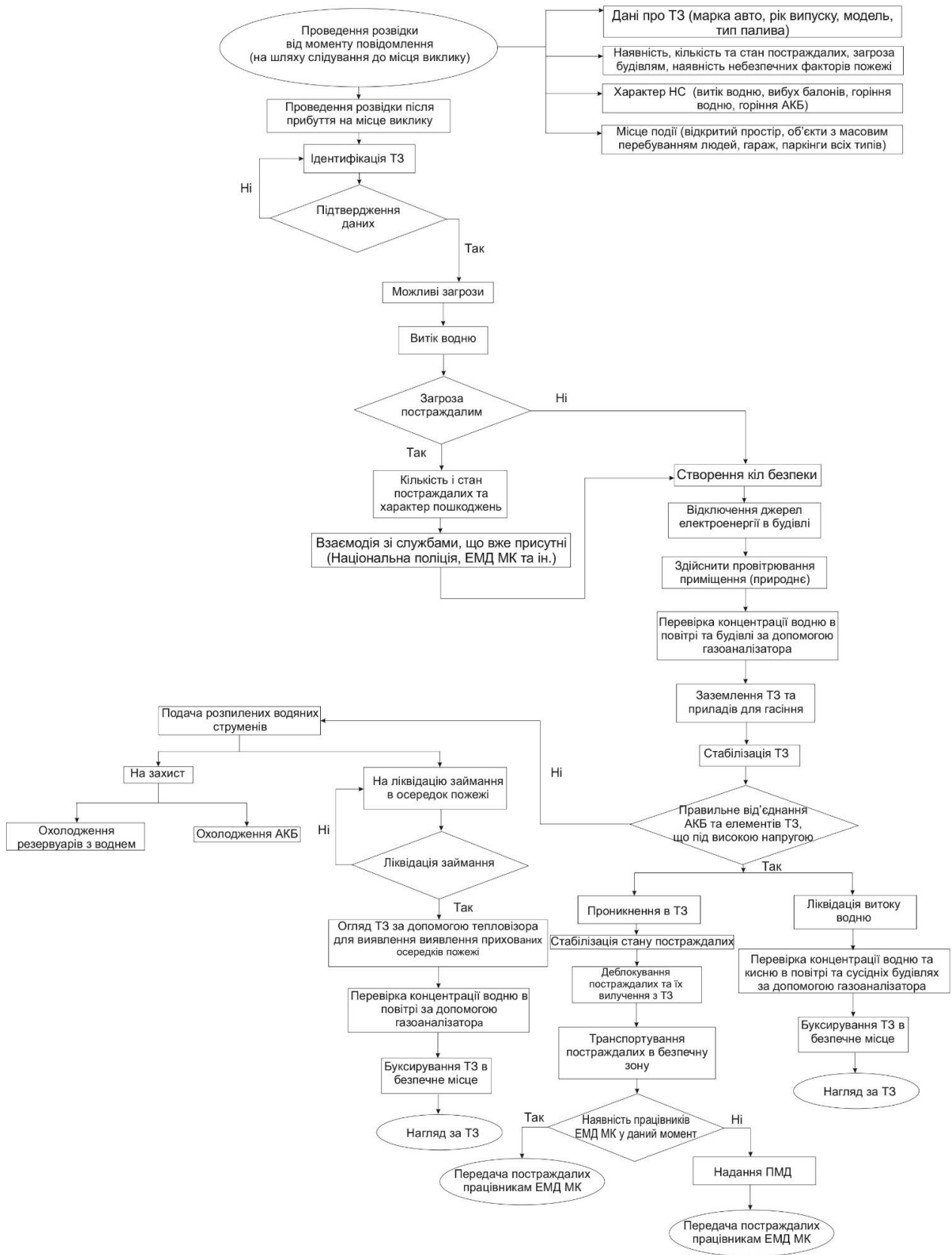
Загрози займання резервуарів з воднем



Загрози займання акумуляторної батареї та салону АВП

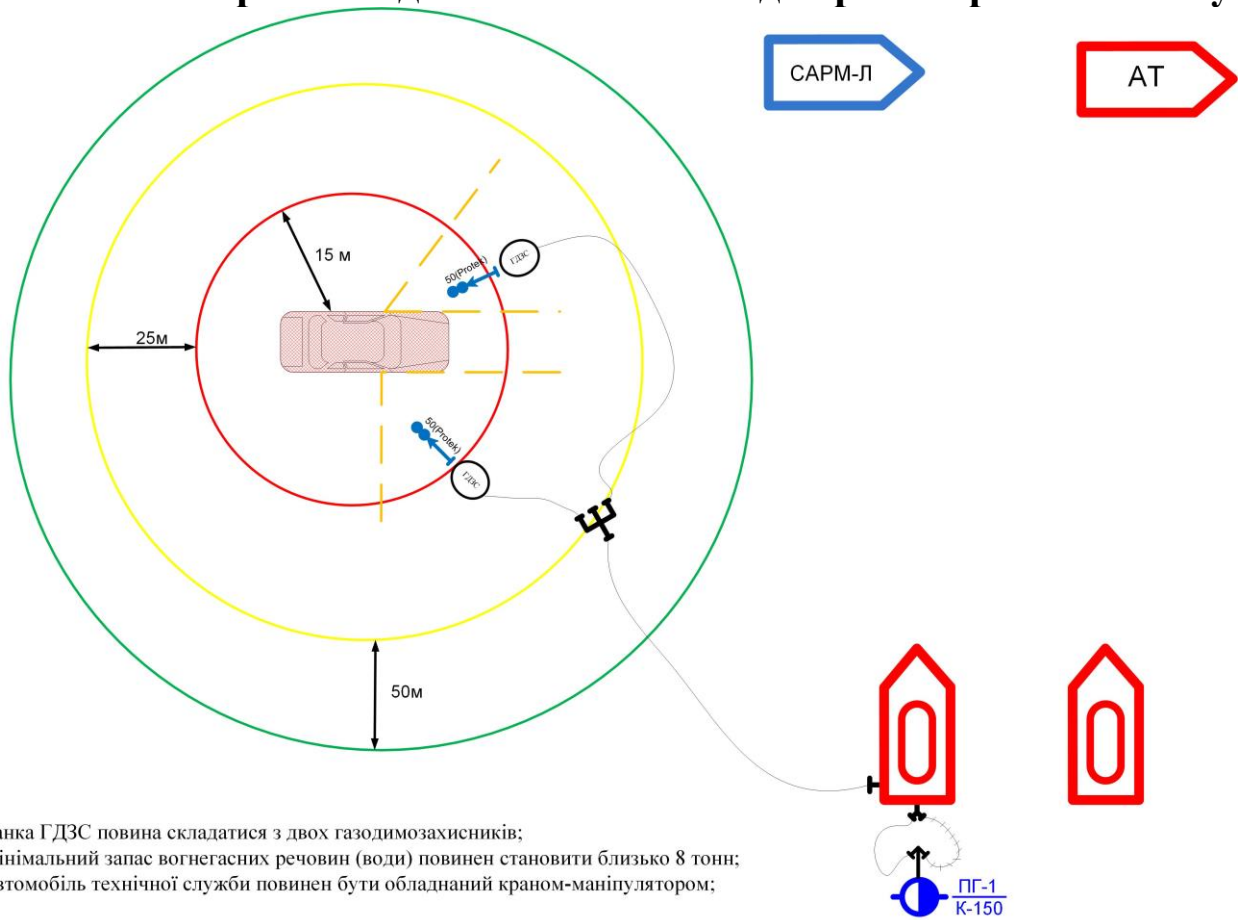


Загрози витоку водню без подальшого горіння



Додаток 7

Рекомендована схема розташування сил і засобів під час гасіння факельного горіння водню / наближення до транспортного засобу



ЛІТЕРАТУРА

1. Інформаційний інтернет ресурс «Interesting Engineering», 6 Interesting Statistics about Electric Vehicles – режим доступу: <https://interestingengineering.com/6-interesting-statistics-about-electric-vehicles>.
2. Інформаційний інтернет ресурс Wikipedia, Electric car use by country – режим: https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_car_use_by_country.
3. Інформаційний інтернет ресурс Hydrogen Fuel Cell Vehicle Market Statistics-2026 – режим: <https://www.alliedmarketresearch.com/hydrogen-fuel-cell-vehicle-market>.
4. Manoharan Y., Ehsan H., Butler B., Alzhahrani H., Bhi Thi Fou Senior, Ashuri T., Krohn J. Hydrogen Fuel Cell Vehicles; Current Status and Future Prospect *Appl. Sci.* 2019, 9, 17; doi:10.3390/app9112296
5. Інформаційний інтернет ресурс «IRS Group» – режим доступу: <http://irsgroup.com.ua/ecars>.
6. Інформаційний інтернет ресурс «Tesla» – режим доступу: https://www.tesla.com/sites/default/files/downloads/en_EU/model_s_2014_emergency_response_guide.pdf?09-2017.
7. Lazarenko O. Research on the Fire Hazards of Cells in Electric Car Batteries / O. Lazarenko, V. Loik, B. Shtain, D. Riegert // *Bezpieczeństwo i technika pożarnicza* – 2018. – Vol. 52. – Issue 44. – pp.58-67.
8. Casey C., Grant P.E., Fire Fighter Safety and Emergency Response for Electric Drive and Hybrid Electric Vehicles, Final Report, USA 2010. – режим доступу: <http://135jik1bbhst1159ri1ax2pj.wpengine.netdna-cdn.com/wp-content/uploads/sites/20/2010/11/FireFighter-Safety-Emergency-Response-Electric-Drive-and-Hybrid-Electric-Vehicles.pdf>
9. Lithium ion battery how does it work – режим доступу: https://www.youtube.com/watch?v=VxMM4g2Sk8U&ab_channel=LearnEngineering
10. Інформаційний інтернет ресурс Wikipedia, «Водень» – режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D1%8C>
11. Frano Barbir Safety issues of hydrogen in vehicles. Режим доступу: <https://courses.engr.illinois.edu/npre470/sp2019/web/readings/Hydrogen%20safety%20issues.pdf>

12. European Emergency Response Guide – режим доступу: http://www.hyresponse.eu/public_deliverables/D6.3_HyResponse_EuropeanEmergencyResponseGuide_V10-20161031_FinalVersion.pdf.
13. Chevrolet Equinox Fuel Cell, Emergency Response Guide – режим доступу: <https://h2tools.org/sites/default/files/EqFuelCellRResponseGuide.pdf>.
14. Гарилюк А. Автомобілі з гібридними та електричними приводами. Технічні аспекти. Частина 1. / А. Гаврилюк, А. Домінік. – Львів: ЛДУ БЖД, 2020. – 374 с.
15. Wang Q., Sun J., Chu G., Lithium Ion Battery Fire and Explosion, Fire safety science-proceedings of the eighth international symposium, 2005, 375–382, doi:10.3801/IAFSS.FSS.8-375.
16. J.G. Quintiere, S. Crowley, R.N. Walters, R.E. Lyon, D. Blake, Fire Hazards of Lithium Batteries, U.S. Department of Transportation Federal Aviation Administration, 2016, 50.
17. Spinner Neil S., Hinnant Katherine M., Tuttle Steven G., Rose-Pehrsson Susan L., Lithium-Ion Battery Failure: Effects of State of Charge and Packing Configuration, Naval Research Laboratory 2016, 21, doi.org/10.21236/ada637422.
18. Larsson F., Andersson P., Mellander B-E., Lithium-Ion Battery Aspects on Fires in Electrified Vehicles on the Basis of Experimental Abuse Tests, Batteries 2016, 2, 13; doi:10.3390/batteries2020009.
19. Long, R.T. Jr., Blum, A.F., Bress, T.J., Cotts, B.R.T. Best Practices for Emergency Response to Incidents Involving Electric Vehicles Battery Hazards: A Report on Full-Scale Testing Results, Fire Protection Research Foundation: Quincy, MA, USA, 2013, 316.
20. Long, R.T. Jr., Blum, A.F., Emergency Response to Incidents Involving Electric Vehicle Battery Hazards: Full-Scale Testing Results, International Symposium on Fire Investigation Science and Technology, USA, 2014, 12.
21. Ribière P., Grugeon S., Morcrette M., Boyanov S., Laruelle S., Marlair G., Investigation on the fire-induced hazards of Li-ion battery cells by fire calorimetry, Energy and Environ. Sci. 2012, 5, 5271–5280, doi.org/10.1039/c1ee02218k.
22. Fu Y., Lu S., Li K., Liu C., Cheng X., Zhang H., An experimental study on burning behaviors of 18650 lithium ion batteries using a cone calorimeter, Journal Power Sources, 2015, 273, 216 – 222, doi.org/10.1016/j.jpowsour.2014.09.039.

23. Chekannikov A. A., Kuz'mina A. A., Kulova T. L., Novikova S. A., Skundin A. M., Stenina I. A., Yaroslavtsev A. B., Proceedings of the Scientific-Practical Conference "Research and Development - 2016", 2016, 341-350 Development of Lithium-Ion Battery of the "Doped Lithium Iron Phosphate–Doped Lithium Titanate" System for Power Applications, doi.org/10.1007/978-3-319-62870-7_37.
24. Golubkov W., Fuchs D., Wagner J., Wiltsche H.E., Stangl C., Fauler G., Voitic G., Thaler A., Hacker V., Thermal-runaway experiments on consumer Li-ion batteries with metal-oxide and olivin-type cathodes. RSC Adv. 2014, 4, 3633–3642, doi.org/10.1039/c3ra45748f.
25. Huang P., Wang Q., Li K., Ping P., Sun J., The combustion behaviour of large scale lithium titanate battery, Sci. Rep. 2015, 5, doi:10.1038/srep07788.
26. Semenov, N.N., Some Problems in Chemical Kinetics and Reactivity, Princeton University Press, 1959. doi.org/10.1016/c2013-0-05256-5.
27. Yu, Y.H., Hasegawa, K., Derivation of the Self-accelerating Decomposition Temperature for Self-reactive Substances Using Isothermal Calorimetry, Journal of Hazardous Materials, 1996, 45, 193-205, doi.org/10.1016/0304-3894(95)00092-5.
28. Frano Barbir Safety issues of hydrogen in vehicles. Режим доступу: <https://courses.engr.illinois.edu/npre470/sp2019/web/readings/Hydrogen%20safety%20issues.pdf>.
29. Fundamentals of Hydrogen Safety Engineering (2012) Vladimir Molkov, p.216.
30. Kennerly H. Digges, R. Rhoads Stephenson (2006) Research in Fire Safety for Hydrogen-Fueled Vehicles, Motor Vehicle Fire Research Institute Режим доступу: <https://www.mvfri.org/Summaries/Hydrogen%20Research1.pdf>.
31. Інформаційний ресурс «Wikipedia» Хранение водорода – Hydrogen storage. Режим доступу: https://ru.qaz.wiki/wiki/Hydrogen_storage
32. D. Cirrone Report on hydrogen hazards and risks in tunnels and similar confined spa, 2019. Режим доступу: https://hytunnel.net/wordpress/wp-content/uploads/2019/09/HyTunnel-CS_D1.2_Risks-and-Hazards.pdf.
33. Lee C. Cadwallader, Haihua Zhao Personnel Safety with Pressurized Gas Systems, 2016. Режим доступу: <https://aiche.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/prs.11850>.

34. A.R. Scott, Occupational high-pressure injection injuries: Pathogenesis and prevention, *J Soc Occup Med* 33(1983), 56–59.
35. Інформаційний ресурс «Wikipedia», Диски Маха. Режим доступу: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B8%D>.
36. Бойко А.В., Гідрогазодинаміка: підручник. Х.: НТУ"ХП", 2007. – 444 с. Режим доступу: <https://core.ac.uk/download/pdf/50570036.pdf>.
37. Astbury G. R., Hawksworth S. (2007) Spontaneous ignition of hydrogen leaks: A review of postulated mechanisms. *International Journal of Hydrogen Energy*, p. 12.
38. Royle, M. and Willoughby, D.B. (2011a) Consequences of catastrophic releases of ignited and unignited hydrogen jet releases. *International Journal of Hydrogen Energy* 36, 2688-2692.
39. Brennan, S., Makarov, D., Molkov, V. (2010) Dynamics of flammable hydrogen-air mixture formation in an enclosure with a single vent, in: *Proceedings of the 6th International Seminar on Fire and Explosion Hazards*. Leeds.
40. Brennan, S., Molkov, V. (2013) Safety assessment of unignited hydrogen discharge from on board storage in garages with low levels of natural ventilation. *International Journal of Hydrogen Energy*, 38(19), 8159–8166.
41. Brennan, S., Molkov, V. (2018) Pressure peaking phenomenon for indoor hydrogen releases. *International Journal of Hydrogen Energy* 43, 18530–18541.
42. Cirrone D., Makarov D. and Molkov V. (2019a) Thermal radiation from cryogenic hydrogen jet fires. *International Journal of Hydrogen Energy*, vol.44, 8874-8885.
43. Cirrone D., Makarov D. and Molkov V. Simulation of thermal radiation from hydrogen underexpanded jet fire. Режим доступу: https://h2tools.org/sites/default/files/2019-07/Paper-143_0.pdf.
44. Cirrone, D. M. C., Makarov, D., Molkov, V. (2019b) Simulation of thermal hazards from hydrogen under-expanded jet fire. *International Journal of Hydrogen Energy*, vol.44, 8886-8892.
45. Cirrone D., Makarov D. and Molkov V. (2019c) Near Field Thermal Dose of Cryogenic Hydrogen Jet Fires, *International Seminar on Fire an Explosion Hazards*, 21-26 April 2019, St. Petersburg, Russia.
46. Cirrone, D., Makarov, D., Molkov, V. (2019d) Cryogenic hydrogen jets: flammable envelope size and hazard distances for jet fire, in: *International Conference on Hydrogen Safety*. Presented at the International Conference on Hydrogen Safety, Accepted, Adelaide, Australia.

47. Інформаційний інтернет ресурс «Wikipedia». Plug-in electric vehicle fire incidents. Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/Plug-in_electric_vehicle_fire_incidents.
48. 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>.
49. Інформаційний інтернет ресурс «Consumer Reports». Режим доступу: <https://www.consumerreports.org/car-safety/tesla-fires-demonstrate-challenges-firefighters-face-with-evs/>.
50. Інформаційний інтернет ресурс «Theverge». Режим доступу: <https://www.theverge.com/2018/7/3/17530646/tesla-battery-fire-electric-vehicles-transportation-science>.
51. Наказ МНС України № 1021 від 23.09.2011 «Про затвердження Методичних рекомендацій зі складання та використання оперативних планів та карток пожежогасіння».
52. Наказ МНС України №1341 від 16.12.2011 «Про затвердження Методики розрахунку сил і засобів, необхідних для гасіння пожеж у будівлях і на територіях різного призначення».
53. Довідник керівника гасіння / [Коротинський П.А., Савинський С.П., Луц В.І. та ін.]; під ред. В.С. Кропивницького. – К.: ТОВ «Літера-Друк», 2016, – 320 с.
54. Лазаренко О.В. Пожежогасіння та проведення інших невідкладних робіт в електрокарах / О.В. Лазаренко, О.Д. Синельников, І.М. Биков, А.С. Кусковець / Пожежна безпека : зб. наук. праць. – Львів: ЛДУ БЖД, 2019. – №34. – С. 54 - 58.
55. Лазаренко О.В. Конструктивні особливості та небезпека автомобілів на водневому паливі / О.В. Лазаренко, В-П.О. Пархоменко, Р.Ю. Сукач, Б.В. Білоножко, А.С. Кусковець // Пожежна безпека: зб. наук. пр. – 2020. – № 37. – С. 52-57.
56. Euro NCAP Improves Tertiary Safety by Introducing a Mobile App for First Responders in Europe. Режим доступу: <https://www.euroncap.com/en/press-media/press-releases/euro-ncap-improves-tertiary-safety-by-introducing-a-mobile-app-for-first-responders-in-europe/>.
57. Толмачев К. С., Евсюгин К. К. Экологическая опасность гибридных автомобилей // Молодой ученый. – 2018. – №7. – С. 44-45. – URL <https://moluch.ru/archive/193/48355/>.

58. Sravya Kosaraju (2009) A review of 'the importance of recycling lithium-ion batteries for lithium, in view of impending Electric Vehicle industry. Chalmers University of Technology, p.50. Режим доступу: <https://core.ac.uk/download/pdf/70596853.pdf>.

59. Global lithium demand expected to double by 2024. Режим доступу: <https://www.mining.com/global-lithium-demand-expected-to-double-by-2024/>.

60. Boyden A., Vi Kie Sooa, Doolana M. (2016) The Environmental Impacts of Recycling Portable Lithium-Ion Batteries. Procedia CIRP V.48 pp.188 – 193.

61. Наказ МВС України № 340 від 26.04.2018 «Статут дій ситуаціях органів управління та підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту під час гасіння пожеж».

62. Наказ ДСНС України № 80 від 28.01.2020 «Про затвердження Методичних рекомендацій щодо порядку дій аварійно-рятувальних формувань ДСНС під час ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій (небезпечних подій), пов'язаних із дорожньо-транспортними пригодами».

63. Пархоменко Р. В. Пожежна тактика: Практикум. Вид. 2-ге / Р. В. Пархоменко, Б. В. Болібрux, Д. О. Чалий. – Кам'янець-Подільський: ПП «Медобори-2006», 2013. – 416 с.

64. ДСТУ 2272:2006. Пожежна безпека. Терміни та визначення основних понять. – [Чинний від 09.06.2006]. – К.: Держстандарт України, 2007. – 28 с. – (Державний стандарт України).

65. ДСТУ 2273:2006. Протипожежна техніка. Терміни та визначення основних понять. – [Чинний від 01.04.2007]. – К.: Держстандарт України, 2007. – 44 с. – (Державний стандарт України).

66. Інформаційний інтернет ресурс «Jalopnik» – режим доступу: <https://jalopnik.com/watch-volunteer-firefighters-in-austria-extinguish-a-fi-1819665352>.

67. Інформаційний інтернет ресурс «Electrek» – режим доступу: <https://electrek.co/2016/09/10/tesla-fire-firefighters-behind-the-scene-disable-battery/>.

68. Randall T., Here is how Electric Cars Will Cause the Next Oil Crisis, Bloomberg, [electr. doc.] <https://www.bloomberg.com/features/2016-ev-oil-crisis/> [accessed: 25.02.2016].

69. Herron D., Model S Catches Fire in Norway at Supercharger, charging system seemingly at fault, The Long Tail Pipe. Evaluating the full Transportation and Energy life-cycle, [electr. doc.] <https://longtailpipe.com/2016/01/01/model-s-catches-fire-in-norway-at-supercharger-charging-system-seemingly-at-fault/> [accessed: 01.01.2016].

70. Лазаренко О.В. Розроблення моделей ліквідації надзвичайних ситуацій на транспортних засобах з альтернативними видами пального / О.В. Лазаренко, В.П.О. Пархоменко, О.В. Шкарапута // Пожежна безпека: зб. наук. пр. – 2021. – № 38. – С. 4-11.

ВІД АВТОРІВ

Авторський колектив цього посібника щиро вдячний провідним Європейським інститутам та організаціям за поширення та донесення передових знань в галузі пожежної безпеки та безпеки життєдіяльності.

Бажання допомогти та щирість працівників Академії пожежної безпеки (Instituut Fysieke Veiligheid) м. Арнем Королівства Нідерланди, а особливо професора Рікардо Віверо (Ricardo Weewer), надало можливість ознайомити авторів посібника з сучасними викликами та інноваціями у сфері безпеки життєдіяльності, що безперечно стало поштовхом для написання цього посібника.

Невпинна робота Курта Волмарха (Kurt Vollmacher) та інших зацікавлених осіб над міжнародним стандартом з безпеки автомобільного транспорту на альтернативних джерелах енергії відкрила всьому світу особливості та нюанси безпечного проведення аварійно-рятувальних робіт, в тому числі пожежогасіння, на подібних транспортних засобах.

Передові наукові надбання та висвітлення практичних досягнень таких організацій, як науково-дослідний інститут пожежної безпеки (FSRI, США), Шведське агентство з питань цивільного захисту у випадку надзвичайних ситуацій (MSB), Швецький науково-дослідний інститут (RISE) надає можливість науковцям, дослідникам та практичним працівникам вдосконалювати та поліпшувати свої знання та навички у сфері пожежної безпеки та безпеки життєдіяльності людини.

Безмежно вдячні та дякуємо Вам за вашу роботу.

Олександр ЛАЗАРЕНКО
Володимир-Петро ПАРХОМЕНКО

ACKNOWLEDGEMENT

The authors of this manual are sincerely grateful to the leading European institutes and organizations for disseminating and communicating advanced knowledge in the field of fire safety and life safety.

The desire and sincerity of the staff of the Fire Service Academy (Instituut Fysieke Veiligheid) in Arnhem city, the Netherlands, and especially Professor Ricardo Weewer, provided an opportunity to acquaint the authors with modern challenges and innovations in life safety, which undoubtedly prompted the writing of this textbook.

The relentless work of Kurt Vollmacher and other stakeholders on the international standard for vehicles on alternative energy sources has revealed to the world the features and nuances of safe rescue operations, including firefighting on such vehicles.

Advanced scientific achievements and coverage of practical achievements of such organizations as the Fire Safety Research Institute (FSRI, USA), Swedish Civil Contingencies Agency (MSB), Research Institutes of Sweden (RISE) provide an opportunity for scientists, researchers and practitioners to improve and improve their knowledge and skills in the field of fire safety and human safety.

We are infinitely grateful and thank you for your work.

Oleksandr LAZARENKO
Volodymyr-Petro PARKHOMENKO

Навчальне видання

**ЛАЗАРЕНКО Олександр Вікторович
ПАРХОМЕНКО Володимир-Петро Олегович**

**НЕБЕЗПЕКА ТА ОСОБЛИВОСТІ
ГАСІННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ
НА АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛАХ
ЕНЕРГІЇ**

Літературний редактор – Галина Падик
Комп'ютерна верстка – Маріанна Климус
Друк на різнографі – Назар Петролюк
Відповідальний за друк – Микола Фльорко

Підписано до друку 15.11.2021 р.
Формат 60×84/16. Гарнітура Times New Roman.
Друк на різнографі. Папір офсетний. Наклад: 100.
Ум. друк. арк. 8,9.

Друк ЛДУ БЖД
79007, Україна, м. Львів, вул. Клепарівська, 35
тел./факс: (032) 233-32-40, 233-24-79
ubgd@i.ua