

О. В. Бажинов, М. М. Кравцов

НЕБЕЗПЕКА ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

МОНОГРАФІЯ



2022

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

О. В. Бажинов, М. М. Кравцов

НЕБЕЗПЕКА ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Монографія

Харків
ЧП Стариченко Л.А.
2022

УДК 656.085.5

Автори:

О. В. Бажинов, д-р техн. наук, професор кафедри технічної експлуатації і сервісу автомобілів імені М. Я. Говорущенка Харківського національного автомобільно-дорожного університету

М. М. Кравцов, канд. техн. наук, доцент кафедри метрології і безпеки життєдіяльності Харківського національного автомобільно-дорожного університету

Рецензенти:

Кравченко О.П. д-р техн. наук, професор кафедри автомобілів в транспортних технологіях Дер-жавного університету Житомирська політехніка.

Щуляк М. Л., д-р техн. наук, професор кафедри автомобілів та тракторів Сумського національного аграрного університету.

О. В. Бажинов, М. М. Кравцов

НЕБЕЗПЕКА ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ: монографія/ О. В. Бажинов, М. М.

Кравцов – Харків: ЧП Стариченко Л.А., 2022. – 160 с.

У монографії розглядаються проблеми визначення моменту виникнення небезпеки руху в різних дорожньо-транспортних ситуаціях та технічні небезпеки різних видів транспортних засобів: автомобіля, електро та гібридного транспорту. Розглянуто роботи дослідників з даної тематики й описані їх результати. У роботі наведена найбільш оптимальна методика із встановлення критеріїв джерела небезпеки і визначена реалізація функції забезпечення належного інформування учасників дорожнього руху, яка можлива шляхом внесення змін до технологічних процесів виготовлення, експлуатації, ремонту та правил дорожнього руху. Дані зміни рекомендують всім учасникам дорожнього руху вчитись правильно оцінювати обстановку, адекватно та своєчасно реагувати на її зміни, об'єктивно оцінювати дії учасників руху, ступінь відповідальності за порушення, також правильно діяти в екстремальних та надзвичайних ситуаціях. Автори описує ознаки виникнення небезпеки для руху, для технічних несправностей та причин і дій при виникненні пожеж, вибухів, гасінні вогню, евакуації пасажирів, вказують на істотні проблеми з безпекою транспортних засобів.

Монографія присвячена для науковців, аспірантів, студентів, а також фахівців та ентузіастів пов'язаних з проектуванням, експлуатацією і переобладнанням транспортних засобів.

ЗМІСТ

Передмова	5
Вступ	10
1. Ситуація з дорожньо-транспортними пригодами	17
2. Високовольтні компоненти	18
3. Причини та наслідки пожеж автотранспорту	41
4. Пожежі електричних та гібридних транспортних засобів	48
5. Огляд літій-іонних акумуляторів	51
6. Принципи роботи Li-ion акумуляторів	55
7. Пожежні ризикові експерименти електромобілів та їх акумуляторів	75
8. Гасіння електромобіля	85
9. Особливості горіння та гасіння металів та гідридів металів	96
10. Пожежна безпека транспортних засобів	101
11. Результати наукових досліджень по пожежній небезпеці електро- мобілів	118
12. Загальні положення електромагнітної безпеки автомобілів з електро- приводом	124
13. Характеристики магнітного поля автомобілів з електроприводом	130
14. Рекомендації щодо обмеження випромінювань електромагнітних по- лів	137
15. Сучасний стан впливу магнітного поля від автомобілів з електро- приводом	144
Список використаних джерел	124

ПЕРЕДМОВА

Транспортний засіб: джерело підвищеної небезпеки

Події на дорогах трапляються щодня. Наслідки бувають різні: від незначних пошкоджень автомобіля до повного знищення і людських жертв. Не завжди власникам транспортних засобів вдається врегулювати суперечку про відшкодування матеріальних збитків у добровільному порядку на місці ДТП, а іноді це й неможливо з низки причин: оскільки саме наслідками і вимірюється міра відповідальності винних.

Цивільний кодекс (далі – ЦК) України вперше у законодавчій практиці, у ч. 1 ст. 1187 визначає як джерело підвищеної небезпеки діяльність, пов'язану з використанням, зберіганням або утриманням транспортних засобів, механізмів та обладнання, з використанням та зберіганням хімічних, радіоактивних, вибухонебезпечних, вогнебезпечних та інших речовин, із вмістом диких тварин, службових собак та собак бійцівських порід. Зазначимо, що цей перелік не є вичерпним.

У монографії розглядаються такі види джерел підвищеної небезпеки, як технічні несправності, пожежна небезпека транспортних засобів та їх екологічні наслідки.

Під транспортним засобом слід розуміти всі види автомобілів, тракторів та інших самохідних машин, трамваї та тролейбуси, а також мотоцикли та інші механічні транспортні засоби. В окремих випадках для встановлення технічних параметрів транспортного засобу, а отже, визнання його джерелом підвищеної небезпеки, проводиться відповідна експертиза. Характерними ознаками транспортного засобу як джерела підвищеної небезпеки є: - неможливість повного контролю з боку людини; наявність шкідливих властивостей (технічні, пожежних, екологічних); велика ймовірність заподіяння шкоди. Іншими словами, діяльність має бути пов'язана з підвищеною небезпекою як для того, що здійснює її, так і для інших осіб.

Підставами відповідальності за шкоду, заподіяну джерелом підвищеної небезпеки, є: збитки; протиправність дії, що з підвищеної небезпекою; причинний зв'язок між дією джерела підвищеної небезпеки та заподіяною шкодою.

Під збитком слід розуміти будь-яке зменшення блага, яке охороняється правом. При цьому характерною рисою шкоди, заподіяної джерелом підвищеної небезпеки, є її матеріальність, незалежно від того, завдано шкоди майну потерпілого або його життю та здоров'ю. Протиправна діяльність, пов'язана з підвищеною небезпекою, стає у разі, якщо порушуються правові норми та суб'єктивні права громадян, юридичних осіб або держави.

Вимагати відшкодування збитків можуть безпосередньо потерпілі або їх правонаступники. Суб'єктами права вимоги є фізичні та юридичні особи, а також держава.

З практичної точки зору відшкодування збитків, заподіяних джерелом підвищеної небезпеки, буває двох видів: відшкодування збитків, заподіяних майну потерпілого; відшкодування моральної шкоди. Причому розмір моральної шкоди жодним чином залежить від шкоди, заподіяної майну потерпілого.

Отже, якщо у разі ДТП пошкоджено лише машину, настає цивільно-правова відповідальність, розмір якої встановлюється домовленістю сторін або в судовому порядку. Якщо ж постраждали люди, то, як правило, набуває чинності Кримінальний кодекс України.

Так, у разі заподіяння потерпілим тілесних ушкоджень (травми, що спричинили тривале порушення функцій будь-якого органу або інший тривалий розлад здоров'я) середньої тяжкості, порушується кримінальна справа.

Зазначимо, що кримінальну справу порушують за фактом ДТП, тоб-то наявність чи відсутність заяви потерпілого перестав бути підставою порушення чи відмови у порушенні кримінальної справи.

У ході розслідування досконало встановлюються обставини ДТП, експертним шляхом визначаються його причини та тяжкість наслідків. Залежно від результатів слідства, суд може визначити один із таких заходів покарання: штраф до 100 неоподатковуваних мінімумів доходів громадян; виправні роботи терміном до

2 років; арешт терміном до 6 місяців; позбавлення волі терміном до 3 років. Будь-який з видів покарання може містити та позбавлення права керувати транспортним засобом терміном до 3 років.

Смерть потерпілого чи заподіяння йому тяжких тілесних ушкоджень тягне за собою покарання від 3 до 8 років позбавлення волі з позбавленням права керувати транспортним засобом на строк до 3 років або без такого.

Загибель кількох осіб тягне за собою покарання від 7 до 12 років позбавлення волі з позбавленням права керувати транспортним засобом на строк до 3 років.

У ході слідства та судового розгляду вирішується також питання матеріальної відповідальності - визначається, які суми і за що підлягають стягненню з винного. Якщо узагальнити ознаки діяння, воно має бути скоєно: тільки при експлуатації транспортних засобів; особою, яка виконує функцію керування транспортним засобом; у процесі дорожнього руху; без одночасного поєднання руху транспортного засобу з виконанням нетранспортних робіт; всупереч вимогам правил дорожнього руху чи іншим нормативним актам [1].

З відшкодуванням майнових збитків під час розгляду справи в суді особливих проблем не виникає, оскільки він відповідає реальній вартості втраченого майна на момент розгляду справи в суді або вартості виконання робіт, необхідних для відновлення пошкодженої речі (ст. 1192 ЦК України). Спосіб відшкодування суд обирає, враховуючи обставини справи, що розглядається, і побажання потерпілого. Це може бути або відшкодування шкоди в натурі (передача майна того ж таки якості, ремонт пошкодженого майна і т. д.), або відшкодування шкоди в повному обсязі.

Щодо моральної шкоди, то відповідно до п. 1 ч. 2 ст. 1167 ЦК України він відшкодовується у разі каліцтв, інших пошкоджень здоров'я або смерті потерпілого внаслідок дії джерела підвищеної небезпеки незалежно від вини власника транспортних засобів.

Яку максимальну грошову суму може назвати потерпілий за рахунок відшкодування моральної шкоди? А будь-яку! Закон не обмежує потерпілого у своїх

вимогах. А чи відповідає необхідна сума морального відшкодування справжнім обставинам у справі вирішить суд. При цьому суд, звичайно ж, вислухає сторони, вивчить наявні у справі документи та, керуючись принципами законності, гласності та незалежності, оцінить почуте з погляду закону та за своїм внутрішнім переконанням. А як сторони аргументують свою позицію, на який юридичний документ чи норму закону посилятимуться – це головний біль учасників судового процесу.

Одним із найважливіших нюансів, що виникають у період підготовки справ щодо ДТП до слухання, є співвідношення та правильність застосування понять “власник транспортного засобу” та “власник транспортного засобу”.

Відповідно до Постанови Пленуму Верховного Суду України "Про практику розгляду судами цивільних справ за позовами про відшкодування збитків" від 27.03.1992 р. № 6 - право на відшкодування заподіяної шкоди має власник джерела підвищеної небезпеки. Отже, презюмується поняття “власник”, а чи не “власник”. Під власником джерела підвищеної небезпеки розуміється юридична чи фізична особа, яка здійснює експлуатацію транспортного засобу в силу права власності, повного господарського відання, оперативного управління чи інших підстав (договір оренди, доручення та інших.).

Не вважається власником джерела підвищеної небезпеки і не несе відповідальності за шкоду перед постраждалою особою, яка керує джерелом підвищеної небезпеки через трудові відносини (наприклад: водій автобуса, машиніст паровоза, оператор тощо).

Зазначимо, що відповідальність юридичної особи настає лише у випадках, коли особа, з вини якої заподіяна шкода, перебуває з даним підприємством у трудових відносинах та шкода заподіяна у зв'язку з виконанням трудових (службових) обов'язків незалежно від того, на яких умовах вона є працівником підприємства: постійним, сезонним, тимчасовим працівником за трудовим договором або з інших підстав [2].

Відповідно, якщо особі було заборонено керувати джерелом підвищеної небезпеки, а він без дозволу скористався ним, то ця дія буде вважатися неправомірним володінням і на цю особу буде покладено обов'язок відшкодувати шкоду.

Якщо власник передасть транспортний засіб іншій особі в управління без належного правового оформлення, відповідальність нестиме власник транспортного засобу. Слід пам'ятати існування права зворотного вимоги (регресу). Регресна вимога - це вимога кредитора до боржника (особі, яка завдала шкоди) про повернення сплаченого з вини відшкодування потерпілому.

При взаємовідносинах працівника і роботодавця право регресу виникає з відшкодування потерпілому шкоди і з цього моменту починається відлік терміну позовної давності. Термін позовної давності становитиме 3 роки. Ґрунтуючись на судовій практиці, можна говорити, що суд не задовольнить регресний позов, якщо надання винесення рішення підприємство (позивач) не відшкодував заподіяної шкоди.

При встановленні обсягу відповідальності відповідача за регресним позовом існують деякі тонкощі. Відомо, що боржник повинен розрахуватися повному обсязі. Однак посадові особи слідства, прокуратури, суду несуть відповідальність лише, якщо в їх діях є: склад злочину та вирок, що набрав чинності.

Щодо інших працівників, шкода, заподіяний і під час ними трудових обов'язків, відшкодовується з урахуванням норм трудового законодавства.

Відповідно до ст. 132 Кодексу законів про працю (далі - КЗпП) України, - за шкоду, заподіяну підприємству, установі, організації при виконанні трудових обов'язків, працівники, з вини яких завдано шкоди, несуть матеріальну відповідальність у розмірі прямої дійсної шкоди, але не більше за свою середню місячну заробітку.

Допускаються випадки та повної матеріальної відповідальності, якщо: збитки заподіяно діями працівника, що містять ознаки діянь, які переслідуються у кримінальному порядку; збитки завдані працівником, який перебував у нетверезому стані.

Дбаючи про рівність сторін судового процесу, законодавець визначив випадки, коли завдавач шкоди – власник джерела підвищеної небезпеки – не несе відповідальності перед потерпілим. По-перше, власник джерела підвищеної небезпеки не несе відповідальності, якщо доведе, що цей транспортний засіб вибув з його володіння внаслідок неправомірних дій інших осіб. По-друге, власник джерела підвищеної небезпеки не несе відповідальності, якщо ДТП сталася внаслідок наміру потерпілого. По-третє, власник джерела підвищеної небезпеки не несе відповідальності, якщо ДТП сталася внаслідок дії непереборної сили. При цьому необхідно довести: наявність непереборної сили та її надзвичайний (форс-мажорний) характер; неможливість запобігти заподіяння шкоди; причинний зв'язок між ДТП, обставинами непереборної сили та заподіяною шкодою.

Найчастіше для суду достатнім доказом наявності непереборної сили є висновок Торгово-промислової палати чи судових експертів. Зазначимо, що груба необережність потерпілого може бути підставою лише зменшення розміру відшкодування, а чи не звільняє від відповідальності.

У цій монографії розглянуті далеко не всі питання, які можуть виникнути при взаємодії із джерелом підвищеної небезпеки транспортного засобу. А враховуючи той факт, що автомобілі давно і все заповнили, для попередження про недопущення деяких технічних несправностей, їх усунення наприклад, від електричної, пожежної, екологічної небезпек і деяких юридичних аспектів при виникненні дорожньо-транспортних пригод пропонуємо водіям, пішоходам та усім бажаючим ознайомитися з технічними, економічними, екологічними проблемами з метою збереження життя та здоров'я при обслуговуванні та управлінні транспортними засобами та дуже уважної поведінки на дорогах.

ВСТУП

Минулий рік став поворотним для всієї промисловості електротранспорту. Аналітики відзначили різке зростання частки електромобілів у глобальних продажах машин у всьому світі. Порівняно з 2020 роком продаж збільшився більш ніж удвічі. Якщо позаминулого року кількість електромобілів перевищила 3 млн екземплярів у всьому світі, то до кінця 2021 р. було продано вже 6,5 млн експ. Згідно з матеріалами woodmac.com, обсяг електромобілів у світових продажах усіх авто склав 9% — і це вже серйозна заявка на майбутнє домінування «зеленого» транспорту.

Зараз дорогами світу вже їздить близько 16 млн електромобілів. У середньому це близько 8,6% загальної кількості транспортних засобів. Обсяг споживаної енергії вже зріс до 30 ТВт * год. По країнах кількість BEV розподіляється дуже нерівномірно. Європа та Китай лідирують із часткою ринку електромобілів 16% і 14% відповідно, а на США припадає лише 4,5%. Американський ринок дуже зацікавлений у великих електропікапах, і саме за їх рахунок має збільшитись приріст [3].

Практично з початку появи моделей компанії Tesla глава концерну Ілон Маск стверджує, що це найбезпечніші електромобілі у світі. Але чи це так насправді? Сумніви в надійності машин Маска періодично висловлюють навіть сенатори США, що вже говорити про «викриття» блогерів.

Особливо скандальними в і так екстравагантній фірмі виявилися розробки системи автоматичного водіння. Інженери намагаються впровадити в машини практично повний автопілот, проте поки що широко розрекламована «самостійність» її лише провокує хакерів вишукувати нові помилки в його роботі. А деякі водії надто безтурботні за кермом, покладаючись на "розумну" машину.

У плані міцності кузова та надійності електрокарів бренду вже практично немає сумнівів. Високий рівень безпеки підтверджують безліч краш-тестів, які проводять експерти. У компанії стверджують, що у їхнього «експерсу» всі елементи дизайну продумані, щоб захистити пасажирів від наслідків аварії.

Тяжкий електродвигун знаходиться ззаду, а значить, не може нашкодити водію при зміщенні. Зміцненню конструкції допомагає акумулятор: він виступає додатковим щитом в днище машини. Крім того, завдяки батареї електромобілі мають дуже низький центр тяжіння — це захищає їх від перевертання при ударі.

Загалом усередині салону багато вільного місця за рахунок розташування блоків АКБ під підлогою. При аварії ногам тих, хто сидить, нічого не загрожує.

Кузов зібраний із особливо міцної сталі. Під час незалежних тестів під час перевороту дах витримав навантаження $\times 4$ від спорядженої маси.

Залежно від характеру виконання робіт на працівників автотранспортних підприємств, а також підприємств, до складу яких входять автотранспортні об'єкти, впливають небезпечні та шкідливі виробничі чинники, які за певних умов можуть призвести до виробничих травм, професійних хвороб, тимчасового або усталеного зниження працездатності, підвищення частоти соматичних та інфекційних захворювань.

Виробничі чинники виокремлюють як фізичні, хімічні, біологічні та психофізіологічні. На автомобільних дорогах на здоров'я водіїв та ризик ДТП несприятливо впливають:

- висока інтенсивність дорожнього руху;
- підвищена температура повітря у кабіні транспортного засобу в теплий період року (інакше – протяги через підвищену швидкість руху повітря, якщо відкрито вікна кабіни) та знижена – у холодний період року (за відсутності кондиціонерів);
- підвищена температура металевих та інших поверхонь у кабіні транспортного засобу в теплий період року та знижена – у холодний період року;
- підвищена концентрація шкідливих газів у кабіні – окису (двоокису) вуглецю, оксидів азоту, пари бензину чи дизельного палива та ін.;
- підвищений рівень шуму і вібрації на робочому місці водія;
- нервово-емоційне напруження під час керування автомобілем за умов інтенсивного дорожнього руху;

- недотримання водіями режиму праці та відпочинку (перевищення тривалості керування транспортним засобом протягом робочого дня), що призводить до перевтоми;
- монотонність праці під час керування автомобілем(зокрема, у разі далеких рейсів);
- підвищене фізичне навантаження під час тривалого керування;
- незадовільний технічний стан систем транспортного засобу, що визначають безпеку автомобіля;
- незадовільний стан автомобільних та ґрунтових доріг в Україні;
- низький рівень культури поведінки учасників дорожнього руху на автомобільних дорогах, що призводить до порушення вимог «Правил дорожнього руху» (швидкісного режиму, правил випереджання інших транспортних засобів, проїжджання залізничних переїздів, порядку увімкнення фар та габаритних вогнів тощо);
- порушення правил дорожнього руху іншими автомобілістами та пішоходами, що призводить до ДТП;
- злочинні дії пасажирів та інших осіб;
- відсутність належного контролю за дотримання водіями «Правил дорожнього руху» та інших нормативно-правових актів з безпеки дорожнього руху та охорони праці.

Першочергове значення серед шкідливих виробничих чинників на автотранспорті належить нервово-емоційному напруженню водія під час руху. Таке перенапруження пов'язано з кількістю і характером інформації про довкілля, що надходить до водія, відповідальністю за життя і здоров'я учасників руху, збереження матеріальних цінностей, а також залежить від індивідуальних рис водія автомобіля [4].

Інформаційний потік, що надходить до водія автомобіля, за певних умов може спричиняти стан монотонії та засинання під час руху. Це спостерігається під час руху в транспортному потоці з рівномірною швидкістю і посилюється за умов одноманітності дорожніх умов, низької інтенсивності руху.

Нервово-емоційне напруження залежить також від ситуацій за певних дорожніх умов: раптове гальмування, випередження інших автомобілів, ускладнене проїжджання нерегульованих перехресть тощо. Під час технічного обслуговування та ремонтування автотранспортних засобів можуть мати місце такі основні небезпечні та шкідливі виробничі чинники:

- підвищена температура та швидкість руху повітря у приміщенні ремонтного підрозділу (в теплий період року) та знижена температура повітря (у холодний період року);
- підвищена загазованість повітря робочої зони (високий вміст окису чи двоокису вуглецю, оксидів азоту, пари бензину та ін.);
- наїжджання транспортних засобів на людей, рухомі та нерухомі перешкоди у майстерні, на території майстерні чи на дорозі (внаслідок самовільного руху, під час увімкнення двигуна, руху на оглядовій канаві та ін.);
- раптове опускання (падіння) розібраних і піднятих (підвішених, встановлених на тимчасові опори) частин транспортних засобів під час технічного обслуговування та ремонтування (підвісна система, колеса, мости та інші вузли);
- раптове опускання піднятого кузова автомобіля-самоскида під час технічного обслуговування та ремонтування його гідропідіймача;
- раптове опускання відкидної кабіни вантажного автомобіля;
- падіння деталей, вузлів, агрегатів, інструменту;
- вилітання замкового кільця під час накачування шин коліс;
- розривання покриття під час накачування шин коліс;
- падіння працівників внаслідок нестійкого положення під час відкручування чи закручування гайок кріплення коліс; – падіння нестійко опертого колеса;
- висока електрична напруга живлення ручного інструменту;
- необхідність виконання обслуговувальних і ремонтних робіт, перебуваючи на висоті вище 1,3 м (на драбинах, естакадах, негороджених майданчиках);
- незакриті оглядові ями;
- напруженість праці через вимушену робочу позу в оглядовій канаві;

– термічні чинники, що можуть проявитися під час пожежі чи вибуху внаслідок: подавання палива до карбюратора двигуна самопливом; використанням відкритого полум'я під час перевіряння наявності палива у паливному баку; витікання газу з газобалонної установки, а також опіки паром чи гарячою водою з системи охолодження автомобіля);

– скалки металу, що відлітають під час випресовування (запресовування) шкворнів, пальців, підшипників, валів, осей, під час рубання металу;

– недостатній рівень природного і штучного освітлення на робочому місці слюсаря-ремонтника;

– підвищена вологість повітря під час миття деталей автомобіля;

– підвищені рівні шуму та вібрації під час випробування автомобіля та виконання ремонтних робіт;

– підвищене фізичне навантаження внаслідок необхідності підіймання та перенесення важких предметів.

Небезпечна обстановка, що вимагає від водія вживання негайних заходів, може виникати також, коли водій хоч і не бачить перешкоди, але за різними ознаками може передбачити його появу (наприклад, м'яч, що викотився на проїжджу частину, пішоходи, що вибігають один за одним через обмежуючий огляд перешкоди, тощо). У цих випадках небезпечна обстановка виникає в момент, коли водію слід негайно вжити необхідних заходів для запобігання пригоді, якщо він може виявити такі ознаки.

Слід також вважати, що небезпечна обстановка виникає у всіх випадках, коли водій позбавлений можливості спостерігати за дорожньою обстановкою у напрямку руху транспортного засобу (наприклад, при засліпленні, обмеженій видимості та оглядовості, русі заднім ходом тощо), якщо не виключена можливість потрапляння перешкоди у небезпечну зону [5].

При наближенні до діляниць з підвищеною небезпекою для руху, а також у випадках, коли водій, згідно з Правилами руху, повинен дотримуватись особливої обережності, йому слід вживати заходів, що зменшують ймовірність виникнення

небезпечної обстановки: підвищити увагу (це скорочує час реакції водія), знизити швидкість руху, збільшити інтервал тощо.

Необхідно мати на увазі, що наведені ситуації є лише типовими, що дозволяють експерту дійти правильного висновку про момент виникнення небезпечної обстановки здебільшого. Однак, в окремих випадках, залежно від конкретних обставин події, під час вирішення питання про момент виникнення небезпечної обстановки експерт може дійти інших висновків.

Так, якщо пішохід переходить проїжджу частину широкої вулиці ліворуч і може опинитися в небезпечній зоні, небезпечна обстановка виникає в момент, коли ще можливо запобігти наїзду. Однак якщо він спокійно наближається до островця безпеки, на якому, пропускаючи транспортні засоби, зупинилися інші пішоходи, важко припускати, що він пройде острівцею, не звертаючи уваги на небезпеку, що насувається. У цьому випадку небезпека для руху може виникати з початку руху пішохода від островця безпеки, коли запобігти наїзду вже не можна.

Небезпечна обстановка не виникає, якщо пішохід, що перебігає дорогу, встигає вийти за межі небезпечної зони. Однак, якщо пішохід біжить, щоб зупинити транспортний засіб, небезпечна обстановка виникає в момент, коли за характером дій пішохода води гелі міг визначити його наміри.

При експертних дослідженнях ті чи інші величини можна визначити шляхом розрахунків різними методами. Вибір методу залежить від цього, наскільки точно під час проведення дослідження необхідно враховувати вплив різних причин події результати розрахунків. Доцільно користуватися максимально простим методом, що дозволяє в той же час дати правильну відповідь на запитання.

Так, для вирішення питання про перевищення водієм дозволеної на даній ділянці швидкості руху необхідно встановити, якою могла бути швидкість цього транспортного засобу під час події. Якщо можливі значення дійсної швидкості визначаються за довжиною сліду юза, немає необхідності враховувати вплив опору повітря, втрату енергії при ударі об перешкоду і навіть вплив кута підйому дороги в тих випадках, коли результати розрахунку без урахування цих обставин дозволяють зробити висновок про перевищення водієм дозволеної швидкості руху ,

оскільки результати розрахунків з урахуванням зазначених обставин підтверджуватимуть той самий висновок.

Немає необхідності у проведенні точних розрахунків і тоді, коли різниця між зіставляваними величинами виявляється досить великий.

Так, якщо значення швидкості, отримане шляхом наближеного розрахунку, у кілька разів менше дозволеної на даній ділянці, немає потреби у більш точних розрахунках (з урахуванням, наприклад, впливу опору повітря або незначного кута підйому), оскільки на висновки експерта це, очевидно, не вплине [6].

Складність експертного дослідження залежить не тільки від того, наскільки повно експерт враховує вплив різних обставин події на результати розрахунків, але також і від того, як він проводить дослідження: той самий результат може бути отриманий шляхом складних розрахунків з великою кількістю проміжних операцій, так і шляхом порівняно простого підрахунку за кінцевою формулою.

Щоб скоротити обсяг дослідницької частини висновку експерта та полегшити органам слідства та суду її оцінку, доцільно користуватися рекомендованими для експертної практики кінцевими формулами.

Нижче наведено методику розрахунків під час вирішення деяких питань автотехнічної експертизи.

1. СИТУАЦІЯ З ДОРОЖНЬО-ТРАНСПОРТНИМИ ПРИГОДАМИ

За даними ВООЗ [7], ситуація з дорожньо-транспортними пригодами (далі – ДТП) погіршується. Смертність унаслідок аварій на дорогах зросла до 1,35 млн людей на рік, а це в середньому близько 3700 летальних випадків щодня, до 50 млн людей отримують травми, а сумарні економічні втрати перевищують 500 млрд доларів. Величезний збиток, який наносить державам дорожньо-транспортний травматизм, дозволяє віднести його до одних з основних загроз сучасності. Автомобільний транспорт становить певний рівень небезпеки як безпосередньо для автовласників (водіїв), так і для інших учасників дорожнього руху. В Україні, починаючи з 2016 р., спостерігається інтенсивне завезення вживаних автомобілів, що у свою чергу призводить до «старіння» автопарку, при цьому проблема належного технічного стану завезених автомобілів постає однією з тих, яку необхідно вирішувати для забезпечення безпеки дорожнього руху в Україні.

З огляду на дані обставини дослідження питання забезпечення технічного стану автотранспорту через проведення обов'язкового технічного контролю (далі – ОТК) транспортних засобів та визначення спроможності суб'єктів забезпечити проведення ОТК у контексті підвищення безпеки транспортних засобів є необхідним та важливим.

За даними ВООЗ [8], ситуація з дорожньо-транспортними пригодами (далі – ДТП) погіршується. Смертність унаслідок аварій на дорогах зросла до 1,35 млн людей на рік, а це в середньому близько 3700 летальних випадків щодня, до 50 млн людей отримують травми, а сумарні економічні втрати перевищують 500 млрд доларів. Величезний збиток, який наносить державам дорожньо-транспортний травматизм, дозволяє віднести його до одних з основних загроз сучасності. Автомобільний транспорт становить певний рівень небезпеки як безпосередньо для автовласників (водіїв), так і для інших учасників дорожнього руху. В Україні, починаючи з 2016 р., спостерігається інтенсивне завезення вживаних автомобілів, що у свою чергу призводить до «старіння» автопарку, при цьому проблема належного технічного стану завезених автомобілів постає однією з тих,

яку необхідно вирішувати для забезпечення безпеки дорожнього руху в Україні.

З огляду на дані обставини дослідження питання забезпечення технічного стану автотранспорту через проведення обов'язкового технічного контролю (далі – ОТК) транспортних засобів та визначення спроможності суб'єктів забезпечити проведення ОТК у контексті підвищення безпеки транспортних засобів є необхідним та важливим.

2. ВИСОКОВОЛЬТНІ КОМПОНЕНТИ

В електричних та гібридних транспортних засобах є високовольтні компоненти, які становлять технічну та пожежну небезпеку. Роботи з високовольтними компонентами (ВВК) та маркуванням повинні виконувати лише співробітники сервісної служби станцій технічного обслуговування електро та гібридних автомобілів, які мають такі функції: наявність кваліфікації, дотримання правил техніки безпеки, порядок дій згідно з керівництвом з ремонту та обслуговування цих транспортних засобів.

Перед проведенням робіт із ВВК або поруч із ними повинно бути виконане відключення подачі напруги до автомобіля відповідно кваліфікованими фахівцями.

Електромобіль – автомобіль із суто електричним приводом, адаптований до вимог постійних роз'їздів без вихлопних газів. Цей автомобіль екологічно чистий. Розглянемо вузли, системи та деталі електромобіля (рис. 1).

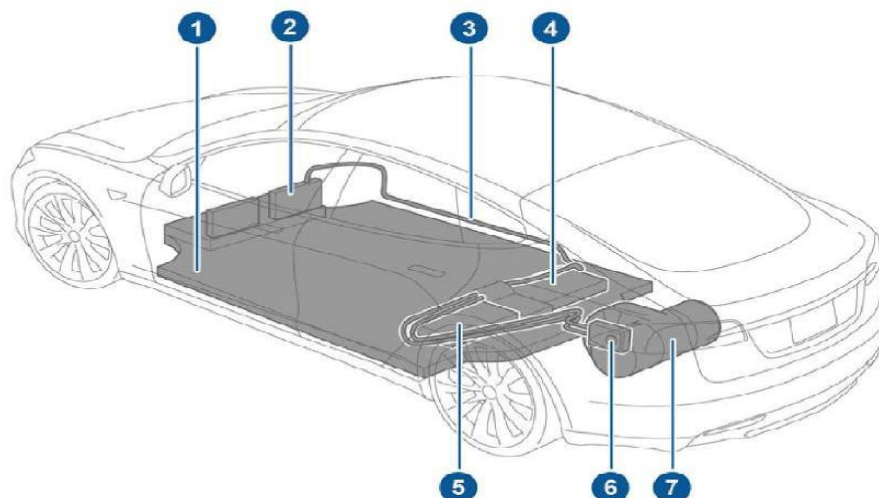


Рис. 1. Високовольтні компоненти електромобіля

1. Акумуляторна батарея
2. Перетворювач напруги (DC/DC)
3. Високовольтний кабель (оранжевого кольору)
4. Головний бортовий зарядний пристрій 10 кВт
5. Додатковий зарядний пристрій 10 кВт (опція)
6. Зарядний роз'єм
7. Модуль приводу

У високовольтній системі немає компонентів, які підлягають обслуговуванню користувачем. Самостійне розбирання, зняття або заміна високовольтних компонентів, кабелів або роз'ємів заборонено! Для простоти ідентифікації кабелі високовольтні пофарбовані в помаранчевий колір.

З метою безпеки потрібно ознайомитись та дотримуватись попереджень та інструкцій на табличках, прикріплених до автомобіля. При найменших ознаках займання транспортного засобу потрібно негайно зв'язатись з місцевою службою пожежної охорони та приступити до пожежогасіння первинними засобами пожежогасіння.

Зарядне обладнання, наприклад для автомобіля Model S можна придбати у представництві компанії Tesla. Настінний кабель Tesla призначений для встановлення у гаражі. Він забезпечує найшвидшу зарядку автомобіля Model S у домашніх умовах.

На деяких ринках Model S комплектується мобільним кабелем з одним або декількома адаптерами для підключення до найпоширеніших електричних розеток [9].

Мобільний кабель доцільно підключати спочатку до джерела живлення, а потім до автомобіля. Додаткову інформацію про мобільний кабель наведено в Посібнику користувача мобільного кабелю. Додаткові адаптери можна придбати у дилерських центрах Tesla.

Компанія Tesla пропонує різні типи адаптерів (у тому числі J1772, Mennekes Type 2 та CHAdeMO), що дозволяють заряджати автомобіль від найпоширеніших

типів зарядних станцій загального користування у вашому регіоні. Підключіть адаптер до роз'єму зарядної станції, відкрийте кришку зарядного роз'єму за допомогою сенсорного екрана, а потім підключіть зарядний кабель до автомобіля.

Повний розряд АКБ негативно вплине до повного розряду акумулятора (АКБ). Навіть якщо автомобіль не експлуатується, енергія акумулятора поступово витрачається на живлення бортової електроніки.

Щодня акумуляторна батарея розряджається в середньому на 1%. Залишаючи автомобіль не підключеним до джерела живлення на тривалий період (наприклад, в аеропорту під час поїздки), переконайтеся, що акумулятор має достатній заряд. Наприклад, за 14 днів акумулятор розрядиться приблизно на 14%. Глибокий розряд акумулятора може призвести до її незворотного пошкодження. Щоб захистити батарею від повного розряду, у разі зниження рівня заряду до 5% автомобіль переходить у режим енергозбереження, де відключається живлення бортової електроніки. Це дозволяє скоротити розряд до 4% на місяць. При активації режиму енергозбереження важливо підключити автомобіль до джерела живлення протягом двох місяців, щоб запобігти пошкодженню акумуляторної батареї.

В режимі енергозбереження заряджання допоміжної 12-вольтової акумуляторної батареї припиняється, що може призвести до її повного розряду протягом 12 годин. У такому випадку перед початком заряджання потрібно буде підключення автомобіля до зовнішньої пускової акумуляторної батареї або її заміна. У цій ситуації зв'яжіться з представництвом Tesla. Недоцільно піддавать автомобіль безперервному впливу температури вище +60 °C або нижче -30 °C понад 24 години [10].

Model S оснащений функцією енергозбереження, що скорочує витрати енергії, коли автомобіль не використовується: Controls > Displays > Energy Saving. При активації функції енергозбереження час увімкнення комбінації приладів, з'єднання Bluetooth, інформаційного з'єднання та відкриття мобільних програм збільшується.

Обслуговування компонентів акумулятора користувачем або сервісним центром, не авторизованим компанією Tesla, заборонено! У жодному разі небез-

печно намагайтеся відкрити або розібрати акумулятор! З питань обслуговування батареї завжди звертайтеся до представництва Tesla. Якщо рівень заряду високовольтної батареї наближається до нуля, необхідно підключити її до побутової мережі. В іншому випадку заряджання може бути неможливим, потрібно буде запуск від акумуляторної батареї іншого автомобіля або заміна 12-вольтової акумуляторної батареї.

Ігнорування підключення автомобіля до джерела живлення протягом тривалого часу може призвести до незворотного пошкодження високовольтної батареї. Якщо зарядити батарею не вдається, негайно потрібно зв'язатись з представництвом Tesla. Акумулятор не вимагає обслуговування користувача. Знімати кришку заливного отвору та доливати рідину заборонено! Якщо на комбінації приладів з'явилося повідомлення про низький рівень рідини, негайно потрібно зв'язатись з Tesla.

Зарядний роз'єм АКБ розташований під кришкою, що вбудована в задній комбінований ліхтар з боку водія. Встановивши автомобіль таким чином, щоб зарядний кабель вільно діставав до зарядного гнізда. Після відмикання автомобіля або розпізнавання ключа необхідно натиснути та утримувати кнопку на зарядному кабелі Tesla. Якщо на кабелі, що використовується, така кнопка не передбачена, потрібно виберіть Controls > Charge Port або натиснути на значок акумулятора на верхній панелі сенсорного екрана, а потім в меню Charging виберіть Open Charge Port.



Рис. 2. Зарядний роз'єм АКБ електромобіля

Для заряджання на зарядній станції загального користування підключається адаптер до зарядного роз'єму станції. Електромобіль укомплектований найпоширенішими адаптерами для кожного регіону України.

Залежно від типу використовуваного зарядного обладнання, для керування початком/припиненням заряджання може знадобитися використання органів керування на зарядному обладнанні.

При відкритті зарядного роз'єму вмикається біле підсвічування, яке згодом згасає, якщо зарядний кабель не підключено протягом декількох хвилин після відкривання кришки зарядного гнізда, засувка заблокується. У такому випадку кришку зарядного роз'єму слід відкривати сенсорним екраном.

При контакті з кузовом автомобіля штекер зарядного кабелю може пошкодити лакофарбове покриття. У зв'язку з цим не слід докладати надмірних зусиль для відкривання кришки зарядного роз'єму, оскільки це може призвести до пошкодження засувки. Пошкоджена клямка не зможе утримувати кришку в закритому положенні.

При підключенні зарядного пристрою необхідно використовувати сенсорний екран для зміни граничних значень напруги та струму заряджання. Під час використання мобільного зарядного кабелю спочатку потрібно підключити його до побутової мережі, а потім до автомобіля. Для цього потрібно поєднати штекер із зарядним роз'ємом автомобіля та вставити до упору. Якщо штекер правильно вставлено, заряджання розпочнеться автоматично за умови:

- замикання фіксатора штекера зарядного кабелю;
- переходу в режим стоянки "P" (якщо попередньо був включений інший режим);
- належного нагрівання або охолодження акумуляторної батареї.

При необхідності нагрівання або охолодження акумулятора процес заряджання може розпочатися із затримкою. Якщо автомобіль підключено до мережі, але активної зарядки немає, він споживатиме енергію від мережі, а не від акумуляторної батареї. Наприклад, живлення сенсорного екрана припаркованого та під-

ключеного до мережі автомобіля здійснюватиметься від мережі, а не від акумуляторної батареї [11].

Під час заряджання підсвічування зарядного роз'єму блимає зеленим, а на комбінації приладів відображається стан процесу. Частота миготіння підсвічування зарядного роз'єму знижується в міру підвищення рівня заряду. Після завершення заряджання лампа перестає блимати і постійно світиться зеленим.

Якщо автомобіль закритий, підсвічування зарядного гнізда не працює. Червоний колір підсвічування під час заряджання вказує на несправність. Необхідно перевірити наявність повідомлення, що описує несправність на комбінації приладів або сенсорному екрані. Причиною несправності може бути такий банальний фактор, як відключення електропостачання. У цьому випадку заряджання автоматично відновлюється після відновлення живлення.

Оскільки в процесі заряджання, особливо при високих струмах, для захисту акумуляторної батареї від перегріву включаються компресор холодоагенту та вентилятор, наявність певного шуму під час заряджання вважається нормальним явищем.

Зупинити заряджання можна в будь-який час шляхом від'єднання зарядного кабелю або натискання Stop Charging на сенсорному екрані. Для від'єднання зарядного кабелю необхідно:

- натиснути та утримувати кнопку на штекері зарядного кабелю Tesla для розблокування засувки;
- від'єднати штекер від зарядного гнізда;
- Закрийте кришку зарядного роз'єму.

Щоб уникнути несанкціонованого відключення зарядного кабелю, його від'єднання можливе лише після відмикання автомобіля або розпізнавання ключа. При подвійному натисканні клавiші ключа заряджання буде автоматично зупинено. Якщо зарядний кабель протягом 60 секунд не буде від'єднано, заряджання відновиться.

Фахівці компанії Tesla рекомендують залишати автомобіль підключеним до джерела живлення, якщо він не використовується протягом тривалого часу. Це допоможе підтримувати оптимальний заряд високовольтної батареї.

Підсвічування зарядного роз'єму:

- біла кришка зарядного роз'єму відкрита; - режим зарядки активований;
- зелений миготливий - йде процес заряджання;
- зелений безперервний - завершена зарядка.
- червоний миготливий - виявлено несправність, зарядку зупинено. Перевірити наявність повідомлення, що визначає несправність, на комбінації приладів або сенсорному екрані.

У разі зміни налаштувань заряджання вікно налаштувань заряджання відображається на сенсорному екрані кожного разу, коли відкривається кришка зарядного роз'єму. Щоб відобразити налаштування заряджання в будь-який час, потрібно натиснути піктограму акумулятора на верхній панелі сенсорного екрана або вибрати Controls > Charging (у верхній правій частині вікна Controls).

На рис. 3 для наочності та може трохи відрізнитися залежно від версії програмного забезпечення та регіону показаний сенсорний процес заряду АКБ електромобіля.

Схема процесу заряду АКБ електромобіля наступний:

1. Вікно повідомлень про стан заряджання (Charging Scheduled, Charging In
2. Налаштування обмеження заряджання відповідно до потреб власника автомобіля у запасі ходу. Потрібно вибрати Set Charge Limit, а потім встановити повзунок на потрібний рівень заряду в діапазоні від 50% до 100%. Щоб продовжити термін служби акумулятора, потрібно вибирати рівень від 50% до 90% для повсякденного режиму експлуатації. Заряджання понад 90% потрібно для поїздок на далекі відстані. Налаштування, що вибирається, стосується як поточного, так і запланованих сеансів зарядки [12].



Рис. 3. Сенсорний процес заряду АКБ електромобіля

Планування заряджання з прив'язкою до точки заряджання коли селектор вибору режимів руху встановлено в положення «Р», можна встановити час початку заряджання автомобіля в точці заряджання. Якщо у запланований час автомобіль виявиться не підключеним до заданої точки заряджання, заряджання розпочнеться з моменту підключення протягом 6 годин із запланованого часу.

Для пояснення електричних систем електромобіля розглянемо декілько слайдів на яких зображені батареї електричних систем низької та високої напруги (рис. 4) та схема розташування високовольтної батареї під днищем електромобіля (рис. 5).

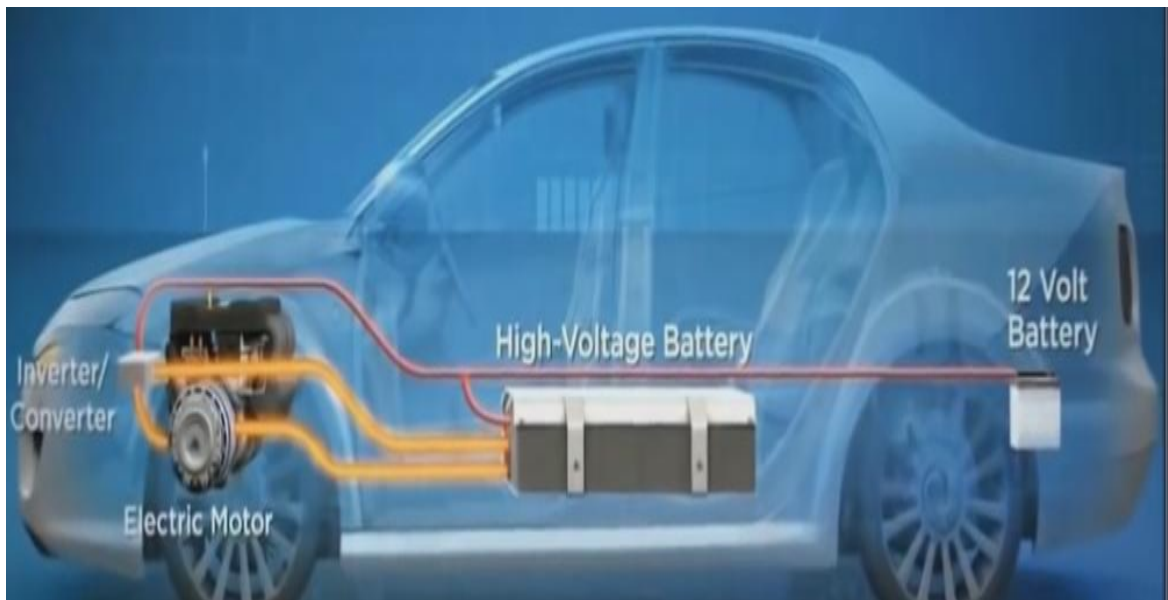


Рис. 4. Схема електричних систем електромобіля:

1 – 12 В система низької напруги; 2- Електрична система високої напруги.
Батарея низької напруги (12 В) розміщується під капотом машини (або її багажнику).



Рис. 5. Схема розташування високовольтної батареї електромобіля Tesla model S під днищем машини (на слайді вона опущена).

Вага високовольтної батареї = 453,592 кілограм, напруга $U=4000$ В. Кріплення високовольтної літій-іонної батареї під передньою та задньою частинами машини.

Розташування електромотора у верхній частині, в задній частині машини (вона задньопривідна). Літій-іонна батарея влаштована, як тонкі шматки хліба, з яких складається батон хліба. Осередки високовольтної батареї з'єднані між собою. З них складаються модулі, відсіки та секції. У результаті збирається ціла батарея. У нас є комірки постійного струму, з'єднані разом, щоб скласти батарею, яку ми бачимо.

Для пожежних та інших служб екстреного реагування аварії з такими автомобілями є певним ступенем небезпеки через високовольтну батарею. Потрібно вміти грамотно і правильно ліквідувати аварії, що виникають, і пожежі в такому транспорті.

У нашому розумінні це як генератор у звичайному бензиновому моторі. У електрокара немає мотора, що постійно обертається, який обертає генератор і заряджає 12 В батарею. Тому в електрокарі використовується конвертор постійного струму, який заряджає батарею. Це досить простий пристрій. Висока напруга йде від батареї до конвертора. Тут воно переводиться в 12 В живлення, яке потім прямує в звичайну 12 В батарею, яка заряджається. Так само струм переходить до решти 12 В систем автомобіля [13].

Розташування конвертора постійного струму в електрокарі відрізняється. У Modal S він розташований за крилом правого колеса поряд із пасажиром. Через таке унікальне розташування видалення цього щитка стає випробуванням для рятувальників.

Що стосується кабелів, розташованих в електрокарі і яких рятувальники не можуть виявити на місці аварії. Це яскраво-оранжева дорожня обмотка, що покриває кабель. Якщо Ви прибули на місце аварії і виявили кабелі, роз'єми або обмотку такого кольору, то вони відповідають стандартам спільноти автомобільних інженерів, які описують напругу постійного струму більше 60 В або змінного струму більше 30 В, які проходять або потенційно можуть проходити через цей кабель. Це дуже важливо і відноситься до електрокарів та гібридних автомобілів. Вся помаранчева проводка, яку Ви зустрінете в електрокарі та гібридному автомобілі за фактом та за стандартами високовольтна. Більше 60 В постійного струму

та більше 30 В змінного струму. Однак не вся високовольтна проводка помаранчева. На місці аварії можливо виявити яскравий кабель, тобто про штатні кабелі. Якщо знайшлось щось велике і воно розфарбоване в яскравий помаранчевий колір, синій чи жовтий, не важливо – це може бути першою ознакою того, що Ви маєте справу з електрокаром. Звертайте увагу на яскраві дроти. Вони намагаються Вас попередити про щось.

Інвертор, конвертор, високовольтні реле та контакти, дві електричні системи, конвертор постійного струму в постійний, високовольтні зарядні кабелі. Як рятувальник може зрозуміти, що на місці, яке він прибув що це є - електрокар? Є формальні та не формальні прийоми розпознавання. Формально автовиробник індексує автомобіль за зовнішньою ознакою машини за значком. У цій машині є логотип Model S на зовнішній частині машини, розташований ззаду та спереду електромобіля (рис. 6-7).



Рис. 6. Логотип Model S на зовнішній задній частині електромобіля



Рис. 7. Логотип Tesla Model S на передньому лівому крилі електромобіля

На інших електрокарах не побачите значка, доки не піднімете капот. Коли його піднімете, то видно слова, емблеми, помаранчеві кабелі, які означають, що тут є високовольтна проводка. Всередині електрокара є внутрішні маркери, емблеми, іконки або слово “електричний”. Це буде неформальний засіб індикації.

На додаток, якщо водій у свідомості він може сам Вам повідомити, що автомобіль, що бере участь в аварії, з яким Ви зараз працюєте - це електричний автомобіль. Тож рятувальники мають реагувати на зовнішні формальні та внутрішні не формальні ознаки [14].

У Tesla Model S зарядний порт розташований на задньому лівому крилі водія. Уявімо, що у своєму гаражі будинку та моїй машині потрібна зарядка. Беремо зарядний кабель, який живиться від домашньої мережі та вставляємо його в зарядний порт. Саме для цієї машини блакитний колір означає, що не закріплений, а зелений - заряджається.

Зарядний порт приймає тільки електрику, що йде в машину. До уваги рятувальників, якщо харчування обрубасться у сусідів або в цьому будинку знайте, ніякої електрики назад не вийде і не електрифікує Ваш будинок або весь район навколо Вас знеструмлений на даний момент!

На додаток до перезарядки за допомогою кабелю електрокари також можуть перезаряджати свої батареї в процесі званому "рекуперативне гальмування". Коли я веду машину і допустимо, їду накатом або використовую гальма, мотор змінного струму, що обертається разом з трансмісією, використовує кінетичну енергію, при бажанні пригальмувати перетворюється на генератор і виробляє електрику, заряджаючи батарею.

Відключення високої напруги та ізоляція батареї абсолютно необхідні, якщо ми збираємося щось розрізати або ламати в машині, якщо це потрібно для порятунку людей або ліквідації пожежі. Ми не зможе відключити високу напругу всередині самої батареї, але ми зможемо ізолювати високовольтну батарею, роз'єднавши у неї контакти. Для цього є кілька способів, як це зробити. Більшість машин забезпечені двома типами вимикачів – безпечними вимикачами та службовими

вимикачами. Як рятувальники ми хочимо використовувати безпечні вимикачі і намагаємося уникнути службових вимикачів.

Безпечні вимикачі вбудовані в електрокарах для рятувальників. Їх часто можна знайти під капотом автомобіля та іноді у багажнику. Зазвичай вони добре помічені, щоб рятувальники могли їх виявити. Тут, на цьому етикеті (жовтий колір) у нас відмітка про безпечний вимикач, розташований під кришкою переднього капота. На цьому етикеті ми бачимо шолом пожежного та кусачки, які демонструють, що є певні операції про які виробники електрокар хочуть, щоб ми здійснили під капотом – ярлик обмотаний навколо високовольтних проводів (рис. 8). Видаливши панель, ми подивимося, чого вони від нас хочуть.



Рис. 8. Ярличок обмотаний навколо високовольтних проводів

Тут є ярличок, обмотаний навколо проводів, які вони хочуть щоб ми їх перерізали. Це два крихітні 12 В проводки. І просто перерізавши ці проводки, ми безпечно і надійно відключаємо високу напругу. Що фактично відбувається. Ми відключаємо 12 В електрику, яка надсилалася до високовольтної реле та високовольтної батареї. І електрика безпосередньо на виводах батареї повністю зникає. І високовольтна електрика виявляється ізольованою повністю всередині батареї. Якщо ми не можемо дістатися місця розрізу або безпечного вимикача, або ми не знайшли це, то ми можемо просто відрізати 12 В батарею. Нам у будь-якому ви-

падку знадобиться 12 В батарея щоб вимкнути систему, активну систему водія та пасажирів та деактивувати запалювання автомобіля.

Розташування 12 В батареї сильно різниться. Вона може бути під капотом, під сидінням автомобіля, у багажному відділенні. Після виявлення батареї необхідно спочатку перерізати негативний полюс, а потім вже позитивний полюс. Завжди необхідно перерізати обидва полюси двічі, тому що звичний вигин кабелю може знову з'єднати їх після того, як ми їх один раз розрізали [15].

У багатьох електрокарів є не тільки безпечні вимикачі, а й сервісні вимикачі. Це зазвичай службові вимикачі, розташовані на батареї. І це високовольтне з'єднання. Тож коли ми тягнемо сервісний вимикач, ми роз'єднуємо високовольтну батарею на дві гальванічні роз'єднані батареї. Зазвичай автовиробники рекомендують лише сервісним фахівцям використовувати сервісні вимикачі. Але деякі виробники рекомендують використовувати їх і рятувальникам. Більшість нових автомобілів використовують без контактний ключа такого типу (рис. 9). Коли ми наближаємося, двері відчиняються і ми отримуємо зручний доступ до електромобіля.



Рис. 9. Безконтактний ключ до електромобіля Tesla Model S

Для рятувальників безконтактні ключі не повинні бути великою турботою. Ми не повинні витрачати час на пошук без контактний ключа. Ми ніколи не витрачаємо багато часу, щоб знайти його. Одночасно це відрізняє від іншого автомобіля. У нього немає перемикача "ввімкнути", "вимкнути" і звичного ключа за-

палювання. Щоб його повернути та підготувати машину до старту. Ми просто сідаємо на сидіння водія та перемикач “вектор”, вбудований у сидіння, готує машину до “старту”. Я покажу, як це працює.



Рис. 10. Перемикач “вектор”, вбудований у сидіння, готує електромобіль до “старту”

І зараз ми в режимі керування електромобілем. Тільки тоді ми можемо увімкнути машину і їхати на ній як на звичайній електрокарі. Model S особливо важливо використовувати 12 В батарею, двічі перерізати полюси і використовувати безпечні вимикачі, щоб зробити машину безпечною для наших операцій [16].

Вимкнення високої напруги в Model S виконується в наступній послідовності:

I. Знешкодити автомобіль

1. Колодки під колеса.
2. Встановити гальмо паркування натиснувши на кнопку важеля і перемикач передачі.

II. Деактивувати автомобіль

1. Прибрати щиток під капотом
2. Двічі перерізати відкриту секцію контуру, щоб кінці не змогли знову з'єднатися.

Перерізати провід для екстрених служб або застосувати безпечний вимикач.

Найкращий спосіб – ізолювати високу напругу. Будь-який спосіб використовують рятувальники, завжди повинні поводитися з усіма компонентами високої

напруги та кабелями так, ніби вони в даний момент знаходяться під напругою (Рис. 11).



Рис. 11. Зафіксований електромобіль, що лежить на боці

У Tesla Model S високовольтна батарея розміщена під дном цієї машини. Ви бачите тут чорне та сяюче. Це нижня частина корпусу акумулятора (рис. 12). Вона займає область, яку ми зазвичай використовуємо для фіксації інших автомобілів до яких ми звикли. Однак, коли у нас електрокар із розташуванням батареї на дні машини доведеться знайти альтернативні точки кріплення. Тут у нас фіксація на трьох розпірках. І одна з розпірок використовує цю ділянку для всього верху. Отже, все це буде використовуватися. Ми можемо знайти щось надійне у задній частині машини або у передній частині. Але ми не зможемо використовувати жодне пожежне обладнання або обладнання типу розпірок щодо цієї плоскої панелі.

Друга відмінність електрокарів, особливо коли батарея розташована на дні автомобіля – центр ваги може бути зміщений, причому значно зміщений. Двигун може виявитися не найважчою частиною, як ми звикли [17].



Рис. 12. Розташування високовольтної батареї у днищі Tesla Model S

Центр тяжкості у такій машині дуже низький у звичайному положенні. Оскільки основна вага – це батарея. Але коли електрокар знаходиться на боці, батарея має тенденцію перекидати центр тяжіння то в один, то в інший бік. Зазвичай ми до цього не звикли. Кріплення, колодки, будь-які інші пристрої та системи які у нас є можуть застосовуватися якщо вони допомагають стабілізувати машину. Уникайте зони підлоги, тобто зони батареї і будьте уважні щодо нахилів автомобіля, тому що його центр тяжіння трохи відрізняється. Якщо будете тримати ці дві концепції у себе в голові, то зможете безпечно і ефективно фіксувати електрокар на боці.

Коли ми отримуємо виклик на місце аварії, то маємо добре подумати про те, що, як і чим різати чи ламати – добре необхідно вивчити цю машину та її сферу небезпек. Ми повинні знайти модуль подушок безпеки, натягувачі ременів безпеки, блоки систем активної безпеки водія та пасажирів, а також її високовольтні компоненти. Як ми реагуємо на повідомлення про дорожню аварію за участю електрокара або гібридного автомобіля. Основою всіх наших операцій має стати – уважність! Так як машина їде безшумно, в ній необхідно закріпити колеса колодками, відразу ж всі 4 колеса до початку проведення інших операцій [18].

Раніше ми бачили різні місця розташування різних компонентів Model S і конвертор постійної напруги у постійний перебував у зоні, яка може стати випробуванням, якщо рятувальникам необхідно буде видалити двигун або прилади керування автомобіля. Зараз ми подивимося на деякі практичні моменти, коли в цій зоні є високовольтні компоненти.

Розрізання МНС та видалення передньої лівої двері електромобіля показано на рис.13.



Рис. 13. Розрізання МНС та видалення передньої лівої двері електромобіля

Коли нам потрібно підняти панель приладів або дістатися до її структури на машинах останніх моделей, то найбільш важливо видалити бічні панелі і підсилювачі бічного багажника, щоб отримати доступ до конструкції силового корпусу машини (рис. 14).



Рис. 14. Видалення МНС правої бічної панелі крила



15. Видалення МНС правого крила машини

Тепер, коли дверцята машини та праве крило прибрані, можна добре подивитися, з чим ми маємо справу (Рис. 16).



Рис. 16. Розташування конвертора постійного струму

Ми бачимо розташування конвертора постійного струму, який знаходиться за крилом правого колеса. Зазвичай у процесі видалення на автомобілях останніх моделей та сили міцності кузова машини, нам необхідно зрізати ці стійки, щоб

прибрати панель приладів. Натомість ми зробимо ось що. Розріжемо стійку дуже глибоко, настільки, скільки можливо, але не доходячи до конвертора постійного струму. Пам'ятайте, що у Model S та у багатьох інших електрокарах високовольтний кабель йде вздовж основи машини. Отже, якщо ми вирішили відсунути основу при видаленні панелі, ми повинні простежити, щоб основа не пошкодила високовольтні кабелі [19].

Далі МНС проводиться розріз гідроножицями приладової панелі автомобіля (рис. 17).



Рис. 17. Розріз гідроножицями МНС бічної перекладки

Тепер, коли всі розрізи, що вивільняються, зроблені, а наш розріз на стійці виконаний настільки глибоко, наскільки можливо – нам залишилося зробити один розріз для того, щоб видалити приладову панель. Це буде надріз кріплення панелі.

У цій найбільш міцній структурі автомобіля кріплення панелі можуть сильно вплинути на те, чи зможемо повністю звільнити пасажирів від приладової панелі або не зможемо. Тому, щоб ми могли дістатися до зони центральної консолі, ми повинні знайти ці кріплення і бути впевненими, що їх перерізали.

Якщо на пасажирському місці немає людини, потрапити всередину буде порівняно легко. Але, якщо пасажирів двоє, то рятувальникам доведеться пробратися між водієм та пасажиром, щоб досягти цієї зони (рис. 18)



Рис. 18. Розріз нижньої панелі приладів керування

Тепер, коли кріплення нижньої панелі розрізані, можна побачити, як панель зсувається вперед. Знову ж таки через структуру корпусу нам потрібно знайти хорошу опору на стійці, на яку можна натиснути. Якщо натиснути на стійку вище необхідного, існує ризик, що стійка розірветься, а панель не зрушить вперед. Отже, ми шукаємо добре укріплену зону, на яку можна натиснути. У цьому випадку опорою за кріпленням панелі стійки гарне місце щоб натиснути (рис. 19).



Рис. 19. Встановлення інструменту для натискання на стійку та її видалення

Тепер зсув приладової панелі завершено. Ви бачили, що ми почали зі зміщення панелі приладів. А зараз ми можемо застосувати розбирання та перейти до

підйому панелі приладів або її видалення. Ви можете бачити, що наш конвертор постійного струму залишився незайманим. Ми зберегли його цілістю і уникнули небезпеки (рис 20).



Рис. 20. Завершення зсуву панелі приладів

На наступному слайді (рис. 21) показано попередження травмування манекена та спрацювання подушок безпеки у разі зіткнення транспортного засобу з перешкодою [20].



Рис. 21. Спрацювання подушок безпеки у разі зіткнення транспортного засобу

Таким чином, знання конструктивних елементів транспортних засобів, концепцію розбирання електричних, карбюраторних, дизельних і інших видів автомобілів пневматичними, електричними та різноманітними видами інструментів з метою аварійно-рятувальних та невідкладних робіт під час ДТП, надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру – рекомендації потрібні для використання учасникам дорожнього руху при їх перевезенні любими видами транспорту [21].

3. ПРИЧИНИ ТА НАСЛІДКИ ПОЖЕЖ АВТОТРАНСПОРТУ

Розглянемо пожежну небезпеку, наприклад звичайних карбюраторних та дизельних автомобілів. Відомо, що пожежна небезпека автомобілів пов'язана з наявністю великої кількості горючих речовин. Найбільшу небезпеку представляють легкозаймисті та горючі рідини, а це – паливо-мастильні, охолоджувальні і гальмівні рідини, які на початковому етапі підтримують горіння. У карбюраторних та інжекторних двигунах в якості палива використовують бензин, температура спалаху якого -37°C . Отож ознаки «дедуктивний» і «індуктивний» нічим не гірші за «феноменний» і «модельний, що створює пожежну небезпеку. За показниками пожежної небезпеки різні марки бензину відрізняються несуттєво. Крім палива в автомобілях обертаються різного роду рідини, які використовуються в охолоджуючих, гальмівних та гідропідсилюючих системах. В таблиці 1 наведено характеристики найбільш вживаних рідин.

Таблиця 1

Характеристики найбільш вживаних рідин.

Марка речовини	Температура $^{\circ}\text{C}$		
	самоспалахування Мастила	займання	самозаймання
Філол-2М	183	304-346	402
Літол	185	231	364
Солідол	184	208	385
Охолоджуючі рідини			
Тосол-А	108	117	508
Тосол	142	148	-
Гальмівні рідини			
“Нева”	97-102	102	242
БСК	40	46	345
“Роса”	112-128	131	315

Кузов та елементи автомобіля становлять не меншу небезпеку. Нижня частина кузова, порожнини крил, дверей, багажне відділення покривають бітумом. Шумоізоляція здійснюється наклеюванням на панелі дверей гофрованого картону, на дах – поролону, на капот – штучної шкіри з повстю. Обшивка внутрішнього об'єму кузова виконується із текстилю, шкіри, полівінілхлоридної плівки, пластику тощо.

Залежно від марки та класу автомобіля салон авто обшивається штучною чи натуральною шкірою, різного роду тканинами та синтетичними матеріалами. Панель приладів, як правило, виготовляється з пластмаси. Показники пожежної небезпеки деяких матеріалів, які використовуються в автомобілях, наведені в таблиці 2.

Отже в конструкціях автомобілів використовується широкий набір пожежо-небезпечних речовин та матеріалів: паливо, мастила, антикорозійні покриття, тканини, синтетичні речовини, пластмаса та інші матеріали, загальна маса яких становить до 10 % [22] від загальної маси автомобіля.

Таблиця 2

Показники пожежної небезпеки деяких матеріалів

Матеріал	Температура °С		
	самоспалахування	займання	плавлення
Поліетилен низького тиску	417	306	120
Поліетилен	349	340	138
Поліпропілен	325-388	325-343	165
Дермантин	-	165	-
Бітум	380	300	-

Оскільки майже кожна друга пожежа автотранспортних засобів пов'язана із електричним струмом, проаналізуємо фактори, що характеризують пожежну небезпеку бортових електромереж.

Пожежна небезпека автотранспортних засобів залежить від надійної роботи всієї системи електрообладнання, її вузлів і агрегатів. Для виникнення пожежі необхідний досить потужний тепловий імпульс, який викличе нагрівання речовини або матеріалу та спричинить загоряння. Оцінка пожежної небезпеки електрообладнання повинна бути пов'язана з оцінкою теплового нагрівання окремих елементів. Тому необхідно проаналізувати тепловий стан найбільш пожежонебезпечних елементів електрообладнання.

Система електрообладнання автотранспортних засобів дуже різноманітна за призначенням, типом, характеристикам і, що особливо важливо, місцем розміщення на борту автотранспортних засобів. Ці види електрообладнання являють собою в загальному вигляді поєднання контактів комутуючих елементів, (електродвигуни, конденсатори, котушки, дроселі і т.п.), електронагрівальних елементів (світлосигнальні прилади, системи обігріву сидінь, пристрої, призначенні для полегшення пуску дизельних двигунів, та інше) і, зрозуміло, електропроводів. Всі ці пристрої і вироби при проходженні по них електричного струму виділяють тепло, яке має розсіюватися в навколишнє середовище, щоб сам пристрій працював у нормальному для нього режимі, без аварійного перегріву. Тому для оцінки пожежної небезпеки електрообладнання автотранспортних засобів необхідно виходити з найбільш ймовірних теплових станів елементів цього електрообладнання у нормальному і аварійному режимах. В нормальних режимах роботи автотранспортних засобів, коли температури двигуна і інших теплових вузлів і агрегатів знаходяться в межах температур, передбачених умовами експлуатації, найбільш небезпечним з погляду можливості перегрівання і виникнення аварійних режимів в електрообладнанні є моторний ві-дсік і місця з підвищеними температурами та можливістю зіткнення елементів електрообладнання з агресивними середовищами, в першу чергу, з паливом та ма-стилами. Температура середовища в моторному відсіку може перевищувати тем-пературу навколишнього середовища на 100°C , а температура поверхні деяких деталей може сягати 500°C і більше [23]. За таких умов не буде відбуватися норма-льного розсіювання тепла, що виділяється в струмопровідній жилі електропро-водів або в іншому електрообладнанні автотранспортних засобів, що неминуче при-зведе до їх перегрівання і переходу в аварійний режим роботи.

Найбільш імовірним місцем виникнення аварійних режимів є електропро-води, оскільки, руйнування їх ізоляції можливе від механічних, хімічних впливів і високих температур ПВХ ізоляція автомобільних проводів здатна не втрачати фізико-механічних властивостей до 105°C [24], хоча нормальною експлуатаційною температурою для автомобільних електропроводів є температура 70°C .

Враховуючи підвищену температуру в моторному відсіку (особливо, у вантажних автотранспортних засобів), можна вважати, що ізоляція таких електропроводів працює фактично на межі своїх фізичних можливостей, і тому стає цілком зрозуміло ситуація з порівняно великим числом загорянь автотранспортних засобів саме через проблеми з електрообладнанням.

Нагрівання електропроводів автотранспортних засобів при штатних режимах роботи відбувається з різним ступенем, що визначається їх призначенням і технічними характеристиками. Наприклад, нагрівання відбувається при тривалих за часом (затяжних) стартерних режимах, а також, якщо інтервали між багаторазовими повторними запусками малі. За таких пускових режимів провідники можуть нагріватися, при цьому відбувається втрата міцності ізоляції, її пересихання, спучування.

Теплові стани електрообладнання автотранспортних засобів при аварійних режимах розглянемо для найбільш типових для нього пожежонебезпечних режимів [25]:

- коротке замикання;
- струмове перевантаження;
- великий (підвищений) перехідний опір.

Коротке замикання (КЗ) виникає в результаті зменшення опору, що може бути викликане виникненням нового електричного кола, яке утворилося внаслідок замикання при руйнуванні ізоляції проводу, електричного пробоя через провуг-лену ізоляцію. КЗ може виникнути і при обриві електропроводу під напругою з наступним дотиканням його неізольованих струмопровідних частин з елементами, що мають іншу полярність.

Найбільш типовий випадок – виникнення КЗ при руйнуванні електричної ізоляції, яке відбувається внаслідок механічних ушкоджень, експлуатаційного зносу, частих струмових перевантажень, а також дії агресивних середовищ і вологи. Струм КЗ для електромереж автотранспортних засобів може становити від декількох десятків до декількох сотень ампер. Значне зростання тепловиділення теплоти при КЗ викликає швидке нагрівання горючих речовин і матеріалів аж до їх загоряння.

При КЗ температура в аварійній мережі рідко зростає більш ніж на 15°C , якщо дане КЗ не відбулося внаслідок струмового перенавантаження [26]. КЗ в електрообладнанні можуть бути металевими і дуговими. Безпосередньо в місцях металевого КЗ температура провідника може сягати $600-800^{\circ}\text{C}$ [27]. При дугових КЗ температура в місці дугового розряду може становити $2000-4000^{\circ}\text{C}$ і від неї загоряються всі речовини і матеріали, що знаходяться поблизу. При цьому також відбувається розбризкування розплавленого металу, температура частинок якого в вихідний момент понад 1000°C , а отже ці частинки виявляються здатні запалити горючі речовини і матеріали.

КЗ в бортовій мережі автотранспортних засобів нерідко виникає в результаті руйнування ізоляції при терті об гострі кромки елементів конструкції, чому сприяє вібрація електропроводів під час руху автотранспортного засобу.

Під час струмових перевантажень температура жили проводу може значно перевищити критичну (за термостійкістю) температуру ізоляції (105°C) [28] і сягнути температури межі руйнування жили. Тому струмові перевантаження, послаблюючи захисні властивості ізоляційної оболонки електропроводів, нерідко є першим ступенем утворення КЗ, а також є причиною загоряння як ізоляції, так і інших горючих матеріалів, які безпосередньо стикаються з провідником, в якому проходить даний аварійний режим.

Тривалі струмові перевантаження значно зменшують еластичність і міцність ізоляції провідника через нагрівання ($100-130^{\circ}\text{C}$) і в результаті її руйнування згодом нерідко призводять до КЗ [29].

Якщо ж струми перевантаження провідника проходять всередині джгута електропроводів, то через акумуляцію тепла в джгуті, руйнування ізоляції призводить до міжпроводникових КЗ, внаслідок чого уражуються кілька електричних кіл. Температурні умови виникнення такого КЗ можуть становити $200-300^{\circ}\text{C}$, що залежить від різних факторів: способу прокладки проводів усередині джгута; натягу джгута і окремих електропроводів в джгуті; вигину джгута; зовнішнього механічного впливу. Подальше зростання струмового перевантаження може закінчитися загорянням електричного джгута [30].

Основною причиною струмових перевантажень є використання нештатних, що перевищують допустимі за потужністю, споживачів електроенергії (нерідко в кілька разів), використання нестандартних плавких вставок електрозапобіжників або інших апаратів захисту, також використання додаткових електричних споживачів, не передбачених заводом-виробником автотранспортного засобу, неграмотне їх підключення до електромережі автомобіля. Неправильний вибір перерізу і типу електропроводів при ремонті також може призвести до аварійних режимів в електромережі автотранспортного засобу [31].

Ознаки, характерні для струмових перевантажень:

- підвищена температура проводів;
- поверхня ізоляції з боку струмопровідної жили проводу часто має почорніння, обвуглювання;
- поява специфічного запаху розкладання ізоляції;
- потемніння на струмоведучих жилах;
- поява здуття, тріщин, поздовжніх складок на поверхні ізоляції;
- зміна кольору ізоляції;
- реагування на перевантаження контролюючих приладів;
- спрацювання апаратів електрозахисту.

Великий перехідний опір (режим "поганого контакту") виникає при ослабленні кріплення контактів, появі нещільностей в місцях контактів через дію агресивних середовищ (електроліту, води) і утворення окисних плівок на контактуючих поверхнях. Температура в місцях великих перехідних опорів може сягати рівня в 400°C залежно від стану контакту і сили струму, що протікає через нього. Тривале існування режиму "поганого контакту" призводить до перегріву і пошкодження (розплавлення, обвуглення) ізоляції проводів в безпосередній близькості від місця контактного з'єднання, руйнування ізоляторів електроспоживачів, а також комутуючих пристроїв.

Великі перехідні опори часто призводять до металевого КЗ між жилами електропроводів внаслідок руйнування ізоляції. Висока температура, що виникла на великому перехідному опорі, може виявитися причиною загоряння ізоляції проводів, а також інших горючих речовин і матеріалів, що знаходяться в безпосередній близькості від цього місця.

Саме у місцях перехідних опорів, перш за все і відбувається небезпечне нагрівання ізоляції, інших дотичних горючих речовин і матеріалів і навіть їх займання. При цьому апарати електрозахисту у вигляді запобіжників не здатні реагувати на "поганий" контакт. Великі перехідні опори виявляються в місцях з'єднань провідників, виготовлених з різних матеріалів. Особливо небезпечними є з'єднання багатожильних проводів, виконані без опресовки або пайки.

Проаналізувавши статистичні дані та речовини, що використовуються та обертаються на транспортних засобах, на пожежну безпеку, можна виділити основні вузли, які найбільш ймовірно, що можуть спричинити пожежу:

- бортова електромережа;
- паливна система;
- силові агрегати, які працюють при підвищеній температурі.

Найнебезпечнішим місцем виникнення пожежі є:

- моторний відсік;
- кузов.

Отже пожежна безпека автомобіля забезпечується системою запобігання пожежі як в нормальних умовах роботи, так і в аварійних. Найбільш ефективними заходами є конструктивні, які спрямовані на запобігання виникненню умов, за яких може виникнути пожежа. До таких умов можна віднести: виникнення горючого середовища, джерела запалення і підтримання температури робочого середовища меншої від допустимої за горючістю.

Запобігання утворенню горючого середовища забезпечується:

- конструктивним виконання системи живлення, яка б виключала розгерметизацію внаслідок механічних пошкоджень;

- максимально можливим використанням негорючих, або важкогорючих конструктивних і оздоблювальних матеріалів;
- автоматичним перекриттям системи живлення при виникненні аварійної ситуації.

Запобігання утворенню джерел запалення забезпечується:

- виключенням накопичення статичної електрики;
- виконання електромережі, яка знаходиться в моторному відсіку, з температуростійкою ізоляцією.

Підтримання температури робочого середовища меншою від допустимої забезпечується:

- безпечними відстанями між випромінювальною поверхнею та горючими матеріалами;
- використанням теплоізолюючих екранів.

Таким чином, у роботі підкреслено актуальність дослідження пожеж автотранспортних засобів з наведенням детальних статистичних даних кількості пожеж та збитків, які вони спричиняють. Проаналізовано та наведено характеристики найбільш пожежонебезпечних речовин та матеріалів, які використовуються при виробництві та експлуатації транспортних засобів.

Встановлено, що при нормальному режимі експлуатації в моторному відділенні ізоляція проводів працює на межі своїх фізичних властивостей, що може бути причиною її пошкодження з наслідками, створення аварійних режимів роботи бортових електромереж [32].

На основі огляду літературних джерел встановлено, що струмові перенавантаження послаблюють захисні властивості ізоляційної оболонки електропроводів, що надалі призводить до короткого замикання. Наведено рекомендації щодо запобігання виникненню пожеж.

4. ПОЖЕЖІ ЕЛЕКТРИЧНИХ ТА ГІБРИДНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Гібридні автомобілі горять частіше, чим електричні і бензинові автомобілі разом взяті. Гібриди стають причиною більшості пожеж на кожне 100 000 проданих автомобілів, що перевищує кількість пожеж, пов'язаних як з повністю електричними автомобілями.



Рисунок 22. Коротке замикання при зіткненні автомобілів

Звичайно, враховуючи меншу кількість гібридних автомобілів на дорогах США, найбільшу кількість пожеж в сумі як і раніше надходить на автомобілі з ДВС. В дослідженні говориться, що автомобілі з газовим двигуном пережили 199 533 займання. Гібридні автомобілі стали причиною 16 051 пожежа. Всього на повністю електричних автомобілях виникло 52 займання. У дослідженні стверджується, що ці цифри відносяться до всього 2021 року.

Цікаво, що пожежонебезпечність як для електромобілів, так і для гібридів виникає в основному до акумуляторів автомобіля. За рахунок того, що у гібридів ризик займання привів до більшої кількості випадків цієї пожежі. І для довідки, ризик займання серед автомобілів з ДВС в основному зводився до коротких замикань [33].

Статистика дивовижна із-за освітлення пожеж електромобілів у багатьох СМІ, в тому числі і у нас. Неймовірно, що електромобілі будуть піддаватися

більш ретельному вивченню, чим їх аналоги з двигунами внутрішнього сгорання. Але що саме дивовижне, так це те, що серед цих способів руху гібриди виявилися найбільш пожежонебезпечними (рис. 23).



Рисунок 23. Пожежа гібридного автомобіля

За показниками 2021 року гібридні автомобілі спричинили 16051 пожежу. Загалом на повністю електричних автомобілях виникло 52 пожежі. Гібридні автомобілі мають виникнення пожежі 3,5% порівняно з 1,5% для бензинових ризиків і 0,025% для електромобілів.

Пожежі акумуляторів щодо рідкісні, але з ними важче боротися. За словами пожежних, проблема із загорянням електромобілів або гібридних автомобілів полягає не тільки в їх кількості, скільки в їх інтенсивності. Літій-іонні батареї, які є у більшості електрифікованих транспортних засобів, дуже важко загасити (рис. 24).

Це пов'язано з тим, що хімія, яка використовується в цих батареях, схильна до теплового розгону, яка відбувається, коли пошкоджена батарея нагрівається до такої міри, що може самозайматися. Температури, що виникають внаслідок таких

пожеж, часто бувають досить високі, щоб розплавити асфальт під автомобілем та розбити вікна навколишніх будівель.

Контролювати ці пожежі також важко, оскільки пожежним часто доводиться спустошувати дві-три цистерни, перш ніж батареї охолоджуватимуться настільки, що її можна загасити. Якщо додати ще один рівень складності, літій-іонні батареї мають тенденцію знову спалахувати самі по собі за кілька годин після того, як пожежа, здається, була припинена.



Рисунок 24. Пожежа від КЗ літій-іонної батареї

Розглянемо акумуляторні літій-іонні та інші види тягових батарей які використовуються у електричних та гібридних транспортних засобах [34].

5. ОГЛЯД ЛІТІЙ-ІОННИХ АКУМУЛЯТОРІВ

Як відомо у електро та гібридних автомобілів основним енергетичним елементом являється тягова акумуляторна батарея (як у звичайного - паливний бак). Проаналізуємо деякі акумуляторні батареї та дамо їм технічну та пожежну оцінку.

Літій-іонний акумулятор (Li-ion) - тип електричного акумулятора, який широко поширений в сучасній побутовій електронній техніці і знаходить своє застосування як джерело енергії в електромобілях і накопичувачах енергії в енергетичних системах. Це найпопулярніший тип акумуляторів у таких пристроях як стіль-

никові телефони, ноутбуки, цифрові фотоапарати, відеокамери та електромобілі.

Перший літій-іонний акумулятор випустила корпорація Sony у 1991 році.

Принцип роботи будь-якого електричного акумулятора полягає в накопиченні електричної енергії в процесі хімічної реакції, що відбувається при протіканні через акумулятор зарядного електричного струму, і генерації електричної енергії при розрядному протіканні струму в процесі зворотної хімічної реакції.

Оборотність хімічної реакції в акумуляторі дозволяє багаторазово розряджати і заряджати акумулятор. У цьому полягає перевага акумуляторів перед одноразовими джерелами струму, звичайними батарейками, у яких можливий лише розрядний струм.

Як середовище для перенесення заряду з одного електрода акумулятора на інший, використовується електроліт – спеціальний розчин, завдяки хімічній реакції якого з матеріалом на електродах стають можливими як пряма, так і зворотна хімічні реакції в акумуляторі, що робить можливим як заряд акумулятора, так і його розряд [35].

Сьогодні одним із найбільш перспективних типів акумуляторів є літій-іонний акумулятор (рис. 25). У цих акумуляторах як негативний електрод (катод) виступає алюміній, а як позитивний електрод (анод) – мідь. Електроди можуть мати різну форму, як правило, це фольга у формі циліндра або довгастого пакета.

На алюмінієву фольгу наносять катодний матеріал, яким найчастіше може бути один із трьох: кобальтат літію LiCoO_2 , літій-ферофосфат LiFePO_4 , або літій-марганцева шпинель LiMn_2O_4 , а на мідну фольгу наносять графіт. Літій-ферофосфат LiFePO_4 є єдиним, на даний момент, безпечним катодним матеріалом з точки зору небезпеки вибуху та екологічності загалом.



Рисунок 25. Літій-іонний акумулятор

Полімерні електроліти, здатні впроваджувати у свій склад солі літію, в силу своєї пластичності уможливають виготовлення літій-іонних акумуляторів з великою внутрішньою поверхнею та майже будь-якої форми, а це значно підвищує як технологічність виробництва, так і масогабаритні характеристики [36].

В процесі заряду такого акумулятора, іони літію переміщуються через електроліт, і впроваджуються в кристалічні ґрати графіту на аноді, утворюючи з'єднання графітіту літію LiC_6 . При розряді відбувається зворотний процес - від анода іони літію рухаються до катода (окислювача), а в зовнішньому ланцюгу до катода рухаються електрони, в результаті процес набуває електричної нейтральності (рис. 26).

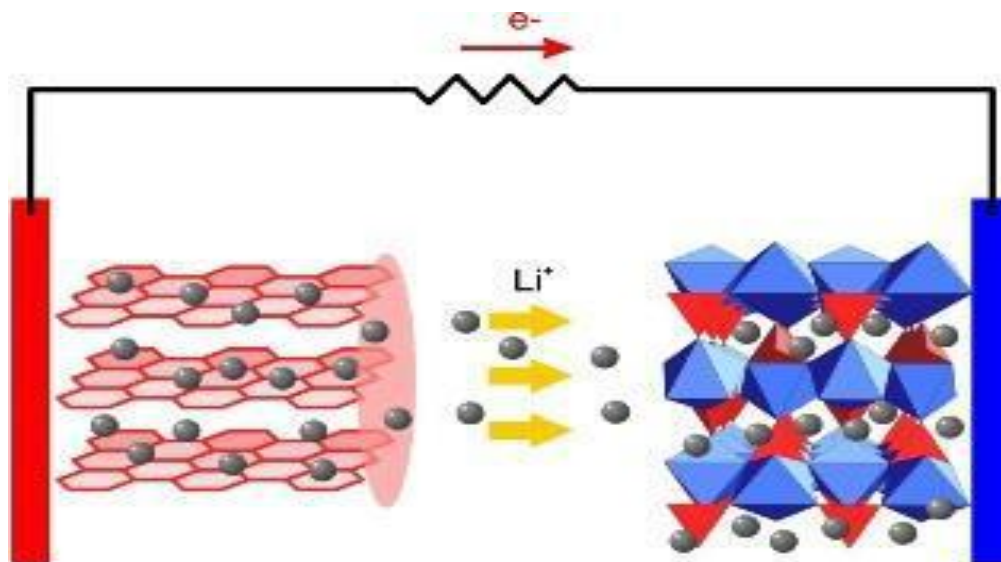


Рисунок 26. Схема роботи літій-іонного акумулятора

Номінальна напруга літій-іонного акумулятора становить 3,6 вольт, проте різниця потенціалів при зарядці може досягати 4,23 вольт. У зв'язку з цим фактом заряд проводиться при максимально допустимій напрузі не більше 4,2 вольт.

Деякі з'єднання літію можуть легко спалахувати, якщо напруга перевищена, тому в літій-іонні акумулятори традиційно вбудовуються контролери рівня заряду, що не допускають перевищення критичної напруги. Ще одним способом забезпечення безпеки є вбудований клапан для скидання надлишкового тиску у середині пакета.

Літій-іонні акумулятори вже посіли своє гідне місце на ринку портативної побутової техніки. Це елементи живлення мобільних телефонів, фотоапаратів, відеокамер, планшетів, плеєрів і т.д.

Літій-ферофосфат (рис.27) LiFePO_4 вважається найперспективнішим катодним матеріалом через свою екологічність. Кобальтат літію LiCoO_2 , у свою чергу, отруйний та екологічно шкідливий, а в акумуляторів на його основі лише 50% іонів можна витягти зі структури з'єднання, адже якщо з нього витягти літій повністю, то структура стане нестабільною, кобальт перейде в ступінь окислення +4 і зможе окислити кисень, а атомарний кисень, що виділяється, стане окислювати електроліт, і відбудеться вибух. Акумулятори з підвищеною ємністю (на основі LiCoO_2) надзвичайно вибухонебезпечні (рис. 27).



Рисунок 27. Літій-ферофосфатний акумулятор

Літій-ферофосфат LiFePO_4 був запропонований як катодний матеріал акумуляторів для потужніших пристроїв у 1997 році Джоном Гуденафом [37].

Літій-ферофосфат є у земній корі, і не створить жодних екологічних проблем у майбутньому. З нього не може виділятися кисень, тому що він дуже міцно пов'язаний фосфором з утворенням стійкого фосфат-іона. Однак, для можливості застосування цього матеріалу, його потрібно було подрібнити на дрібні частинки, інакше він залишився б ізолятором через дуже малу провідність. Частинки зробили пластинчастими з малими розмірами вздовж напрямку руху іонів літію, потім покрили шаром нанометровим вуглецю (рис. 28).



Рис. 28. Літій-феррофосфатні акумулятори у електро/гібридних автомобілях

Такі наночастинки LiFePO_4 здатні заряджатися за 10 хвилин, а якщо модифікувати покриття, то час заряду скоротиться до 1-3 хвилин. У перспективі саме цей матеріал зможе забезпечити живлення електромобілів протягом 10 років. Вже зараз технологічно можливий цикл зарядки-розрядки за 5-10 хвилин за повної безпеки.

З погляду сучасної науки, розробка та випуск навіть портативного наноакумулятора не змусить на себе довго чекати, і слово лише за широким технологічним впровадженням розробок. Щодо перспектив електромобілів, то зараз уже можна вважати, що саме вони стануть основним видом транспорту у містах найближчого майбутнього [38].

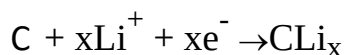
6. ПРИНЦИП РОБОТИ Li-ion АКУМУЛЯТОРІВ

При заряді Li-ion акумулятора відбуваються реакції:

- на позитивних пластинах:



- на негативних пластинах:



де: x - ступінь інтеркаляції (на перших 4-5 циклах має величину $0,5 \leq x \leq 1,6$, а на наступних $0,3 \leq x \leq 0,8$).

При розряді Li-іон відбувається деінтеркаляція (вилучення) іонів літію з вуглецевого матеріалу (на негативному електроді) та інтеркаляції іонів літію в оксид (на позитивному електроді).

При заряді процеси йдуть у зворотному напрямку. Отже, у всій системі відсутній металевий (нуль-валентний) літій, а процеси заряду та розряду зводяться до перенесення іонів літію з одного електрода на інший. Тому такі акумулятори називаються "літій-іонними" або типу "крісла-качалки" [39].

Акумулятори літієві виготовляються герметичними в циліндричному і призматичному варіантах (рис.29-30).

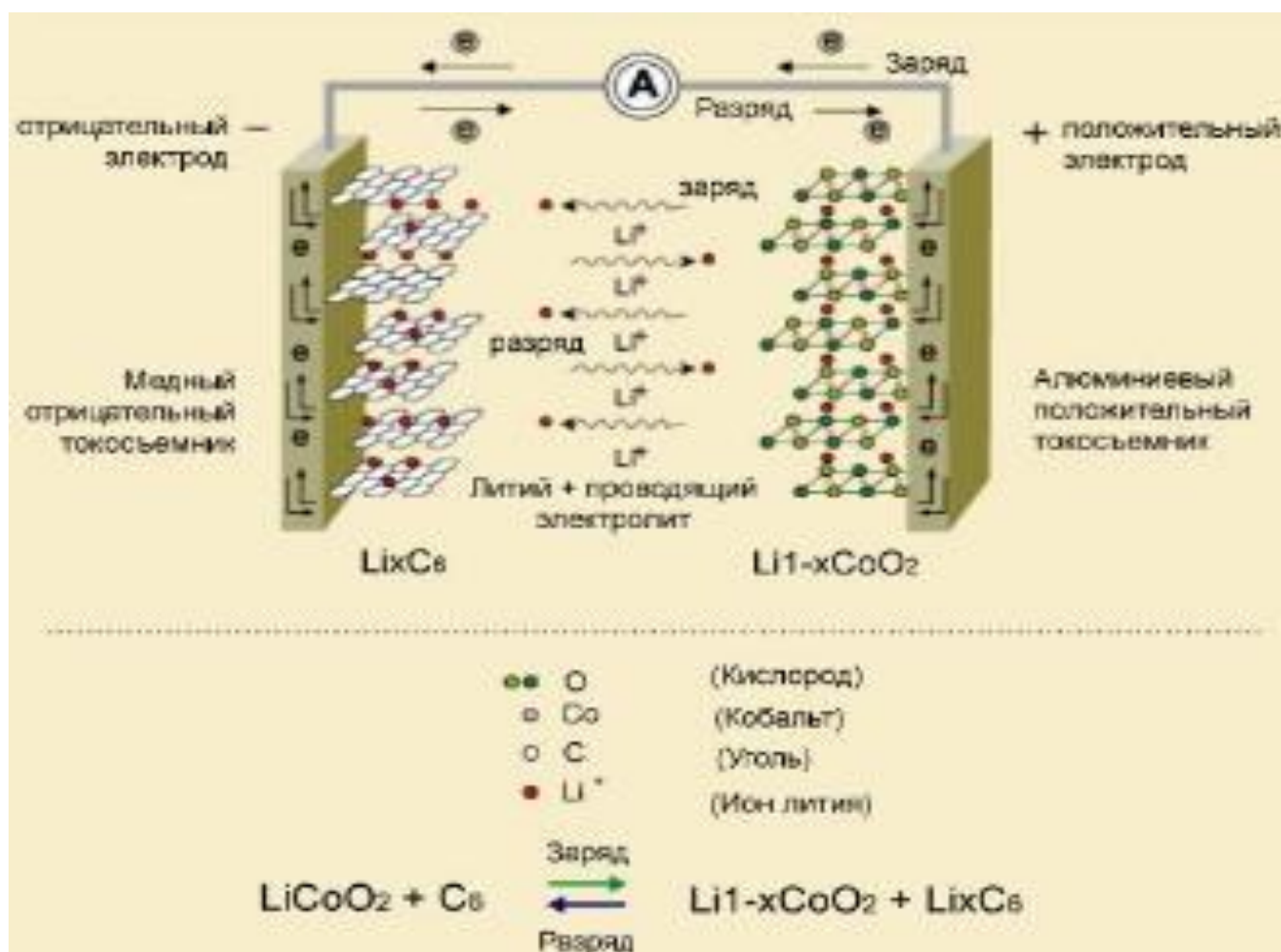
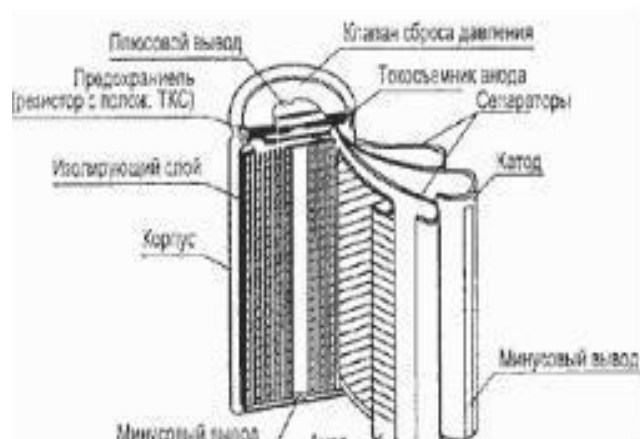


Рисунок 29 Схема Хімічного процесу Li-іон акумулятора



Пристрій літій-іонного (Li-ion) акумулятора з рулонним скручуванням електродів



Пристрій призматичного акумулятора з рулонним скручуванням електродів

Рисунок 30. Циліндричний та призматичний Li-ion акумулятори

Особливості експлуатації, заряджання, розрядки Li-ion акумуляторів, які мають низьку стійкість до перезаряду. На негативному електроді на поверхні вуглецевої матриці при значному перезаряді можливе осадження металевого літію (у вигляді дрібно роздробленого мошистого осаду), що має велику реакційну здатність до електроліту, а на позитивному електроді починається активне виділення кисню. При цьому можливе інтенсивне виділення тепла, підвищення тиску та розгерметизація акумулятора [40].

Заряд Li-ion акумулятора здійснюється в комбінованому режимі: спочатку при постійному струмі (в діапазоні від 0,2 до 1 С) до напруги 4,1 - 4,2 В (залежно від рекомендації виробника), далі при постійному напрузі. Перша стадія заряду триває близько 40 хв, друга стадія довша. Момент завершення заряду настає, коли величина струму заряду знизиться до значення 3% від початкового. Швидкіший заряд може бути досягнутий при імпульсному режим (рис. 31).

Втрата ємності з допомогою саморозряду становить 5-10% на рік.

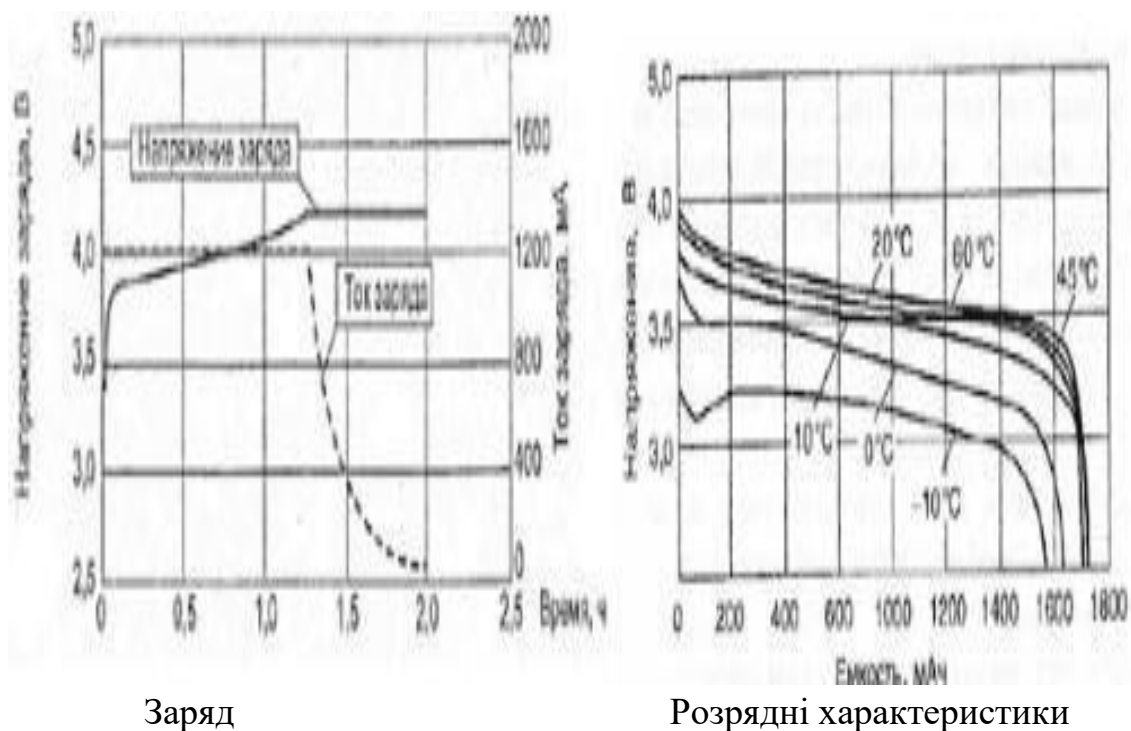


Рис. 31. Зарядні та розрядні характеристики Li-ion акумуляторів

Усі акумулятори мають захист від внутрішніх коротких замикань (а у окремих випадках – і від зовнішніх коротких замикань). Ефективним способом такого захисту є застосування двошарового сепаратора, один із шарів якого виготовляється не з поліпропілену, а з матеріалу, аналогічно поліетилену. У разі короткого замикання (наприклад, через проростання дендритів літію до позитивного електрода) за рахунок локального розігріву цей шар сепаратора підплавляється і стає непроникним, запобігаючи таким чином подальшого проростання дендритів.

Переваги літій-іонних акумуляторів: висока енергетична щільність, що перевищує технічні характеристики інших типів батарей; низький саморозряд; відсутній "ефект пам'яті"; простота обслуговування; відносна екологічна безпека.

Недоліки літій-іонних акумуляторів: чутливість до перезарядів і перерозрядів, через це вони повинні мати обмежувачі заряду та розряду, необхідність застосування схеми захисту струму та напруги; відносно швидке старіння; помірний струм розряду; проблеми, що виникають під час перевезення великих партій (необхідне узгодження); висока вартість (на 40% вище ніж ПК); конструкція не доведена до досконалості та потребує суттєвих доробок; в результаті пошуку найкра-

щого матеріалу для катода сучасні Li-ion акумулятори перетворюються на ціле сімейство хімічних джерел струму, які помітно відрізняються один від одного як енергоємністю, так і параметрами режимів заряду/розряду. Це, у свою чергу, вимагає суттєвого збільшення інтелектуальності схем контролю, які до теперішнього часу стали невід'ємною частиною акумуляторних батарей і пристроїв, що живляться – в портативному випадку можливе пошкодження (у тому числі незворотне) як батарей, так і пристроїв [41].

Порівняння характеристик акумуляторів електромобілів наведені (Табл. 3) для автомобіля вагою 1200 кг, при вазі батареї 250 кг та її об'ємі кожного типу 200 л. Літій-іонний акумулятор великої енергоємності приведений на рис. 32.

Таблиця 3

Порівняння характеристик акумуляторів електромобілів

Типи акумуляторів	Свинцево-кислотні	Нікель-кадмієві	Нікель-металогідридні	Літій-іонні
Питома енергія	33 Вт·ч/кг	45 Вт·ч/кг	70 Вт·ч/кг	120 Вт·ч/кг
Бортова енергія	6,4 кВт·ч	8,8 кВт·ч	13 кВт·ч	23,4 кВт·ч
Пробіг при 120 Вт·ч/км	53 км	73 км	114 км	195 км
Питома потужність	75 Вт/кг	120 Вт/кг	170 Вт/кг	370 Вт/кг
Питома енергія у "одиниці обсягу"	75 Вт·ч/л	80 Вт·ч/л	160 Вт·ч/л	190 Вт·ч/л



Рис.32. Li-ion тяговий акумулятор

Розглянемо деякі особливості Li-іон тягових акумуляторів (рис. 29) на основі кобальту, Літій-іонні джерела енергії (батареї) з великою напругою, Літій-іон-полімерні.

У Li-іон акумуляторах на основі кобальту для забезпечення безпеки експлуатації використовується тришаровий сепаратор, середній шар якого складається з поліетилену, при температурі 135°C він розплавляється, і іонний обмін між електродами припиняється. Під кришкою знаходиться також переривник електричного ланцюга, який спрацьовує зі збільшенням тиску газів усередині акумулятора вище за допустиму межу. На кришці акумулятора є аварійний клапан, який спрацьовує при тиску ще вищому, ніж у внутрішньому пристрої переривання струму. Спочатку Li-іон акумулятори не витримували великої кількості циклів за-ряду/розряду через деградацію електродних матеріалів в електроліті під час протікання струму. Цю проблему вдалося вирішити шляхом розробки добавок до електроліту, які формують на електродах іон-провідний захисний шар – SEI (Solid-Electrolyte). Однак у всіх випадках не допускається глибина заря-ду/розряду $\leq 100\%$. Вважається загальноприйнятим використовувати не більше 75-80% ємності (5% недозаряду і 15-20% недорозряду) для збільшення часу життя акумулятора [41].

Застосування кобальту літію як катодного матеріалу викликало багато нарікань, пов'язаних з дорожнечою і токсичністю сполук кобальту. Також кобальт може віддати при зарядці не більше половини інтеркалованого літію, після чого починається відновлення кобальту, який утворює дендрити, аналогічно тому, як це відбувалося на аноді з металевого літію. Додаткову небезпеку цьому надає те, що при відновленні кобальту виділяється кисень. Ця електрохімічна схема категорично потребує спеціального захисту від перезарядки, а також контролю температури осередків.

У 2003 році професор Йет Чанг з Массачусетського технологічного інституту (MIT) почав експериментувати зі збільшенням розмірів окремих частинок LiFePO_4 до ста нанометрів (глибина інтеркаляції літію в кристалічну структуру LiFePO_4 становить 50 нм). Завдяки збільшеній в 1000 разів площі активної повер-

хні і поліпшенню електропровідності за рахунок наночастинок вуглецю батареї з катодом з наноструктурованого LiFePO_4 перевершували звичайні кобальтові по струмах розряду, кристалічна структура електродів з часом практично не зношувалась, тому кількість робочих циклів батареї зросла до 5000.

Літій-іонні джерела енергії (батареї) з більшою напругою реалізуються у вигляді послідовно-паралельної цепочки акумуляторів. Безпека та експлуатація таких батарейок обов'язково забезпечує зовнішній електронний захист від перезаряду та перерозряду окремих акумуляторів. Вона включає контролери, що вимірюють напругу кожного з них або блоки з паралельних з'єднань, і ключі для розмикання електричної цепи при досягненні граничної величини напруги.

Для контролю температури акумулятора використовуються термістори. Пристрій зовнішнього захисту розміщують зазвичай на платі, що встановлюється прямо на акумуляторі. Системи електронного захисту батарей у різних виробників можуть істотно відрізнятися, а доступ до цієї частини виробу часто захищені системами управління батареями (BMS - Battery Management System) які є необхідною частиною будь-яких акумуляторних батарей. Часто вони включають в себе систему охолодження та підогріву батареї.

В літій-іон-полімерних (Li-ion-pol) акумуляторах електроліт наносять на пористу іонообмінну полімерну плівку, яка має електроізоляційні властивості, але забезпечує обмін іонами в умовах заряду і розряду. В основі ідеї літій-полімерного акумулятора лежить відкрите явище переходу деяких полімерів у напівпровідниковий стан у результаті впровадження в них іонів електроліту. Провідність полімерів при цьому збільшується більш, чим на порядок.

Серійно випускаються Li-ion-pol акумулятори з електролітами, які можуть бути розділені на 3 групи:

- сухі полімерні електроліти (наприклад, на основі поліетиленоксиду, в який вводяться різні солі літію);

- гель-полімерні гомогенні електроліти, які утворюються при впровадженні в полімер із солями літія пластифікатора-розтворювача. В Li-ion-pol полімерному акумуляторі використовується твердий електроліт, замінюючи пористий сепаратор. Гелевий електроліт додається тільки для збільшення іонної електропровідності.

- неводні розчини солі літію, сорбовані в мікропористій полімерній матриці. На електродах літій-іон-полімерних акумуляторів протікають такі ж властивості, як і в літій-іонних акумуляторах.

Літій (хімічний символ — Li лат. Lithium) — елемент першої групи другого періоду періодичної системи хімічних елементів с атомним номером 3.

Літій - найлегший лужний метал, що зберігається під шаром петролейного спирту, він легший навіть за бензин. За температури 180 градусів Цельсія на повітрі горить. При підвищених температурах літій енергійно вступає у взаємодію з хлором, бромом, йодом, вуглецем та інших. Літій горить із заснуванням оксиду. У кисні при нагріванні літій горить, перетворюючись на оксид Li_2O (пероксид Li_2O_2 виходить лише непрямым шляхом), для чистого літію температура займання 640 °C [42].

Найбільш типовими видами загоряння акумуляторів електромобілів, як правило, відбуваються у двох випадках. У деяких видах батареї спалахували після того, як транспортний засіб потрапляв у зіткнення, або після того, як батарея автомобіля була якимось чином пошкоджена. Останніми роками автовиробники посилили захист акумуляторів, щоб зменшити ризики для безпеки електромобіля після зіткнення.

Інші пожежі трапляються під час заряджання акумуляторів, які у випадку з нещадними пожежами мають транспортні витрати, які нещодавно потрапили у надзвичайні ситуації та призвели до відгуку безпеки вартістю мільярдів доларів. Розслідування показує, що елементи акумуляторів постраждали від транспортних проблем та мали виявлені виробничі дефекти, які спонукали ризик пожежі під час заряджання.

Гібридний автомобіль має двигун внутрішнього згоряння та електродвигун (іноді більше одного), який використовує енергію, що зберігається в батареях. Акумулятори гібридного автомобіля заряджаються за рахунок рекуперативного гальмування та двигуна внутрішнього згоряння. Ці автомобілі мають кращу економію палива, ніж автомобілі із газовим двигуном, що робить їх привабливим вибором для деяких водіїв [43].

З початку 2020 року п'ять виробників відкликали акумулятори для гібридних автомобілів (табл. 4). Дефекти нібито могли спричинити спалах або зупинку.

General Motors, Stellantis, Volkswagen, Hyundai та Mercedes-Benz відкликали автомобілі через пожежі, викликані проблемами з їхніми внутрішніми батареями.

Таблиця 4.

Приклади дефектів Li-ion акумуляторів гібридних автомобілів

лютий 2020 р	Відкликає електромобіль (EV) Smart Fortwo 2019 року, оскільки акумулятор, виготовлений LG, мав дефект, який міг спалахнути та створити пожежу.
жовтень 2020 р.	Hyundai відкликає деякі електромобілі Kona 2019 і 2020 років випуску з аналогічної причини
листопад 2020 р.	General Motors починає відкликати понад 140 000 електромобілів Chevrolet Bolt EV з 2017 по 2022 рік через виробничі дефекти в акумуляторних елементах після того, як дефект спричинив щонайменше 10 пожеж
березень 2021 р.	Hyundai повторно відкликає акумулятори для автомобілів Kona і Ioniq 2019 і 2020 років випуску, оскільки коротке замикання може збільшити ризик пожежі, навіть коли вони припарковані
лютий 2022 р	Stellantis/Chrysler відкликали деякі гібридні мінівени Pacifica 2017 і 2018 років випуску з батареями LG після повідомлень про пожежі
березень 2022 р	Volkswagen відкликає електромобілі ID4 2021 року випуску через погане підключення акумулятора

Серйозну небезпеку представляє металевий літій, що загорівся (рис.33). Коли горить літій, він тече і може просочитися в негерметичність.



Рис. 33. Гасіння гібридного автомобіля від КЗ акумулятора

При контактах з галогенами літій самозаймається за звичайних умов. Подібно до магнію, нагрітий літій здатний горіти в CO_2 . Як тільки один з осередків горить, інші легко спалахують. Тому, коли літій-іонний акумулятор починає перегріватися, присутній у ньому літій може при нагріванні горіти, перетворюючись на оксид Li_2O . З сірою, мідним купоросом та деревом літій горить дуже активно, вибухаючи чи утворюючи безліч іскор. Подібно до магнію (Mg), нагрітий літій здатний горіти в CO_2 .

При горінні літій-іонної батареї металевий літій парамагнітний, з'єднання його діамагнітні. Пари літію, переважно температура спалаху технічного літію 200°C , а рафінованого 640°C . Літій горить з утворенням окису Li_2O . У вологому повітрі повільно окислюється, перетворюючись на нітрид Li_3N , гідроксид LiOH та карбонат Li_2CO_3 . У кисні при нагріванні горить, перетворюючись на оксид Li_2O . Металевий літій легко підпалити навіть у полум'ї спиртування. Спочатку горять залишки гасу (або олії), потім починає горіти сам метал. При взаємодії з киснем або нагріванні на повітрі (горить блакитним полум'ям) Літій утворює оксид Li_2O (пероксид Li_2O_2 виходить тільки непрямим шляхом). З киснем літій

з'єднується навіть за нормальної температури, а при нагріванні він спалахує і горить блакитним полум'ям [44].

Для гасіння літію, що горить, розроблені спеціальні порошкові склади ПС-11, ПС-12 і ПС-13 на основі різних флюсів і графіту з гідрофобізуючими добавками (див. подібно магнію (Mg), нагрітий літій здатний горіти в CO_2 : $4\text{Li} + \text{CO}_2 \rightarrow 2\text{C} + 2\text{Li}_2\text{O}$).

Використання звичайних засобів пожежогасіння (вода, піна, діоксид вуглецю, галогенпохідні вуглеводнів) або посилює горіння, або призводить до вибуху. За температури вище 950°C літій швидко руйнує скло, кварц, бетон, вогнетривки, реагує з піском. Літій продовжує горіти в атмосфері азоту та діоксиду вуглецю. Непридатні для гасіння хлорид та карбонат натрію, оскільки при контакті з цими солями літій, що горить, витісняє натрій. Не можна застосовувати порошкові вогнегасники, забезпечені складами ПС-1 і ПС-2, хоча в багатьох інструкціях їх помилково рекомендують для гасіння всіх лужних металів.

Не слід також використовувати порошкоподібний графіт, хлорид літію, хлорид калію. При роботі з літієм, крім звичайних засобів пожежогасіння, необхідно мати наготові достатню кількість одного з перерахованих порошоків.

Літій можна згасити також, витіснивши повітря з осередку горіння аргонем. Подавати аргон слід так, щоб струмінь газу не розбризкував рідкий метал. Після припинення горіння залишки металу слід остудити у струмі аргону.

Гасіння літію, що горить, наприклад, становить набагато серйознішу проблему, ніж гасіння натрію і навіть калію. Розплавлений метал горить в атмосфері CO_2 . Відомо близько 30 природних літієвих мінералів, переважно це силікати і фосфати [45].

Якщо загориться електромобіль, це теж можливе пов'язання з літій-іонними батареями, які можуть бути пошкоджені сторонніми предметами і матеріалами (наїзд електромобіля на металеві предмети та пошкодження акумуляторів, при ударах на швидкості в результаті аварії, разгерметизація тягової батареї при її ремонті і т. ін.).

Літій-іонні батареї можуть горіти годинами, вони також можуть знову загорітися після того, як їх потушили. Після того, як спочатку пожежа була потушена, пожежна команда може використовувати камери для спостереження за автомобілем на відстані. Якщо автомобіль знову почне горіти, вони зможуть швидко среагувати. Другий варіант — повністю завантажити автомобіль у воду.

За даними літературних джерел [46], при проведенні експериментальних досліджень та характеристик небезпеки і загоряння підключених гібридних електромо-білів у Шанхайському морському університеті Китаю – зроблені деякі висновки та пропозиції. Як стверджують автори [47] пожежі представляють серйозну проблему з точки зору безпеки автомобільних літій-іонних акумуляторів і попере-джають розвиток електромобілів (EV).

В даний час електромобілі розділяються на акумуляторні електромобілі (BEV) і підключені гібридні електромобілі (PHEV). BEV може працювати тільки на електричну енергію акумуляторів, в той час як PHEV може подаватись або на електродвигуни, або на двигуни внутрішнього згорання для приведення в рух.

Однак пожежі на електромобілях стають все більш частими. Тепловий розгін (TR) автомобільних акумуляторних батарей є серйозною причиною таких пожеж. Однак пожежі на електромобілях стають все більш частими. Тепловий розгін (TR) автомобільних акумуляторних батарей є серйозною причиною таких пожеж.

TR означає, що елементи тягової акумуляторної батареї вступають в процес неконтрольованого виділення тепла і швидкого підвищення температури. Із-за непередбачуваної системи експлуатації акумуляторні батареї електромобілів можуть постраждати від TR, коли вони зазнають термічного пошкодження, зі зброєю в електричній ціпці або механічного пошкодження. Що ще важливіше, електро-мобілі містять більше горючих речовин з високою щільністю енергії, ніж транспортні засоби з двигуном внутрішнього згорання (ICEV), в результаті чого пожежі електромобілів характеризуються високою інтенсивністю пламенів, швидким поширенням і можливими вибухами. Тільки використання спеціально розробленого протипожежного обладнання, такого як протипожежний кожух електромобіля

(EVFE) і системи розпилення води зі спеціальними галоїдними, аргоновими та іншими пристроями може давати розвинений протипожежний ефект і своєчасне гасіння полум'я.

Таким чином, електромобілі повинні бути перевірені і вдосконалені щодо їх пожежної безпеки. Повномасштабні пожежні експерименти життєво важні для розуміння потенційних безпек и недолів електромобіля. На даний момент вже було проведено деякі випробування електромобілей, що горять, щодо їх пожежної небезпеки и характеристик ([Лекок и др. \(2012\)](#) и Truchot [48]).

Термічні та токсичні фактори небезпечні, що виявляють ризики виникнення пожежі, були кількісно визначені. Іншим значущим є те, що БЕВ не призводить до очевидного збільшення викидів шкідливих газів. Підвищується лише загальний вихід фтористого водороду, але токсична дія акумуляторної батареї проявляється приблизно через 30 хв. Макнейл та ін. (2015) використовували палик з пропановим піском для запалювання кількох електромобілів та вимірювали швидкість тепловиділення (HRR) та температуру в горючих електромобілях. В їх експериментах обговорювалися деякі параметри, які можуть впливати на ЧСС, такі як тип електромобіля, рівень заряду (SOC) та ємність акумулятора. Вое (2017) досліджував поведінку BEV під час пожежі при механічному впливі. Разу після аварії з його акумуляторної батареї з'явився дим, а за 9 хвилин БЕВ загорівся. Максимальна температура, виміряна під час випробування, вище 1000°C. У експериментах, проведених Andersson та ін. (2016), розподіл температури та концентрація СО всередині горючого електричного гібридного автобуса були проаналізовані для розробки стратегій евакуації персоналу. Вони зауважили, що коли акумуляторна батарея починає горіти, вогонь автобуса стає інтенсивним, а сила інших вибухів відносно невелика у порівнянні зі вибухами шин [49].

7. ПОЖЕЖНІ РИЗИКИ АВТОМОБІЛІВ З ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ

Через високе проведення пожежних експериментів з використанням повнорозмірних електромобілів деякі ризики займання електромобілів були екстрапольовані шляхом проведення випробувань на пожежі акумуляторних батарей. Лонг та ін. (2013), а також Блум і Лонг (2015) використовували акумуляторну батарею потужністю 16 кВтг і доводили її до TR за допомогою пропанових горілочок потужністю 400 кВт. Пікова HRR акумуляторної батареї становить приблизно 300 кВт. Коли видиме полум'я порушується, максимальна температура зовнішнього повітря становить близько 400°C. Лі та ін. (2020) вивчав швидкість поширення вогню на навколишні горючі матеріали після TR акумуляторної батареї. Застосували каркас кузова електромобіля, на раму встановили акумуляторну батарею. Слід зазначити, що для розвитку спрацьованого події TR до наступного випадку, коли вогонь поширився на весь салон автомобіля, знадобилося близько 22 с. Гао та ін. (2017) провели експерименти та моделювання для оцінки безпеки акумуляторних батарей при формуванні TR. І вони запропонували модель із зосередженими параметрами, яка може імітувати характеристики поширення TR. Результати моделювання показують, що потужність нагріву істотно впливає на поширення TR. Вони також виявили, що теплові характеристики акумуляторних модулів відрізняються на різних етапах, а східний напрямок полум'я та теплового потоку підтримують важливість конструкцій протипожежної захисту бортових акумуляторних блоків (Gao et al 9). Однак термічна небезпечність акумуляторної батареї не може відображати фактичну пожежонебезпечність електромобілів [50].

Попередні роботи були зосереджені на пожежній безпеці BEV, і в дослідженнях пожежних характеристик PHEV є пробіл. Питання пожежної безпеки ускладнюються ще й тим, що дві системи енергопостачання розташовані в одному кузові автомобіля. Таким чином, необхідно знати режим горіння та характеристики PHEV. У цій статті проводяться природні експерименти для вивчення процесу розвитку пожежі та характерних параметрів горіння PHEV. Два PHEV спалахують через їх силові акумуляторні батареї, які страждають від TR, а зовнішній електричний збій викликає TR. Вимірюється розподіл температури всередині та зовні транспортних засобів та теплового потоку до оточуючих об'єктів.

Зрівнюються пожежні характеристики різних типів PHEV. Крім того, потенційні ризики пожежі PHEV ілюструються аналізом експериментальних явищ. Попередні роботи були зосереджені на пожежній безпеці BEV, і в дослідженнях пожежних характеристик PHEV є пробіл. Питання пожежної безпеки ускладнюються ще й тим, що дві системи енергопостачання розташовані в одному кузові автомобіля. Таким чином, необхідно знати режим горіння та характеристики PHEV. У цій статті проводяться природні експерименти для вивчення процесу розвитку пожежі та характерних параметрів горіння PHEV. Два PHEV спалахують через їх силові акумуляторні батареї, які страждають від TR, а зовнішній електричний збій викликає TR. Вимірюється розподіл температури всередині та зовні транспортних засобів та теплового потоку до оточуючих об'єктів. Зрівнюються пожежні характеристики різних типів PHEV. Крім того, потенційні ризики пожежі PHEV ілюструються аналізом експериментальних явищ.

Повномасштабна вогнева перевірка PHEV проводилась у закритому полі. Загалом було проведено два випробування, та у таблиці 5 зазначено типи та органи влади транспортних суден, перевірених у випробуваннях. PHEV A був позашляховиком, сьогодні PHEV B був легковиком седан. Обидва вони були абсолютно новими автомобілями, що виготовляються однією з провідних світових автомобільних компаній. Під час випробувань всі вікна транспортних засобів були закриті. Літій-іонна акумуляторна батарея, як оригінального виробництва, була вставлена в корпус автомобіля і захищена сталевими броньовими пластинами в шкірному транспорті. Задні сидіння були розташовані безпосередньо над акумуляторними блоками. Ці акумуляторні батареї були викликані TR через суміщене КЗ [51].

Таблиця 5. Типи і власності транспортних засобів

№ п/п	Кодове ім'я	Тип транспортного засобу	Ємність акумулятора (кВт · год)	Обсяг паливного бака (л)	Довжина (м)	Ширина (м)	Висота (м)
-------	-------------	--------------------------	---------------------------------	--------------------------	-------------	------------	------------

1	PHEVA	PHEV	130	47	4720	1839	1673
2	PHEVB	PHEV	130	50	4948	1836	1469

По колу машини були встановлені термопари типу К і датчики теплового потоку. А ще термопари кріпилися до салону машини. Експериментальні дані збиралися з інтервалом за 1 секунду. Конкретні розташування цих датчиків представлені на рисунку 1. Примітно, що напрямки лівої чи правої сторони, згадані в цьому дослідженні, були взяті з точки зору водія як орієнтир. Більше того, після завершення випробувань професійні пожежні з пожежних частин загасили спалах електромобіля за допомогою пени стисненого повітря. Схема експериментальної установки тесту 1. (А) Датчики зовні PHEV А (В) Датчики всередині PHEV А, наведено на рис. 34.

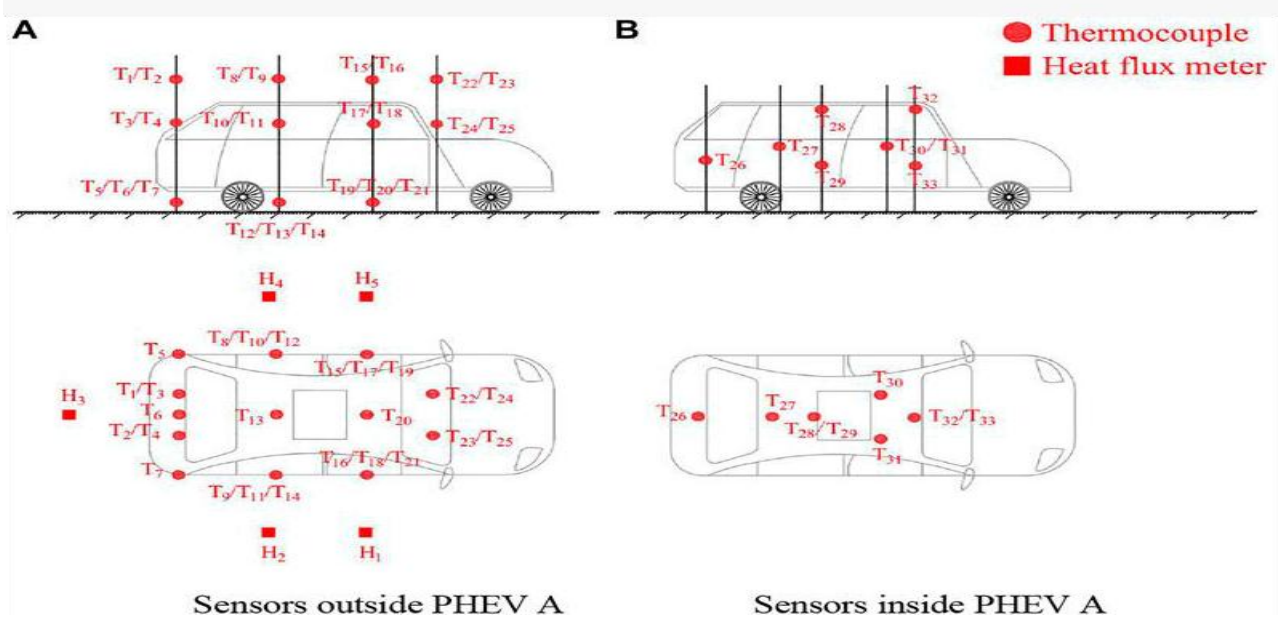


Рис. 34. Схема експериментальної установки тесту 1. (А) Датчики снаружи PHEV А (В) Датчики всередині PHEV А.

В випробуванні 1 для запису зміни температури використовувалися в загальній складності 33 термопари типу К. полум'я у зовнішньому просторі різних відсіків автомобіля, включаючи багажник, задній пасажирський салон та передній пасажирський салон.

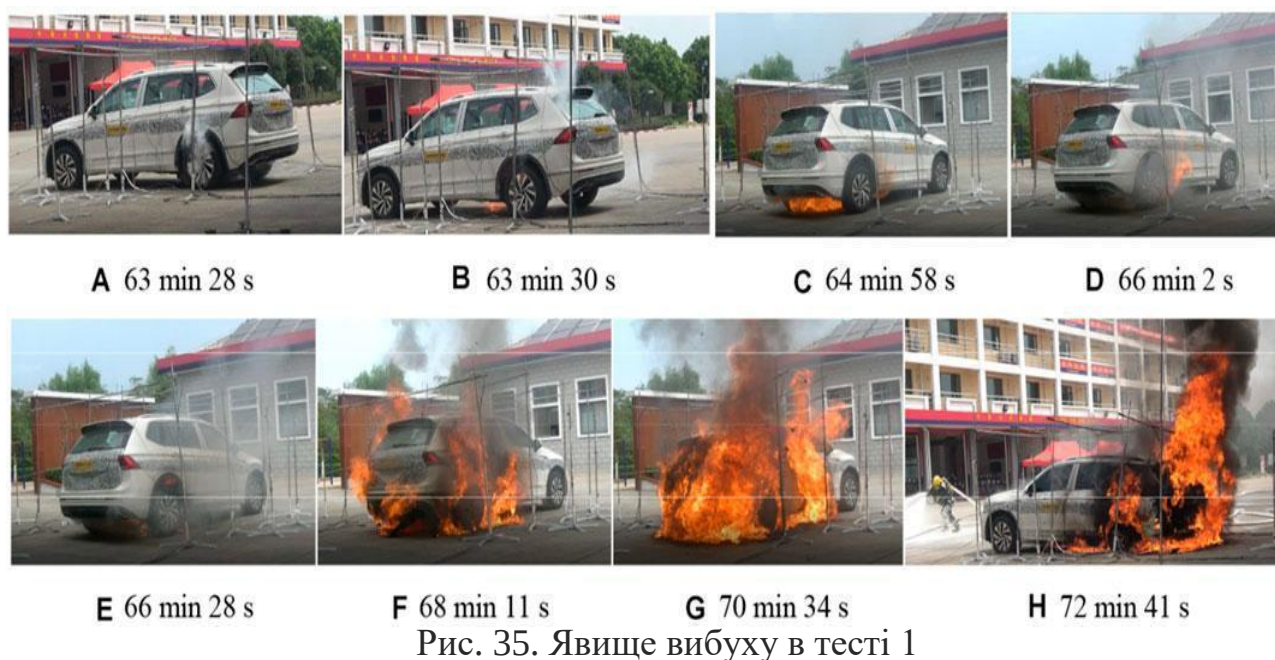
Термопары Т 3~4, Т 10~11, Т 17~18 і Т 24~25 були встановлені біля вікон і приблизно 3 см від вікон. Відстань між двома вертикально розташованими термопарами над рівнем шасі склало 0,5 м. Термопары (Т 5~7, Т 12~14 та Т 19~21) поруч із шасі знаходилися на висоті близько 0,15 м над землею. З боків і заднього плану PHEV А було розміщено п'ять вимірювачів теплового потоку для реєстрації впливу транспортних засобів на навколишні предмети. Датчики теплового потоку розташовувалися на відстані 1,5 м від землі та 1 м від кузова вагона. Крім того, весь термопар (Т 26 ~ Т 33) був розміщений усередині PHEV А. Для опису поведінок горіння пластикових деталей і сидінь термопара Т26 була встановлена всередині багажника, а Т 27, Т 30 та Т 31 розміщені над сидіннями. На кришку вагона були встановлені термопары Т 28 і Т 32 для вимірювання температури, що збирається зверху диму. Термопары Т 29 та Т 33 розмістилися над підлогою пасажирського салону. Схема розміщення датчика у тесті 2 була аналогічна схемі у тесті 1 [52].

Способи поширення вогню гібридних електромобілів, що підключаються.

Хід пожежі PHEV Показ на малюнку 2. Година, коли акумуляторна батарея PHEV А зазнала зовнішнього короткого замикання, визначалася як година початку експерименту або година запалювання. Клапан скидання тис акумуляторної батареї зламався через 6 хв 36 с, і з батареї почав виділятися білий дим. З акумуляторною батареєю кількість разів вилялася біла тьмяна, перш ніж утворилося видиме полум'я. Ці димі швидко розвіялися завдяки вітру. Через 63 години 28 секунд в ході початого експерименту, пов'язаного з передачею даних за часту транспортну засобу, виникло хмара білого кольору, яка виявилася на малюнку 2А, яка вибухнула через 1 секунду. Хвилю горіння вибуху можна чітко побачити на малюнку 3. Це явище вказує на те, що дим, який виділяється на ранній стадії пожежі О.В., є легкозаймистим та легко спричиняє вибух, якщо дим не розсіяти вчасно. Це також пояснює, що електромобілі вибухали, коли вони спалахували під час багатьох пожеж. В ICEV такого явища не спостерігається, від запалення до виникнення розвиненого горіння (Лі та ін., 2017; Окамото та ін., 2018; Ху та ін., 2020).

Таким чином, газ, що видується, бачився з акумуляторної батареї TR тестового PHEV. Випарені електроліти, водород, монооксид вуглецю та алкани є основними газопідйомними продуктами біохімічних реакцій TR, а також компонентами біологічного диму (Sun та ін., 2016; Diaz та ін., 2019).; Ван та ін., 2019).). Суміш цих газів TR досягла межі вибухонебезпечності на шасі та вибухнула, коли зустріла іскру [53].

Процес горіння PHEV A. (A) 63 хв 28 с (B) 63 хв 30 с (C) 64 хв 58 с (D) 66 хв 2 с (E) 66 хв 28 с (F) 68 хв 11 с (Ж) 70 хв 34 с (H) 72 хв 41 с., наведений на рис. 35-36.



Наприкінці вибуху на шасі автомобіля з'явилося полум'я (рис. 36Б), із шасі більше не вийшов білий дим, а утворювався темно-сірий дим.

Полум'я перетворилося на струменевий пожежа через 64 хв 58 с і тривало приблизно 4 с (рис. 2С). Потім полум'я поширилося на задніх колесах та їх брызговики. Як показано на рис. 2D, струмінь полум'я знову з'явилася через 66 хв 2 с, вийшла з-під борту транспортних засобів і тривала близько 7 с. Полум'я поступово поширилося від колеса до заднього бампера і охопило задню частину автомобіля (рис. 34Е).). Максимальна висота під'їзду автомобіля сягала близько 3 м.). У ході цього процесу пластикові деталі автомобіля все більше плавилися. Деякі розплавлені матеріали капали на землю і безперервно горіли. Через 68 хв 11 с після займання полум'я охопило задню частину салону (рис. 34F). У цей момент висота полум'я була порівнянна з висотою автомобіля. На 68 хв 34 злопнуло ліве заднє колесо, що викликало крен автомобіля назад, при цьому праве заднє колесо не злопнуло. У 70 хв 34 з полум'я охопило передній пасажирський салон (рис. 2G). Велика частина полум'я, охопленою передньою частиною автомобіля, виникла через пожежі, утворені капючими матеріалами, і полум'я, що вирвалося з-під шасі [54].

Процес горіння PHEV в випробуванні 2 аналогічний процесу горіння в випробуванні 1. На рис. 35 показано розвиток пожежі в випробуванні 2. Наприклад, через 4 хвилини після загорання з шасі поруч із акумуляторною батареєю повалив білий дим, а потім дим періодично випускався в одному і тому ж місці протягом 51 хвилини 19 с. У 55 хв 19 стався вибух на шасі PHEV В (рис. 34А), який також був викликаний вибуховим димом. Процес вибуху протягом цієї секунди уявлено на малюнку 5. Полум'я від шасі не відразу торкнулося білого диму, тому що дим, що скопився в останню частину автомобіля, здуло вітром, як показано на рис. 5А.. Вітер також впливав на плам'я, і воно відхилялося у бік диму (рис. 35Б). Таким чином вогонь зчепився з димом, що призвело до вибуху. Дим не згорить повністю, при цьому що рухався швидко за хвилю горіння. Як показав на малюнку 5D, плам'я скоротилося, а дим розсіявся.

На рисунку 37 наведений процес горіння PHEV Б. (А) 55 хв 19 с (Б) 60 хв 56 с (В) 63 хв 53 с (Г) 64 хв 39 с.



A 55 min 19 s

B 60 min 56 s

C 63 min 53 s

D 64 min 39 s

Рис. 37. Процес горіння PHEV Б

На рис. 38 приведений процес вибуху PHEV В. (А) Зовнішній вигляд, (В) Відхилення, (С) Вибух, (D) Контракція.



A Appearance

B Deflection



C Blast

D Contraction

Рис. 38. Процес вибуху PHEV В. (А) Зовнішній вигляд

Після вибуху полум'я залишилося біля шасі і поступово поширилося від шасі до задньої частини PHEV В. Тим часом із щілини автомобіля вирвалося велика кількість світло-коричневого диму.

Після 59 хв 19 з експериментальної процедури згорів задній лівий бризковик. Вогонь перемістився краєм шасі. Пожежа в басейні, утворена розплавленими матеріалами на землі, прискоривши процес вогню. Наприклад, через 60 хв 56 з вікнами пасажирського салону все частіше стали чорними [55],

що означає заpalення горючих речовин у салоні (рис. 4В). Оскільки під час експерименту окна були закриті, ці горючі речовини знаходилися в стані тління. РНЕV В не показавши значного струменевого полум'я. Його реактивний вогонь може відображатися кришкою акумуляторного блоку та тканиною. Ліве заднє колесо лопнуло на 63 хв 53 с, а праве заднє колесо було охоплене полум'ям, але не вибухнуло. Момент вибуху показань на малюнку 4С. Слід зазначити, що пожежні повинні триматися далі від горючих коліс під час пожежно-рятувальних робіт, щоб не потрапити до полум'я вибуху. На 64 хв 39 із заднім бампером не витримавши теплового впливу вогню і повністю відвалився (рис. 4D).). Зрештою, пожежний експеримент РНЕV В завершився через 65 хв 15 с. Багажник автомобіля був повністю знищений, а його полум'я досягало максимальної висоти близько 2 м. Як показується на рисунку 38, просто навколо повномасштабна вогнева перевірка (РНЕV) було поділено на три довколишні зони. Як додаток для РНЕV А, область над кришею автомобіля, де може з'явитися плам'я, називалася зоною фонтанування полум'я та була призначена як зона α . Плам'я в салоні відносилось до пламені біля вікон автомобіля ізначалося як зона β . Полум'я на рівні шасі транспортного засобу, включаючи спалювання акумуляторної батареї, називали пламенем шасі і позначали як зону γ . Ці три зони були додатково поділені відповідно до положення термопар і було 12 підзон. Крім того, шлях від багажника до моторного відсіку значався як позитивне продольне напрямком автомобіля, тоді як орієнтація від криши до шасі була позитивним вертикальним напрямком. На рисунку 39 наведені пожежні зони повномасштабної вогневої перевірки (ПХЕВ).

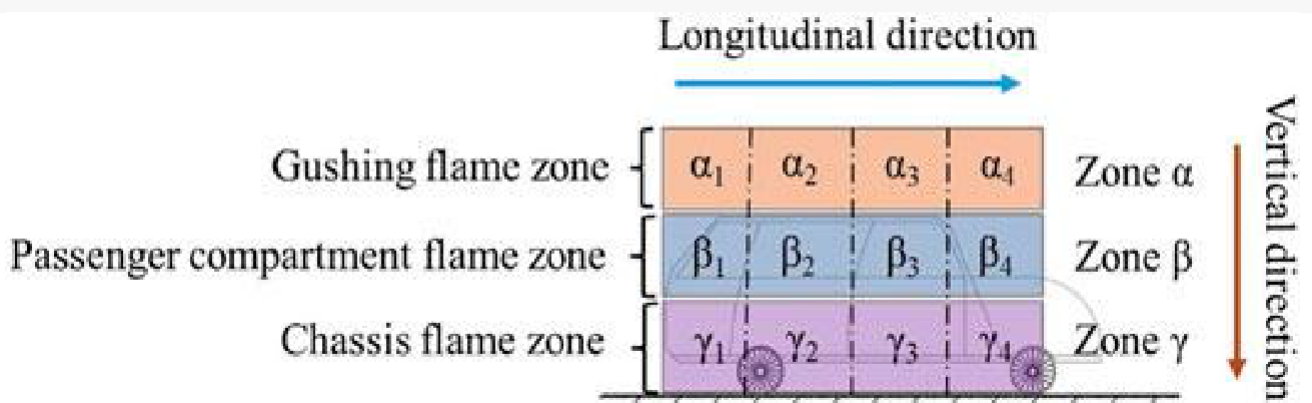


Рис. 39. Пожежні зони повномасштабної вогневої перевірки (ПХЕВ)

Крім того, пікові температури в цих середовищах вказані в таблицях 2 і коливаються в діапазоні 153,1–843,6°C. Опитування пламени не досягають моторного вигляду, значних значень температури в зонах α_4 , α_4 і α_4 не видно. З максимальними температурами, упорядкованими в таблицях відповідно до їхнього підйому, відображають походи пожежного автомобіля та регіональні варіації стану горіння. Під впливом температури навколишнього середовища температурний діапазон 1 і 2 час зростання на 3864 с, а максимальна температура у двох зонах стала 843,6°C [56].

Опитувальна зона 3 була далеко від джерела води (батареї TR), її температура зазнала змін на 3990 с. Через невелику ємність акумуляторної батареї (13 кВт·год) переважно горючі частини, такі як термопластика і гума, можуть перенасичуватися в полум'ях шасі. На ранній стадії зниження температури в зонах β_1 і β_2 незначно підвищувалося у відповідь на терміки, що піднімаються із зони γ . При 4079°C температурна зона 2 різко змінювалася і піднімалася до 428,7°C за 47 с.

Показники термопар у зоні 1 не піднімалися до 4150 с і доходили до максимуму 798,8°C. Температура у зоні β_3 збільшився через 4100 с. Жорстко регулюючи задні колеса забезпечували більшу частину тепла для підвищення температури у цих зонах. Кількість вод поступово охоплюючи транспортний потік, температура в зонах 1, 2 і 3 змінювалася на 4090, 4020 і 4100 з відповідно. Найвища температура фонтанової пламені була виявлена в зоні α_1 і становила 754,4°C. На рисунку 40 показані температурні криві за межами PHEV в тесті 1.

На рисунку 40 показано 7 кривих значень температури для термопар T 1-21 у тесті 1 від 3570 до 5870 с.

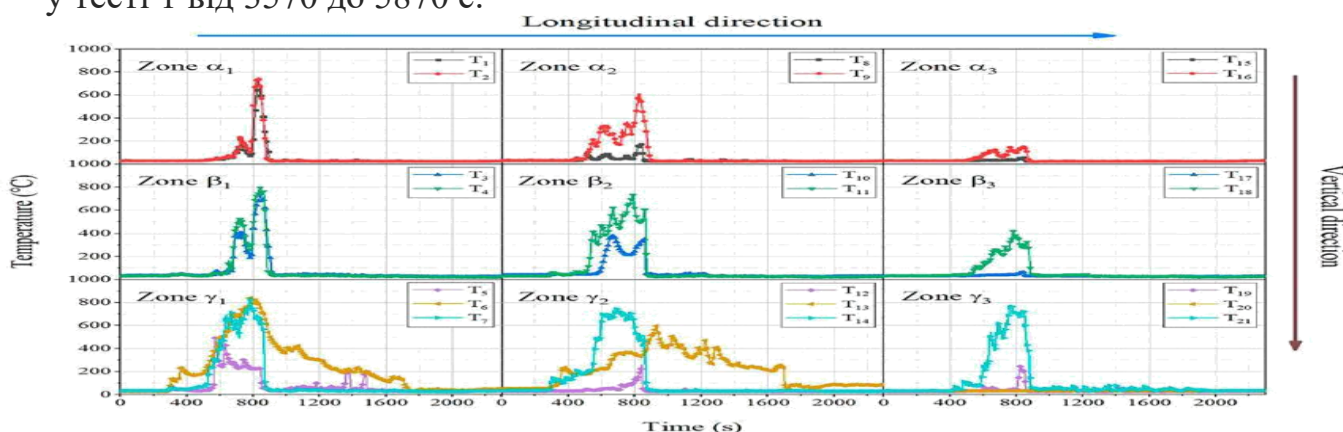


Рис. 40. Температурні криві за межами PHEV в тесті 1

Криві зміни температури на показаннях PHEV A виявлено на малюнку 8 . Приблизно через 4170 після нагрівання температура в багажнику і в пасажирсь-кому салоні різко змінилася, а потім температура досягла максимуму в 696,8°C. Варто зазначити, що температура у відсіках почала зростати пізніше, ніж годину, коли вогонь охопив салон. Пожар звинувачував у шасі, і знадобилося 306 с, щоб тепло проникло в кузов і нагріло горючі річки всередині. Першими загорілися задні сидіння та горючі рейки в багажнику, уламки вони були найближче до палаю-чої акумуляторної батареї. Пожежний стік з високотемпературним накопиченням машині і, як наситився, спричинили виявлення термопар Т 28. Гарячий дим не вливався на термопару Т 29 в основі відсіку. Крім того, температура дна заднього відсіку була на рівні температури навколишньої середовища від початку до кінця.

У таблиці 6 приведені максимальні температури пожежних зон.

Zone	Test 1			Test 2		
	1	2	3	1	2	3
α	754.4°C	613.9°C	153.1°C	335.6°C	111.0°C	54.4°C
β	798.8°C	732.2°C	432.3°C	231.9°C	234.8°C	120.6°C
γ	843.6°C	745.5°C	768.6°C	827.0°C	661.6°C	617.8°C

Це вказує на те, що броньована пластина акумуляторної батареї або рамі транспор-ту засобу великої певної ступінь вогнестійкості, що може запобігти виникненню полум'я або тепла в салоні автомобіля. Полум'я шасі не розширювалося без посе-редньо вгору через шасі, а закупувалося в автомобілі через запалення гумового подовження дверей або через щілини між дверима автомобіля та його рамою. Потрібно близько 30 секунд, коли вогонь розширився від задніх до передніх сидінь. Температура термопар Т30~31 стала вищою за 250,6°C через неповне згоряння осередків.З цієї ж причини тепловія слідує за термопар Т32 біля даху і Т 33 під сидіннями не помітно значних змін. На рисунку 41 наведено зменшення температури на оглядових майданчиках PHEV A [57].

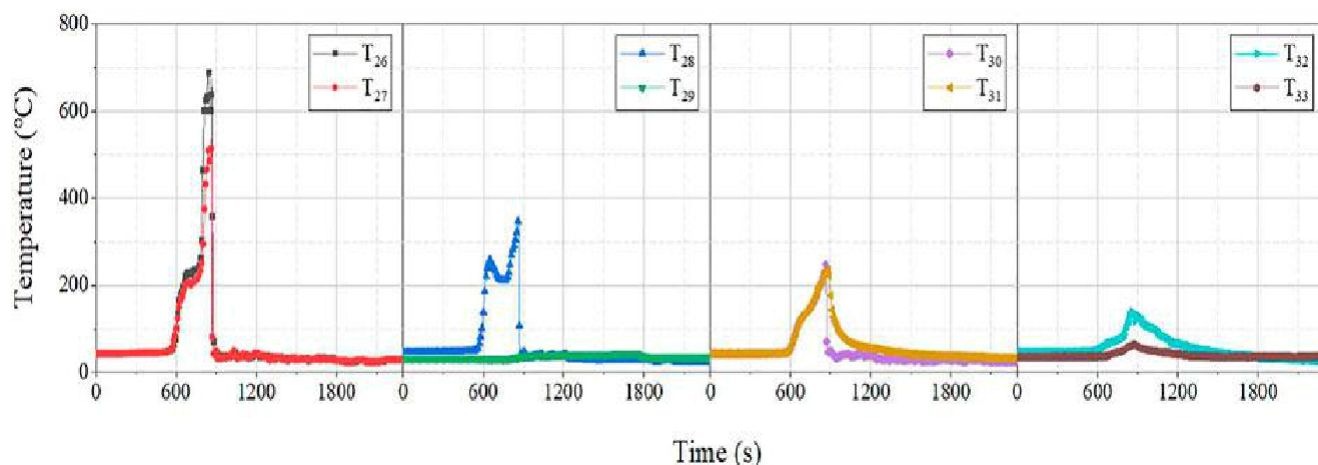


Рис. 41.Криві зміни температури

Криві зміни температури на показаннях РНЕV А виявлено на маленькому 8. Приблизно через 4170 після нагрівання температура в багажнику і в пасажирському салоні різко змінилася, а потім температура досягла максимуму в $696,8^{\circ}\text{C}$. Варто зазначити, що температура у відсіках почала зростати пізніше, ніж годину, коли вогонь охопив салон. Пожар звинувачував у шасі, і знадобилося 306 с, щоб тепло проникло в кузов і нагріло горючі річки всередині. Першими загорілися задні сидіння та горючі рейки в багажнику, уламки вони були найближче до палаючої акумуляторної батареї. Пожежний стік з високотемпературним накопиченням у машині і, як наситився, спричинили виявлення термопар Т 28. Гарячий дим не вливався на термопару Т 29 в основі відсіку. Крім того, температура дна заднього відсіку була на рівні температури навколишньої середовища від початку до кінця.

Це вказує на те, що броньована пластина акумуляторної батареї або рами транспорту засобу великої певної ступінь вогнестійкості, що може запобігти виникненню полум'я або тепла в салоні автомобіля. Полум'я шасі не розширювалося без посередньо вгору через шасі, а закуповувалося в автомобілі через запалення гумового подовження дверей або через щілини між дверима автомобіля та його рамою. Потрібно близько 30 секунд, коли вогонь розширився від задніх до передніх сидінь. Температура термопар Т 30~31 стала вищою за $250,6^{\circ}\text{C}$ через неповне згоряння осередків. З цієї ж причини тепловія слідує за термопар Т32 біля крыши і Т 33 під сидіннями не помітно значних змін. На рисунку 17 приведені температурні криві за межами РНЕV у тесті 2 (рис. 42).

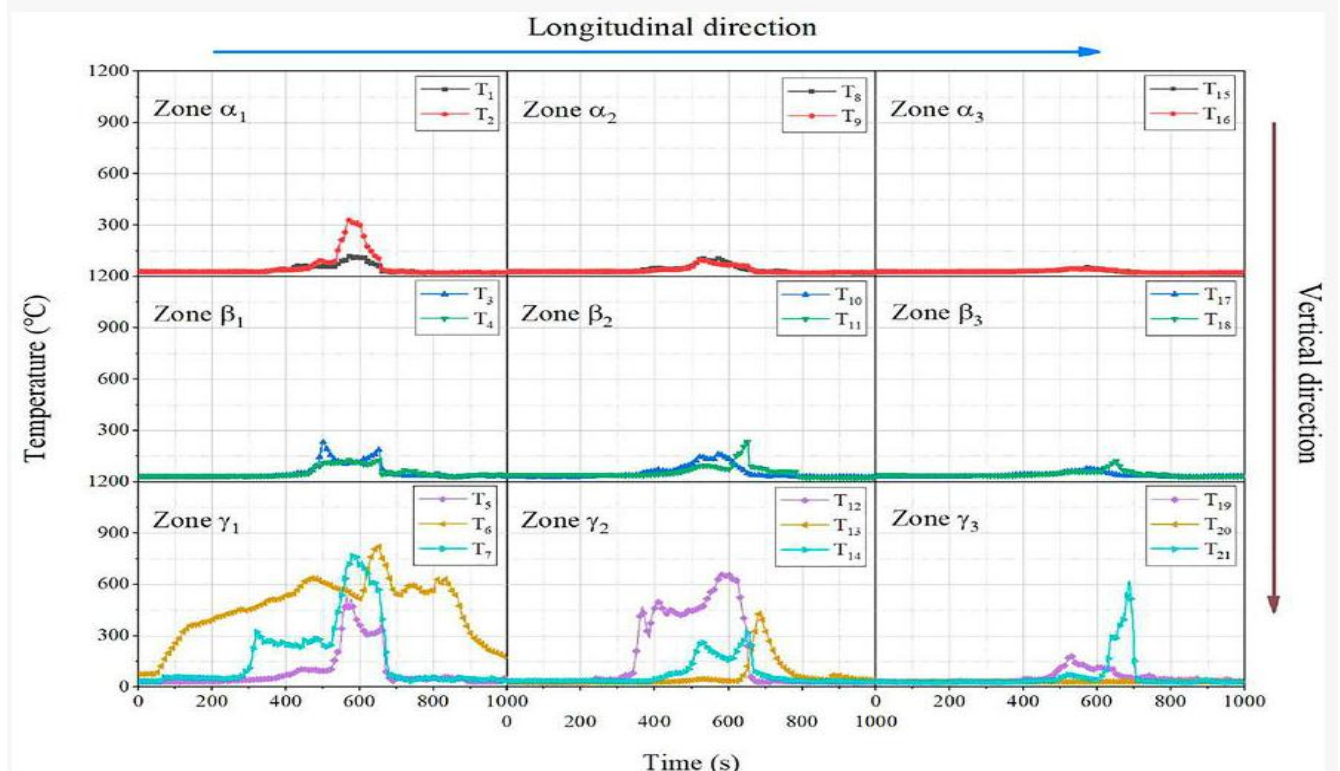


Рис. 42. Температурні криві за межами PHEV у тесті 2.

Таблиця 7

Хронологія процесу горіння.

Timeline	Events	
	Test 1 (PHEV A)	Test 2 (PHEV B)
0 min 0 s	TR was triggered	TR was triggered
4 min 0 s	—	Smoke appeared
6 min 36 s	Smoke appeared	—
55 min 19 s	—	Flames arose, and an explosion occurred
63 min 29 s	Explosion occurred	—
63 min 30 s	Flames arose	—
63 min 53 s	—	Left rear wheel burst
65 min 15 s	—	Firefighters intervened
68 min 34 s	Left rear wheel burst	—
72 min 41 s	Firefighters intervened	—

На рисунку 43 приведені вимірювання температури на показаннях PHEV В.

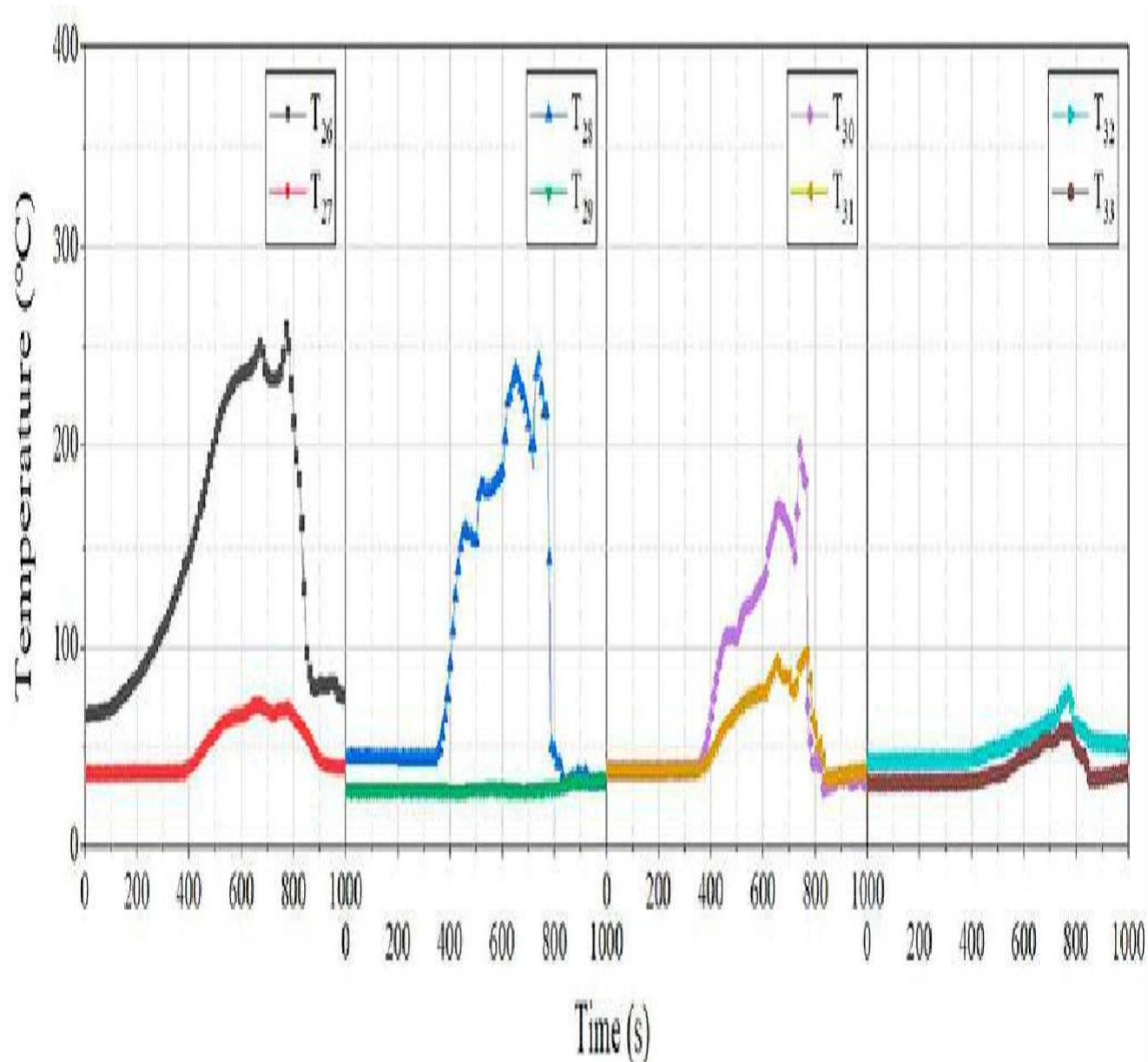


Рис. 43. Залежність температури на показаннях PHEV.

Профілі теплового потоку з боками та ззаду PHEV представлені на рисунку 42 . Через 68 хв 15 із показниками теплового потоку колівались вгору, оскільки полум'я охоплювало відсіки автомобіля. Влив горючих частин PHEV на виміряні значення помітний. Максимальне вимірювання вимірювача теплового потоку Ч 1 було отримано через 70 хв 35 с та становило 1,151 кВт/м² . Це значення відображало теплове випромінювання від полум'я, яке охопило салон переднього пасажира, до цього місця. На даний момент температури полум'я в зонах α 3 , β 3 і γ 3 стали відповідно 115,7, 238,1 і 392,4 °C [58].

Пожежа зі ствола вплинула на датчик теплового потоку Н 3 . Ближче до кінця випробування 1 вплив полум'я ствола на на-вколишні предмети досяг максимуму, та вимірювач теплового потоку Н 3 за при-пущенням показник $0,620 \text{ кВт/м}^2$. До цього моменту максимальна температура пожежі ствола становила $781,4^\circ\text{C}$. Крім того, спостерігалось два сплески теплово-го потоку. Як показав на малюнку 12 , вогняний вір (Pinto et al, 2017) утворився за транспортом засобу приблизно через 70 хвилин 45 секунд і рухався до датчика теплового потоку Н 3 . Хоча вогню вихор роззявся в дорозі, він все одно вплинув на криві даних. Через 71 хв 44 з лопнуло заднє скло, і полум'я, що виходило з ньо-го, забезпечувало додаткове теплове випромінювання приладу. Близько 73 хв 50 з вогнегасною мовою поглинула велика кількість тепла, що призвело до негативних наслідків на лічильниках теплового потоку. Під час випробування був пошкірде-ний вимірювач теплового потоку Н 2 . На рисунок 44 наведена еволюція теплового потоку у тесті 1[59] .

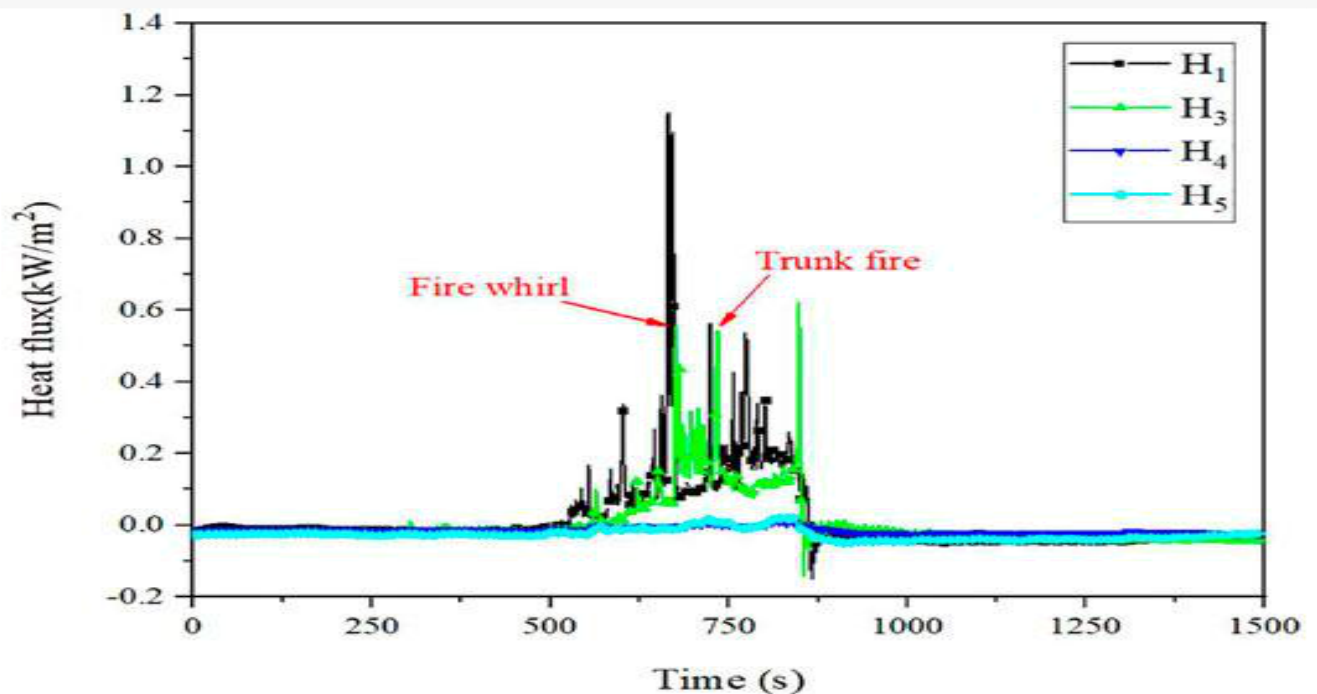


Рис. 44. Утворення вогняного вихору под час випробування
(А) Утворення (В) Рух (С) Зникнення.



Рис. 45. Утворення вогняного вихору под час випробування
(А) Утворення (В) Рух (С) Зникнення.

Вимірювачі теплового потоку в випробуванні 2 не надали вихідних даних, які можна було б проаналізувати, оскільки РНЕV В не загорівся сильно. Таким чином, променисте тепло, яке запускається пожежами РНЕV, не перевищувало допустимої межі впливу на шкіру [$2,5 \text{ кВт/м}^2$ (Purrser and McAllister, 2016)] у цих експериментальних умовах. Розширення пожежі РНЕV на інших об'єктах також малоймовірне без урахування прямого попадання вогню або гарячого диму на горючі предмети (конвективний теплообмін). Проте термічна небезпека, ймовірно, зростає у замкнутому просторі. У приміщенні для вогневих випробувань ІСЕV об'ємом 3375 м^3 максимальний тепловий потік біля бокового напрямку (висота $1,5 \text{ м}$, 1 м від горючого мікроавтобуса) становить майже 20 кВт/м^2 (Окамото та ін., 2018). Датчик теплового потоку заввишки $1,2 \text{ м}$, виміряний на відстані $5,5 \text{ м}$ від мінівена (ІСЕV), має максимальну потужність близько $2,5 \text{ кВт/м}^2$, а експеримент проводився в достатньому просторі (Hu et al., 2020).). Відкрита експериментальна площадка і вітер можуть пов'язати вимірювання, в результаті чого джерела теплового випромінювання не зможуть зібратися поруч з РНЕV. звернувшись до існуючих пожежних експериментів ІСЕV.

Наведене вище обговорення показує розвиток поpalу та характеристики, коли пожежа РНЕV ініціюється в акумуляторній батареї. Тим не менш, деякі інші загрози не значні існуваннями, а значить, цей розділ зосереджується на ризиках пожежі, які можуть становити РНЕV.

Небезпечний вибух, спричинений літій-іонними акумуляторами, залишається все більш помітним. У Пекіні 16 жовтня 2021 року на енергоакумуляторній електростанції стала сильна пожежа та вибух. Неочищений вибух біля перших буденних станцій, викликаних до трьох смертей та одного переможеного, а двоє пожежників померли своїм життям під час вибуху. Вибух був безпосередньо спричинений детонацією велику кількість білого пального газу, що виділяється від батареї біля будівлі (Невідомо, 2021). Причина, що виникає через вихлоп, так само як і для PHEV у цій статистиці, викликає роздратування викликані білим димом, змішаним з повітрям. По майбутньому такі вибухи, в'їжджайте, зупиніться під час пожежі PHEV у закритих причалах, таких як судна ро-ро, підземні автостоянки та тунелі. Таким чином, запобігання або припинення утворення горючих газів від ПГЕВ та їх усунення за допомогою методів пожежогасіння може бути виділено для майбутніх досліджень.

Рол-лайнери є важливим засобом транспортування PHEV. Проте 4 червня 2020 року спала пожежа на вантажному судні Høegh Xiamen, яке зменшило Høegh Xiamen та його рейс із 2420 вживаних транспортних суден. Національна рада із безпеки на транспорті встановила, що пожежа, ймовірно, була спричинена несправністю електрики в один із транспортних засобів, який не мав належним закріплених акумуляторів (Homendy et al., 2021).). Подібна пожежа трапилася на автобусі Felicity Ace 16 лютого 2022 року, що також спричинило значні економічні збитки. Не турбуйтеся про те, щоб збільшити нас, акцентуючи увагу на безпеці суден ро-ро, які можуть перевозити PHEV. У кабіні транспортного засобу корабля на палубі є багато відкритих для кріплення транспортних засобів. палубі. Цей процес бездумно прискорює еволюцію пожеж на судні. Таким чином, щоб покрити безпечні умови транспортування PHEV, можна знадобитися адаптації протипожної конструкції суден ро-ро. Крім того, необхідна пильність щодо вогняних вихорів, що може звинувачувати під час пожеж PHEV.

Рол-лайнери є важливим засобом транспортування PHEV. Проте 4 червня 2020 року спала пожежа на вантажному судні Høegh Xiamen, яке зменшило Høegh Xiamen та його рейс із 2420 вживаних транспортних суден. Національна рада із

безпеки на транспорті встановила, що пожежа, ймовірно, була спричинена несправністю електрики в один із транспортних засобів, який не мав належним чином закріплених акумуляторів (Homendy et al., 2021).). Подібна пожежа трапилася на автобусі Felicity Ace 16 лютого 2022 року, що також спричинило значні економічні збитки. Не турбуйтеся про те, щоб збільшити нас, акцентуючи увагу на безпеці суден ро-ро, які можуть перевозити PHEV. У кабіні транспортного засобу корабля на палубі є багато відкритих для кріплення транспортних засобів. палубі. Цей процес бездумно прискорює еволюцію пожеж на судні. Таким чином, щоб покрити безпечні умови транспортування PHEV, можна знадобитися адаптації протипожної конструкції суден ро-ро. Крім того, необхідна пильність щодо вогняних вихорів, що може звинувачувати під час пожеж PHEV [60].

8. ГАСІННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ

При горінні електромобіля з перших хвилин у очевидців виникає жах на то, як він швидко охоплюється полум'ям, димом, створюється висока температура горіння та виникає небезпека вибуху транспортного засобу (рис. 46).



Рис. 46. Горяча та небезпечна Тесла



Рис. 47. Ще одна згоріла Тесла

Щоб згасити Tesla Model S, яка потрапила в аварію і спалахнула в Австрійському Тиролі, знадобилося аж 35 осіб та п'ять спеціальних автомобілів.



Рис. 48. Гасіння електромобіля

На сьогоднішній день рятувальники по всьому світу вже почали розробляти методику гасіння електромобілів та їх розтин після ДТП. Так, в першу чергу для гасіння та профілактики повторного самозаймання тягової батареї її потрібно швидко та ефективно охолодити. Найкраще це зробити шляхом заливання аварійного транспорту великою кількістю води [61].

Однак, швидке охолодження батареї утруднюється тим, що вона в електромобілях інкапсульована (тобто укладена в оболонку), а її осередки перегріваються шляхом ланцюгової реакції, виділяючи величезну кількість тепла.

Особливо погано справа з батареями, у яких катоди виконані з оксиду кобальту. У таких акумуляторах температура щохвилини може підвищуватися на 370°C , в результаті досягаючи великих показників і викликаючи вибух. І навіть після ніби повного гасіння вогню, запасена енергія в них здатна довго зберігатися, призводячи до повторних спалахів електромобіля.

Щоб цього уникнути, зараз уже в деяких країнах світу з'явилося таке поняття, як розміщення аварійного електричного транспорту на карантин. Спотворену машину занурюють у металевий контейнер, наповнений холодною водою. Подібним способом пошкоджену батарею змушують швидко охолонути (рис. 49).



Рис. 49. Контейнер для занурення в нього «карантинного» електромобіля

“Боротьба з вогнем, яка в даному випадку була можлива лише із застосуванням серйозного захисту дихальних органів, була дуже складною. Адже машина спалахувала знову і знову. Тільки коли вдалося дістатися і відключити високовольтні дроти від батарей, вдалося остаточно згасити Tesla Model S. При цьому після цього виробник рекомендує ставити автомобіль на 48-годинний “карантин” щоб уникнути нової можливості займання.”

Зазначимо, що відключення високовольтного кабелю є найважливішим завданням при необхідності згасити Tesla Model S. Доступ до нього відкривається з двох місць: переднього і заднього багажника. Окрім високовольтної системи, аварійний роз'єм відключає ще й подушки без“Боротьба з вогнем, яка в даному випадку була можлива лише із застосуванням серйозного захисту дихальних органів, була дуже складною. Адже машина спалахувала знову і знову. Тільки коли вдалося дістатися і відключити високовольтні дроти від батарей, ми зуміли остаточно згасити Tesla Model S. При цьому після цього виробник рекомендує ставити автомобіль на 48-годинний “карантин” щоб уникнути нової можливості займання (рис. 50).

Зазначимо, що відключення високовольтного кабелю є найважливішим завданням при необхідності згасити Tesla Model S. Доступ до нього відкривається з двох місць: переднього і заднього багажника. Окрім високовольтної системи, аварійний роз'єм відключає ще й подушки безпеки [62].



Рис. 50. Послідовність гасіння електромобіля



Рис. 51. Розгортання пожежно-технічного обладнання

Сталося це все у австрійському місті Ландекк. Жінка на великій швидкості врізалася у бар'єр, після чого залишила салон Tesla. За кілька хвилин автомобіль загорівся. Але найцікавіше те, як відреагували пожежники на цю аварію, інформує news.eizvestia.com. На виклик прибуло 5 пожежних машин та 35 пожежників. Як виявилося пізніше, такі заходи безпеки прописані в інструкції Tesla щодо аварійних ситуацій (рис. 52).

В інструкції компанії Tesla прописано, що гасінням акумуляторів, що горять, повинні займатися кілька пожежних машин, так як для цього необхідна дуже велика кількість води. Причиною є те, що під час горіння батареї випускають шкідливі сполуки (оксиди літію, нікелю, вуглецю, міді, кобальту та сірчану кислоту)



Рис. 52. Tesla за кілька хвилин загорілась



Рис. 53. Підготовка до пожежогасіння та одяг дихальних апаратів

В Австрії Tesla Model S гасили протягом тривалого часу. Акумулятор машини продовжував спалахувати знову і знову. Зупинити спалах вдалося лише тоді, коли рятувальник прорізав отвір біля задніх дверей та відключив живлення батареї (рис. 54).



Рис. 54. Контроль електромобіля що загасили

В інструкції по аварійним ситуаціям значиться ще й «карантин» розбитого автомобіля Tesla. Пожежні спостерігали за машиною, що згоріла, ще 48 годин, щоб напевно стало зрозуміло, що акумулятор більше не спалахне (рис. 55).



Рис. 55. Спостерігання за згорілою машиною

Електромобіль Tesla Model S згорів у Кенті (штат Вашингтон, США). Причиною займання електромобіля стало влучення металевого предмета в акумуляторний відсік. Вогонь був локалізований у передній частині автомобіля, причому під час гасіння водою спалах посилювався. У ході розслідування виявити предмет, що пошкодив акумулятор, не вдалося, оскільки Tesla S отримав сильні пошкодження від пожежі. За словами водія, він зачепив металеве сміття на шосе, після чого автомобіль затих. Потім власник Model S відчув запах гару. Пожежні прибули через три хвилини після отримання повідомлення про загоряння автомобіля. Скільки саме часу знадобилося для гасіння пожежі, невідомо, але пожежні перебували на місці виклику 2,5 години [63].

При появі перших ознак займання автомобіля відразу треба зупинитися біля узбіччя та вимкніть запалювання. Висадіть пасажирів та залишіть машину самому. Попросить супутників або перехожих викликати пожежну охорону, а сампму приступайте до гасіння.

Якщо автомобіль на парковці, враховуйте напрям вітру, це важливо, оскільки бічний вітер здуватиме струмінь речовини убік, зустрічний - суттєво зменшуватиме її дальність, змушуючи ближче підходити до вогню.

При загорянні в моторному відсіку потрібно спочатку відкрити капот. Робити це слід обережно, прикриваючись ним від можливого викиду полум'я. Справа в тому, що при цьому відбувається різке збільшення припливу повітря в зону горіння і посилення вогню. А тому, якщо відкрити капот стоячи перед машиною, можна отримати опіки. Так само слід поводитися при необхідності потрапити в палаючий салон або багажник. Двері машини або кришку багажника відчиняти обережно, прикриваючись ними від вогню. Якщо протягом кількох секунд викиду не відбулося, можна, дотримуючись обережності, вийти з-за укриття та гасити вогонь із зручнішої позиції.

Вогнегасну речовину витратити ощадливо, короткочасно (0,5 – 1 сек) натискаючи на рукоятку вогнегасника. Струмінь направляти не в сам вогонь, а на поверхню, що горить, починаючи від її країв і поступово переходячи до центру. Якщо горить в самої машині бензин, що розлився під нею, то в першу чергу гасить вогонь на землі, а потім переходить на машину. Полум'я добре поширюється знизу вгору і погано у зворотному напрямку, а тому безглуздо гасити машину, коли під нею горить бензин, що розлився. Він одразу підпалюватиме її знову.

Цілком спустошувати вогнегасник не слід. Потрібно залишити у ньому 10-15 % речовини. Ще раз уважно огляньте автомобіль – чи не залишилися десь приховані вогнища горіння (на днищі машини, на землі, усередині торпедо, під сидіннями тощо). Важливо знайти і ліквідувати їх усіх, щоб вони знову не спалахнули і не призвели до повторного займання. Виявлені вогонь і тління дотушувати речовиною, що залишилася в вогнегаснику.

Усі вогнегасники мають обмежений термін придатності. Як правило, це 3-4 роки. Після його закінчення потрібно або перезаряджання, або заміна новим. Теоретичних знань під час гасіння пожежі недостатньо. Потрібен хоча б невеликий досвід. Отримати його можна загасивши щось простроченим вогнегасником, наприклад багаття на пустирі. Тільки не забудьте підстрахуватися цебрами з водою.

Найбільш пожежонебезпечними визнані гібриди — вони спалахують вдвічі частіше, ніж бензинові моделі і в 120 разів частіше за електрокари [64].

Ризик пожежі в електромобілі у 60 разів менший, ніж у бензиновому авто. Про це свідчать результати дослідження, проведеного американським сайтом AutoInsuranceEZ (рис. 56).



Рис. 56. Пожежа електромобіля у гаражі

Експерти проаналізували дані страхових компаній та американської Національної ради з безпеки на транспорті. З'ясувалося, що всупереч стереотипам, електромобілі спалахують набагато рідше за бензинові моделі.

З'ясувалося, що за 2021 рік зафіксовано **199 532** випадків пожежі (внаслідок ДТП або з інших причин) у бензинових авто, **16 051** – у гібридах та лише **52** – в електромобілях [65].



Рис. 57. Бензинові автомобілі горять у 60 разів частіше за електричні.

За статистикою на 100 тис. електрокарів у середньому припадає **25,1** пожеж. Для порівняння, на 100 тис. бензинових автомобільних пожеж зафіксовано **1529,9**. Найнебезпечнішими ж виявилися гібриди – **3474,5** пожежі на 100 тис. авто.

Бензинові авто переважають і серед моделей, що потрапили під відкликання через пожежонебезпечні дефекти:

1. Hyundai Elantra (бензин) – 430 000 відкликаних авто
2. Kia Sportage та Cadenza (бензин) – 308 000
3. Honda Odyssey (бензин) – 250 000
4. Genesis G80 (бензин) — 95 000
5. Hyundai Kona (електро) – 82 000
6. Chevrolet Bolt (електро) — 70 000
7. Chrysler Pacifica (гібрид) – 27 600
8. BMW 530e/330e/X5 XDrive 45e/745e (гібрид) – 4500
9. McLaren 720S та Senna – 2800

Водночас, експерти зазначають, що гасити електрокари та гібриди з літій-іонними батареями складніше. Їх необхідно заливати величезною кількістю води та після ліквідації пожежі ще добу контролювати температуру батареї, щоб горіння не відновилося [66].

Пожежа PHEV реагують на викиди газової фази. PHEV виявив велику кількість білого диму, вперше з'явившись у півмилі, яке тривало приблизно 60 хви-лин. Білий дим виходив із акумуляторної батареї, як переживала TR. Основним компонентом диму були горючі гази. Коли газ стікався з іскри чи пламенем, він вибухав.

Навколо вибуху на шасі з'явилося полум'я. За цими експериментальними установками напівмая потужність позашляховика PHEV перемістилася у передній пасажирський салон за 9 хв 11 с, тоді як полум'я седана PHEV розвивалося протягом 9 хв 56 с перед тим, як перейти до заднього пасажирського салону. Згодом полум'я автомобіля досягає максимальної висоти близько 3 метрів. У процесі розвитку пожежі розплавлених матеріалів утворили середок пожежі, що прискорило збільшення пожежі транспортного засобу. Крім того, PHEV, які увійшли у фазу горіння протягом близько 9 хв 30 с, мали максимальну зовнішню температуру пламені $843,6^{\circ}\text{C}$ та максимальну температуру пламені у відсіку $696,8^{\circ}\text{C}$. Тип автомобіля істотно вплинув на швидкість розвитку пожеж PHEV. Пламя розширилося навпіл у легковому автомобілі седан, але не в позашляховику. Після того, як полум'я охопило салон, температура всередині вагонів почала зростати. Опитування покладених експериментів проводили на відкритому просторі, пожежі PHEV створювали максимальний тепловий потік $1,151 \text{ кВт/м}^2$ до об'єктів на горизонтальній ділянці 1 м від нового. Максимальний тепловий потік від полум'я ствола період інтенсивного горіння становить $0,620 \text{ кВт/м}^2$.

Крім того, існує кілька потенційних опасностей при займанні PHEV, таких як вибухи горючих газів, лужі розплавлених матеріалів та вогнепальні вихори. Незважаючи на те, що ці опасности були виявлені в цих вогневих випробуваннях, їх небезпечні характеристики в конкретній ситуації ще належить дослідити

ОСОБЛИВОСТІ ГОРІННЯ ТА ГАСІННЯ МЕТАЛІВ ТА ГІДРИДІВ МЕТАЛІВ

Виробництва, пов'язані з отриманням та переробкою металів, їх сплавів, гідридів металів та металоорганічних сполук характеризуються підвищеною пожежною та вибухопожежною безпекою.

При виборі безпечних умов проведення технологічних процесів, у яких звертаються зазначені вище речовини та матеріали, необхідно враховувати особливості їх займання, горіння та гасіння.

Горіння металів, їх сплавів, металовмісних речовин, у т.ч. металоорганічних речовин згідно з ГОСТ 27331-87 поділяються на 3 класи:

- клас Д1 – горіння легких металів (алюміній, магній та його метали, кальцій, титан), умовно «важких» металів (цирконій, ніобій, уран та інших.);
- клас Д2 – горіння лужних металів (літій, натрій, калій та інших.);
- клас Д3 – (металоорганічні сполуки: алюмо-, літій-, цинк-органіка, гідриди алюмінію, літію та ін.).

Кожен з перерахованих металів та їх гідридів у звичайному стані є твердою речовиною, крім металоорганічних сполук (МОС), що являють собою рідини.

З особливостей металів, які мають пряме відношення до їх пожежо-, вибухонебезпечності та горіння, необхідно відзначити наступні:

- схильність до самозаймання за звичайних умов (тобто пірофорність);
- здатність вибухати у стані аерозважки;
- взаємодія палаючих металів з водою, деякими газовими вогнегасними складами: хлоронами (хлорфторвуглеводні), азотом (наприклад, магній) та ін.

Здібністю самозайматися мають лужні метали, стружка, металеві порошки, що мають неокислену активну поверхню, гідриди металів, МОС (класи пожеж Д2, Д3).

Найбільш пожежо-вибухонебезпечними металами, горіння яких відбувається за класом Д1, є легкі метали у вигляді продуктів їхньої переробки: порошоків різної дисперсності, стружки. Метали у вигляді виробів різної конфігурації (лис-ти, профілі тощо) підпалити практично неможливо, якщо забезпечуються умови переважання тепловідведення над приходом [67].

Гідриди металів займають проміжне положення між металами та органічними сполуками. Пов'язано це з тим, що при розкладанні виділяється водень, що можна розглядати як аналогію процесу виділення горючих газів при піролізі органічних матеріалів, що згоряють у газовій фазі [68].

При цьому гідриди металів значно різняться між собою за своїми фізико-хімічними властивостями, механізмом горіння і займання. Так, гідриди титану, ніобію, танталу тощо є по суті розчинами водню в металі і мають змінний склад з металевим типом зв'язку. Вони горять переважно в тліючому режимі, полум'яне горіння водню практично відсутнє.

У той же час літій-алюміній гідрид (ЛАГ), гідриди алюмінію (ГА) та літію (ГЛ) – яскраво виражені індивідуальні сполуки з іонним (для ГЛ – частково ковалентним) зв'язком, що характеризуються наявністю режимів полум'яного та гетерогенного горіння.

ГА і гідриди лужних металів виявляють пірофорні властивості, активно взаємодіють з вологою повітря, при невеликому нагріванні активно виділяють водень і внаслідок цього у стані аеровзвжки утворюють гібридні вибухонебезпечні суміші з повітрям.

При підвищених температурах та при горінні можлива взаємодія азоту з найбільш активними гідридами, наприклад, ГА.

Невелике розведення азоту повітрям може призвести до дуже «жорсткого» вибуху аеровзвесі ГА, тому не для всіх гідридів металів можна використовувати азот як захисну атмосферу. Іноді доводиться використовувати аргон.

Таким чином, характер горіння металів і металовмісних речовин виключає застосування води, водопінних засобів гасіння і ряду газових вогнегасних складів, тому що при контакті цих засобів з металами, що горять, відбувається їх взаємодія, що призводить до розгоряння.

У світовій практиці для гасіння пожеж класів Д1, Д2, Д3 застосовуються вогнегасні порошкові склади спеціального призначення (ОПСН). При створенні рецептури таких складів враховуються такі фактори:

- основна речовина, яка визначає цей склад (від 80 до 95% об.), не повинна містити в молекулі атом кисню (не підтримувати горіння) та не вступати з металом у хімічну реакцію;

- ОПСН повинні мати певний фракційний склад (як правило, у діапазоні 50-мкм);

- ОПСН не повинні стежитись у процесі зберігання, що досягається включенням до їх складу антистежувальних гідрофобізуючих добавок, а також мати ряд інших експлуатаційних властивостей відповідно до загальноприйнятих технічних вимог.

Нині найпоширеніші гасіння пожеж класів Д1, Д2, Д3 ОПСН з урахуванням хлоридів лужних металів (KCl – Росія та $NaCl$ – Європа, США). Як вогнегасні склади для металів існує ряд рідинних складів (наприклад, на основі борних ефірів), але вони не знайшли широкого застосування в практиці пожежогасіння.

Основним принципом досягнення позитивного результату при гасінні металовмісних речовин (за класами Д1, Д2, Д3) є створення за допомогою ОПСН повного захисного покриття вогнища горіння, що перешкоджає доступу кисню повітря в зону горіння. Таке покриття має бути досить щільним, мати необхідну товщину шару порошку по всій поверхні вогнища горіння, що досягається за певної питомої витрати порошку ($кг/м^2$).

Гасіння металів і металовмісних речовин має ряд особливостей, властивих кожній групі речовин за класами Д1, Д2, Д3 у т.ч.:

- для гасіння металів за класом Д1 ОПСН повинен відповідати критеріям, наведеним вище, при цьому основу порошку становить, наприклад, хлорид калію щільністю близько $1 г/см^3$);

- для гасіння гідридів металів (Д3) застосовується ОПСН з характеристиками, аналогічними для ОПСН, що застосовується для гасіння за класом Д1;

- для металорганічних речовин, що є рідинами за звичайних умов, ОПСН повинен мати щільність, близьку до щільності цих речовин ($\sim 0,7-0,8 г/см^3$), що забезпечується введенням до складу порошку негорючої добавки з низькою щіль-

ністю (перліт, вермікуліт), що також сприяє адсорбції МОС та покращує надійність гасіння.

При гасінні натрію [3] виникає так званий «капілярний» або гнітливий ефект горіння за рахунок зростання оксидних утворень, що проростають через шар порошку, якими рідкий натрій проникає і горить у вигляді гнити. Для запобігання зростанню оксидів зазвичай використовують спеціальні добавки.

Гасіння металів і металовмісних сполук ОПСН докорінно відрізняється від гасіння, наприклад, вуглеводневих ЛЗР, ГР (класи пожеж А, В, С) порошками загального призначення. У разі гасіння пожеж класу Д (Д1, Д2, Д3) основне завдання при подачі ОПСН полягає у створенні на поверхні вогнища горіння шару порошкового покриття, бажано рівної висоти, що досягається шляхом використання так званих заспокійників, що приєднуються до пристрою, що подає (на вихіді стовбура, що подає.) вогнегасників, порошкових автомобілів. Використання насадки-заспокоювача при подачі ОПСН необхідне при гасінні порошоків металів та їх гідридів, при цьому практично запобігає утворенню аеровзвжки вогнегасного порошку. Для гасіння пожеж класів А, В, С застосовується розпилювальний пристрій типу пістолет, при цьому створюється порошкова хмара над осередком горіння, яке сприяє досягненню гасіння [69].

ОПСН можна застосовувати для гасіння радіоактивних металів. При використанні, наприклад, вогнегасного складу на основі хлориду калію, значно знижується виділення радіоактивних аерозолів.

Проте використання порошкового пожежогасіння теж має недоліки:

- вогнегасний порошковий склад на відміну від води не має охолодної дії.
- = надійне гасіння можна досягти при охолодженні металів до температури нижче за температуру їх самозаймання. А температура палаючих металів, як правило, значно вища за температуру самозаймання, тому процес гасіння металів та їх гідридів носить тривалий характер;
- практично всі автомобілі порошкового гасіння мають обмежені технічні можливості і не можуть забезпечити надійне гасіння в приміщеннях об'ємом більше 300-600 м³.

- максимальна висота подачі ОПСН в залежності від типу автомобіля порошкового гасіння та тиску в ємності становить 10-25 м, при цьому максимальна відстань подачі порошку по горизонталі становить 40-60 м, що є в ряді випадків недостатнім для того, щоб забезпечити доставку порошку до місця загоряння.

Незважаючи на зазначені недоліки порошкового пожежогасіння найбільш універсальною, надійною та ефективною вогнегасною речовиною для гасіння металів та металовмісних матеріалів є порошкові склади спеціального призначення. Для гасіння та запобігання загоранням металів і гідридів металів у технологічному обладнанні рекомендується використовувати аргон.

При виборі способу пожежогасіння слід розрізняти горіння власне лужних металів, горіння водню, що виділяється у процесі взаємодії металу з водою, та горіння органічного розчинника у присутності лужного металу. Найбільш небезпечно, коли спалахує сам лужний метал, хоча такі випадки трапляються рідко.

Серйозну небезпеку представляє металевий літій, що загорівся. Використання звичайних засобів пожежогасіння (вода, піна, діоксид вуглецю, галогенпохідні вуглеводнів) або посилює горіння, або призводить до вибуху. При температурі вище 250 ° С літій швидко руйнує скло, кварц, бетону вогнетриву, реагує з піском. Стрічка продовжує горіти в атмосфері азоту та діоксиду вуглецю. Непридатні для гасіння хлорид та карбонат натрію, оскільки при контакті з цими солями літій, що горить, витісняє натрій. Не можна застосовувати порошкові вогнегасники, забезпечені складами ПС-(н ПС-2, хоча в багатьох інструкціях їх помилково рекомендують для гасіння всіх лужних металів.

Для гасіння палаючого літію розроблені спеціальні порошкові склади ПС-I, ПС-12 і ПС-13 на основі різних флюсів і графіту з гідрофобізуючими добавками (див. Розд. 3.1). Слід використовувати також порошкоподібний графіт, хлорид літій, хлорид калію. При роботі з літієм, крім звичайних засобів пожежогасіння, необхідно мати наготові достатню кількість одного з перерахованих порошків.

Літій можна згасити також, витіснивши повітря з осередку горіння аргонном. Подавати аргон слід так, щоб струмінь газу не розбризкував рідкий метал. Після припинення горіння залишки металу слід остудити у струмі аргону.

11. ПОЖЕЖНА НЕБЕЗПЕКА ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Світовий запас ЕА 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 в кінці 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 (рис. 58).



Рис. 58. Світове співвідношення кількості продажів ЕА та АзГД з 2011 по 2018 роки

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.

За п'ять років глобальний ринок продажу ЕА збільшився більш ніж у десятки разів, що склало понад 565 000 одиниць у 2015 році, що на 80% більше, ніж у 2014 році, в основному за рахунок Китаю та Європи [70].

Близько 775 000 ЕА та мік-роавтобусів було продано у 2016 році, а 1,22 мільйона - у 2017 році - на 57% бі-льше ніж у 2016 році - на Китай припадає близько половини світових продажів[1].

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, перевищила 3 мільйона у листопаді 2017 року та 5 мільйонів наприкінці 2018 року (рис. 59).

Загальний обсяг продажів у 2018 році становив 2 018247 легкових автомобілів, що на 72% більше, ніж у 2017 році, частка ринку - 2,1%. Співвідношення ЕА та АЗГД склало 69:31 відповідно.[71].

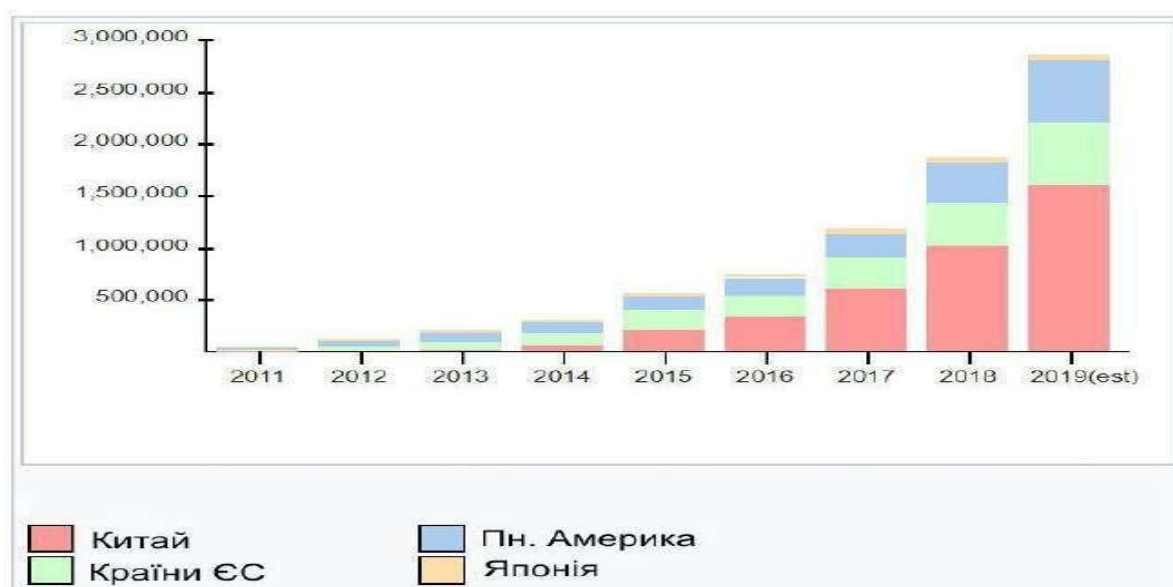


Рис. 59. Річні обсяги продажу ЕА в країнах світу в період з 2011 по 2017 роки.

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

Популярність електромобілів швидко зростає завдяки державним субсидіям, їхньому розширеному асортименту та меншим витратам на щоденне використання, а також екологічній безпеці навколишньому середовищу. На грудень 2018 року світове співвідношення подібних автомобілів складало 1 до 250. Станом на грудень 2018 року в Китаї був найбільший запас ЕТЗ, що налічував більш ніж 2

мільйони пасажирських автомобілів. Китай також домінує в розробці та впровадженні більш габаритного електротранспорту зокрема електро автобусів, їхня кількість складала 343 500 одиниць у 2016 році з загального запасу близько 345 000 транспортних засобів (рис. 60).

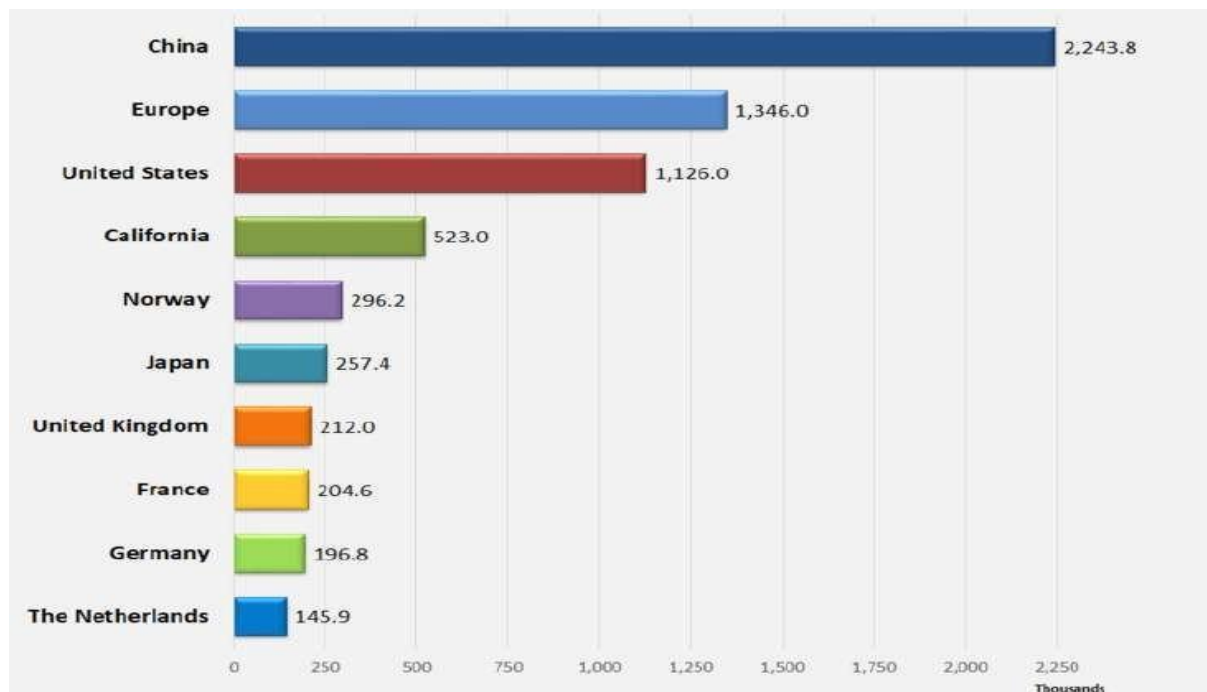


Рис. 60. Країни (регіони) світу за кількістю продажів ЕА (тис.), станом на грудень 2018 року

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 до грудня 2018 року.

До червня 2018 року в Європі було зареєстровано понад мільйон ЕТЗ, а Норвегія - провідна країна, 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 здійснюють розвиток відповідної інфраструктури для них.

Основна проблема при використанні АВП це облаштування заправних станцій, де необхідно здійснювати зберігання великої кількості водню під високим тиском, що в свою чергу створює надзвичайну пожежну небезпеку та вимагає 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, and MAN зацікавлені в виробництві АВП і вже здійснюють їх масовий продаж то можна з впевненістю стверджувати, що попит на подібні ТЗ буде тільки збільшуватися.

Також в підтримку розвитку та виробництва АВП є той факт, що уряди країн всіляко заохочують використання ТЗ, що не здійснюють забруднення атмосфери. Для прикладу, штат Каліфорнія в США виділило фінансування на облаштування 100 автозаправних станцій для АВП, щоб до 2025 року досягнути показника в 1,5 мільйонів АВП.

Також цікавим фактом є те, що Toyota має амбіційний план по розвитку цілого міста, що працюватиме за рахунок використання водню. Розбудова міста планується у підніжжі гори Фудзіяма в Японії. Також автогігант планує розробку близько 100 автобусів, що працюватимуть на водню для забезпечення перевезення пасажирів під час проведення масових заходів на зразок Олімпійських Ігор.

Загалом згідно міжнародних прогнозів ринок АВП до 2050 року складатиме близько 1,3 мл. ТЗ на рік.

Статистика електромобілів 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 станом на вересень 2018 в Україні налічувалося близько 15 696 ЕТЗ різного виду та характеристики, а станом на червень 2019 року їхня кількість складала 25 171, що практично на 10 000 більше. Таким чином практично за рік часу українці збільшили ринок ЕТЗ на 37 %.[1,2].

Подальший детальний аналіз (рис.60) 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 відповідно (рис.61).

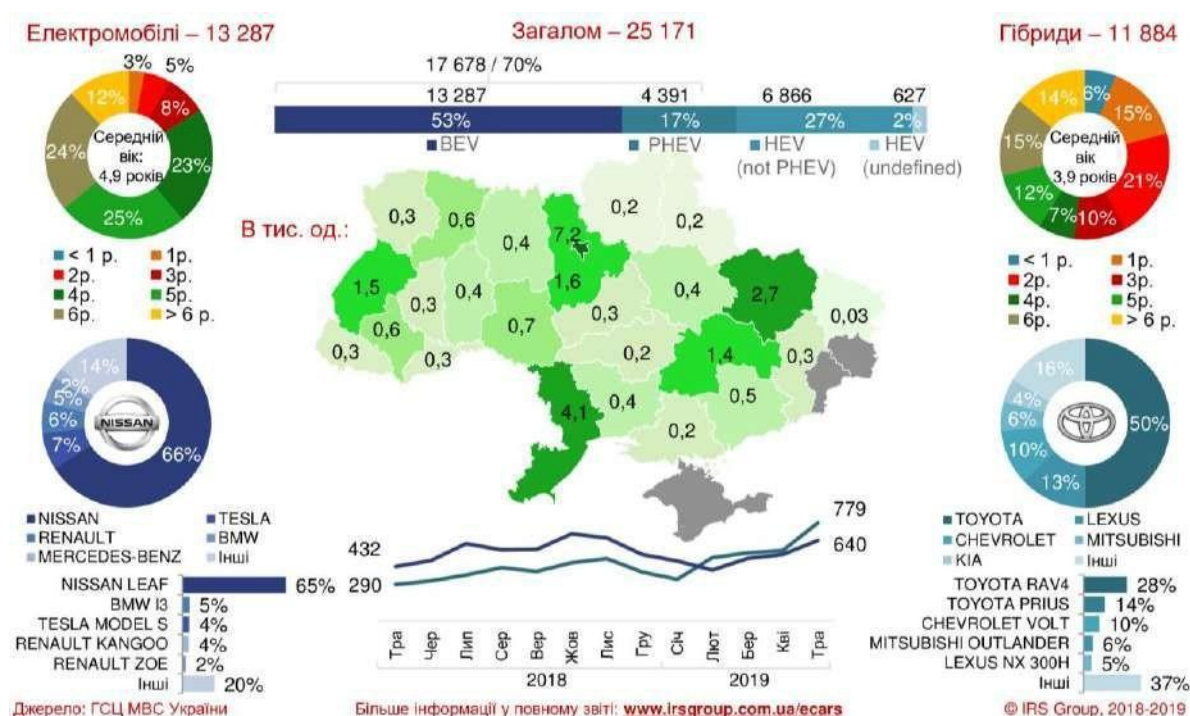


Рис. 61. Кількість зареєстрованих ЕТЗ в Україні, станом на 01.06.2019.

Для визначення пожежної небезпеки автомобілів на альтернативних джерелах енергії необхідно провести аналіз конструктивних особливостей електро-автомобілів та автомобілів на водневому паливі. Отриманий аналіз дасть змогу з подальшому оцінити основні ризики та небезпеки пов'язані з автомобілями на альтернативних джерелах енергії.

Автомобілі марки «Tesla», загалом як і всі інші автовиробники, не мають суттєвих розбіжностей в базовій конструкції кузова автомобіля та розміщенні основних вузлів. Різницю між автомобілями «Tesla Model S та Model 3» буде полягати перш за все в потужності самого автомобіля (потужності акумуляторної ба-

тарей), запасу ходу автомобіля на одному заряді, зовнішніх особливостях дизайну кузова та салону [71].

На відміну від Model 3 Model S (в залежності від комплектації та року випуску) має варіанти виконання з двома електродвигунами, що однозначно впливатиме на потужність автомобіля (рис. 62) в цілому та акумуляторної батареї.[6].

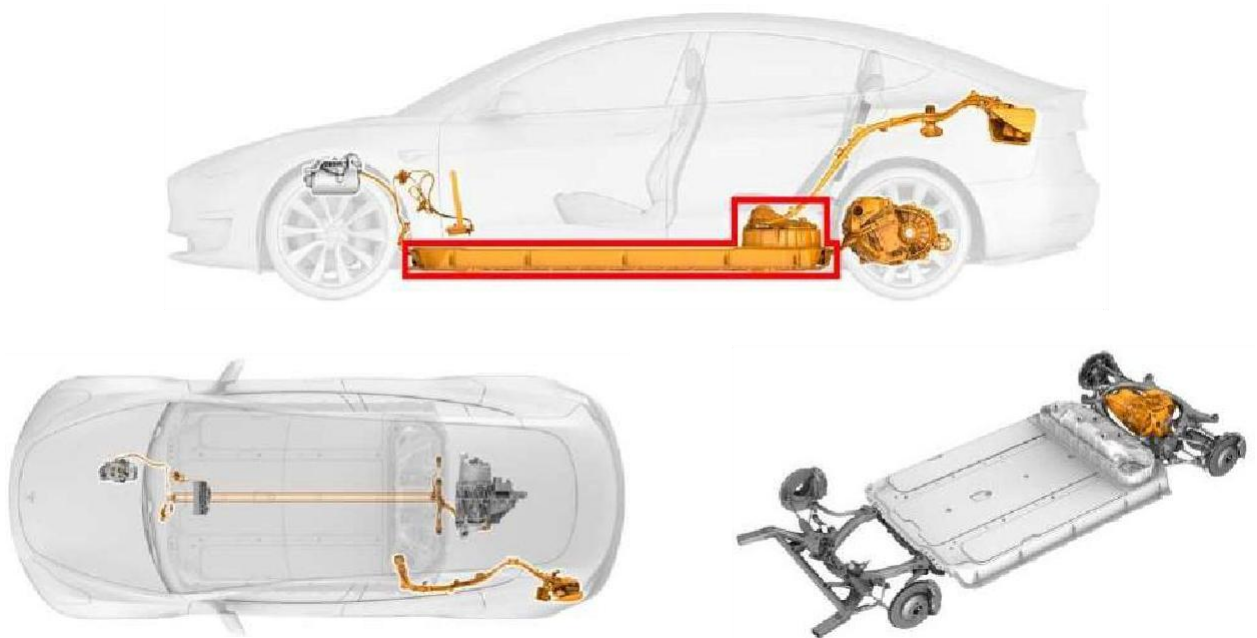


Рис. 62. Базова конструкція та розміщення основних вузлів на автомобілі «Tesla Model 3».



(а) приклад елемента живлення зразка 18650 (18 x 65 мм) б) акумуляторна батарея Tesla Model S

Рис. 63. Приклад елемента живлення 18650 та їхнього розподілу в акумуляторній батареї

Електродвигуни автомобілів модифікації «З» та «S» розміщується на осі заднього колеса автомобіля, а в варіантах двох електромоторів на осях переднього та заднього колеса 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.

Конструкція та характеристика автомобілів «Nissan Leaf»

Електрокар «Nissan Leaf» є найрозповсюдженішим ЕА на теренах Європи та особливо України. На відміну від попереднього ЕА «Nissan Leaf» має принципові конструктивні відмінності в будові акумуляторної батареї та конструкції і розміщенні електродвигуна (рис. 64).

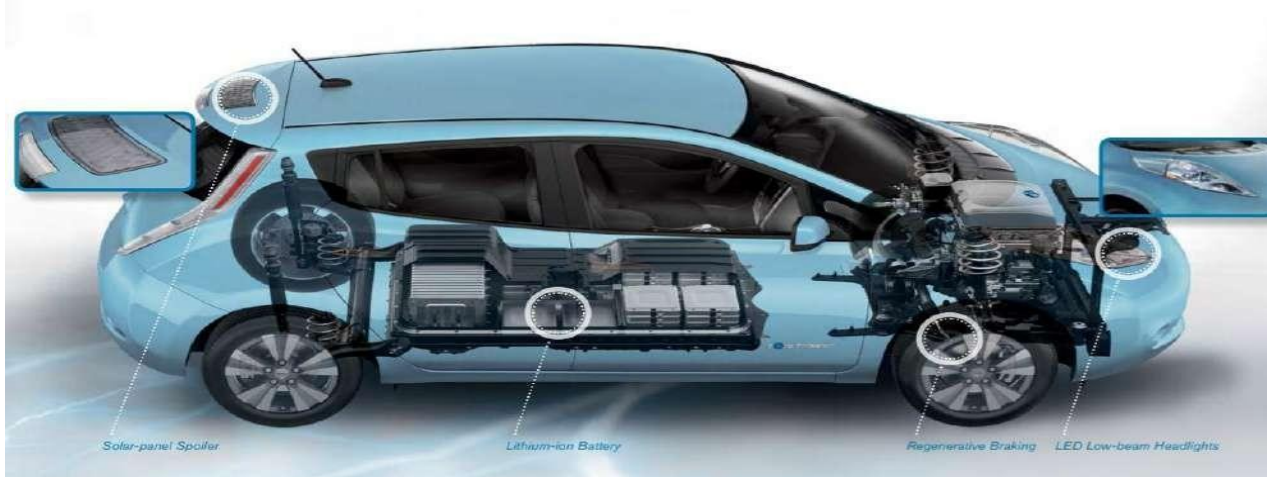


Рис. 64. Базова конструкція та розміщення основних вузлів на автомобілі «Nissan Leaf».

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, а саме пакетних полімерних та як наслідок їхнього подальшого улаштування в корпусі акумуляторної батареї.



а) пакетний полімерний елемент живлення Nissan Leaf б) акумуляторна батарея

Рис. 65. Приклад пакетного полімерного елемента живлення та їхнього 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 елементів живлення – модельний ряд 2010-2017 рр.). Однак, з 2017 року було здійснено удосконалення структури 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 сталою і складала 192 шт. покращення конструкції елементів живлення дало змогу підвищити запас ходу автомобіля на 67%. Електродвигун цього автомобіля розміщується в капотному відділенні [72].

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 привід, що живиться від паливного елемента (рис. 66),

який виробляє електроенергію за рахунок електрохімічних реакцій, що протікає з використанням водню. Для АВП характерні наступні ключові системи:

- система подачі водню, - система накопичення водню; - система подачі водневого палива; - система паливних елементів; - електрична силова установка; - система управління потужністю.

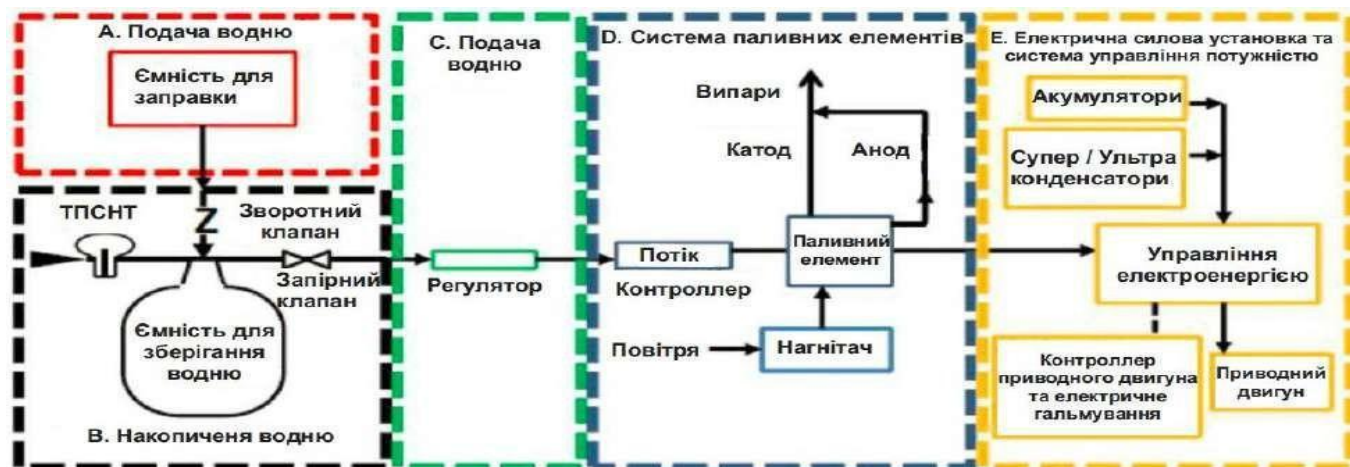


Рис. 66. Схематичний розподіл основних вузлів та систем АВП

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 стислому 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, відповідного 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 та в подальшому використовується для живлення електродвигунів, живлення різноманітних елементів автомобіля.

Рис.67 ілюструє типову схему 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

- середньому тунелі автомобіля. Паливні елементи та допоміжні елементи, як правило, розташовані під пасажирським відділенням разом із системою управління живленням, контролером двигуна та самим двигуном. Враховуючи розміри та вагу тягових акумуляторів та ультраконденсаторів, ці компоненти, як правило, розташовані в машині, щоб зберегти бажаний баланс ваги для належного керування автомобілем.

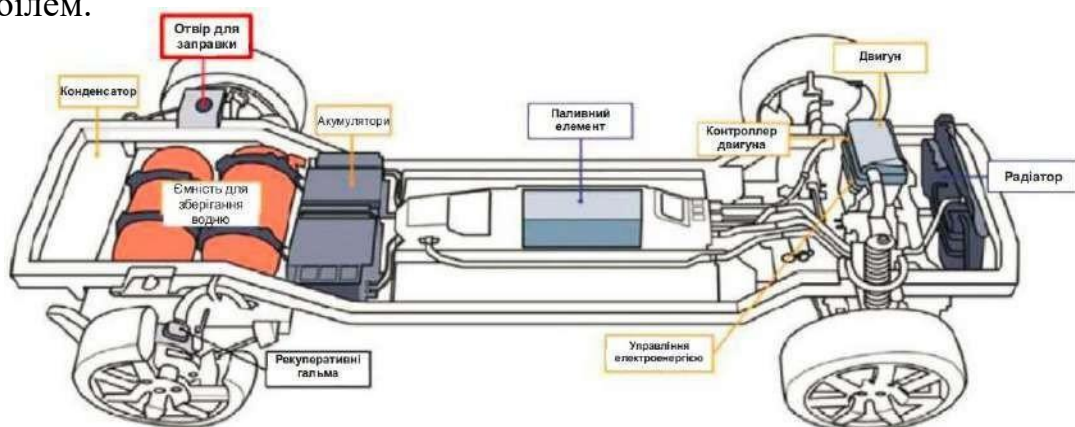


Рис. 67. Загальний принцип роботи АВП

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 [73].

В даний час водень найчастіше розподіляється в автомобілі у вигляді стисненого газу, що знаходиться під тиском до 125% від номінального робочого тиску (NWP) 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 виконанні як з металу (тип III) так і з спеціальних полімерно-композитних матеріалів (тип IV, рис.68).

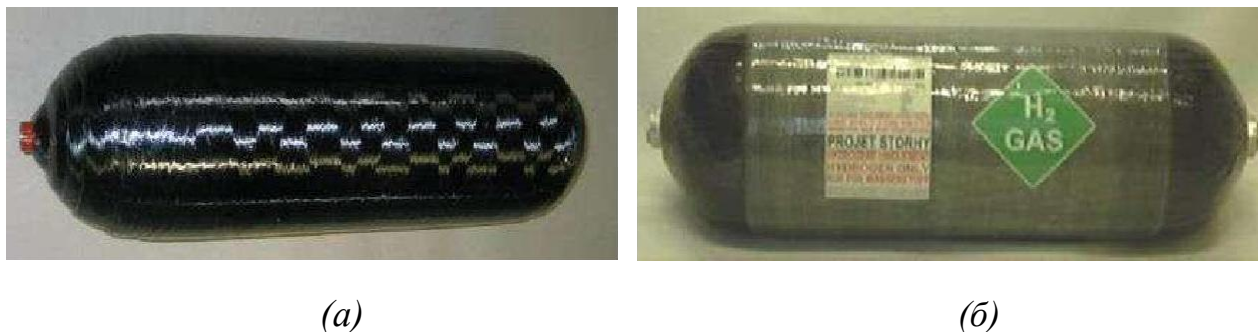


Рис. 68. Прототипи циліндрів 700 барів, розроблені та випробувані в рамках європейського проекту STORHY: (a) технологія типу III, (b) технологія типу IV

Компоненти типової системи зберігання стисненого водню показані на рис 69. Система включає резервуар та всі необхідні елементи які утворюють «первинну межу тиску», що перешкоджає виходу водню з системи.[12].



Рис. 69. 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 витоку водню. Автоматизований запірний клапан водню запобігає відтоку накопиченого водню, коли машина не працює або коли виявлена несправність, яка вимагає 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 балону з воднем. ТАПЗТ призначений для швидкого видалення всього вмісту балону. 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 знаходяться в задній частині ТЗ, біля резервуару 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), пі-ктограма «H₂» блиматиме, пролунає звуковий сигнал, а на комп'ютері з'явиться повідомлення «Виявлено підвищену концентрацію H₂ – покиньте ТЗ».

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 перерізання конструкцій ТЗ.

Система паливних елементів виробляє електроенергію, необхідну для роботи приводних двигунів та зарядки акумуляторів та/або конденсаторів автомобіля. Паливні елементи за рахунок протікання електрохімічної реакції поєднують 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 (CO₂) 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.

Електрична силова установка та система управління потужністю автомобілів на водневому паливі, електроенергія, що виробляється системою паливних елементів, використовується для приводу електродвигунів, що рухають транспортний засіб, а також для живлення повітряного насоса, кондиціонера та інших елементів автомобіля.

Значна кількість легкових АВП мають передній привід де електродвигун розташовується традиційно у «моторному відсіку», встановленому поперечно над передньою віссю, однак можливе і ніше 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.

- РЕЗУЛЬТАТИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПО ПОЖЕЖНІЙ НЕБЕЗПЕЦІ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ (ЕА)

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

Літій-іонні батареї мають ряд переваг, наприклад, довгий термін служби і можливість швидкої зарядки. Але водночас з великими перевагами літій-іонних батарей є ряд недоліків, які несуть потенційну пожежну небезпеку як транспортному засобу так і людині. Оскільки в середині елемента живлення знаходиться електроліт легко запалюється і може стати причиною незворотної термічної реакції, що надалі приведе до виділення легкозаймистих і токсичних газів, а в деяких випадках і вибуху елемента живлення. Незворотна термічна реакція може статися, в разі порушення стабільного режиму роботи елемента живлення і може бути викликана, наступними причинами:

- коротким замиканням;
- перегрівом;
- перезарядженням; механічним пошкодженням.

Відповідно до викладеного вище, метою цього розділу роботи є аналіз результатів актуальних досліджень в галузі пожежної безпеки щодо елементів живлення акумуляторних батарей електрокарів.

Для того щоб літій іонний елемент живлення став джерелом загоряння необхідна наявність трьох складових: кисню, джерела запалювання і горючої речовини [74].

В роботі 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 як наслідок доповнює класичний трикутник виникнення горіння. Також на основі теорії Семенова [9, 10] авторами було розраховано, що при підвищенні температури елемента живлення вище $65,5^{\circ}\text{C}$ має місце прискорення протікання 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 поява ланцюгової реакції «ефекту доміно», на думку авторів, можна зобразити таким чином (рис.70).

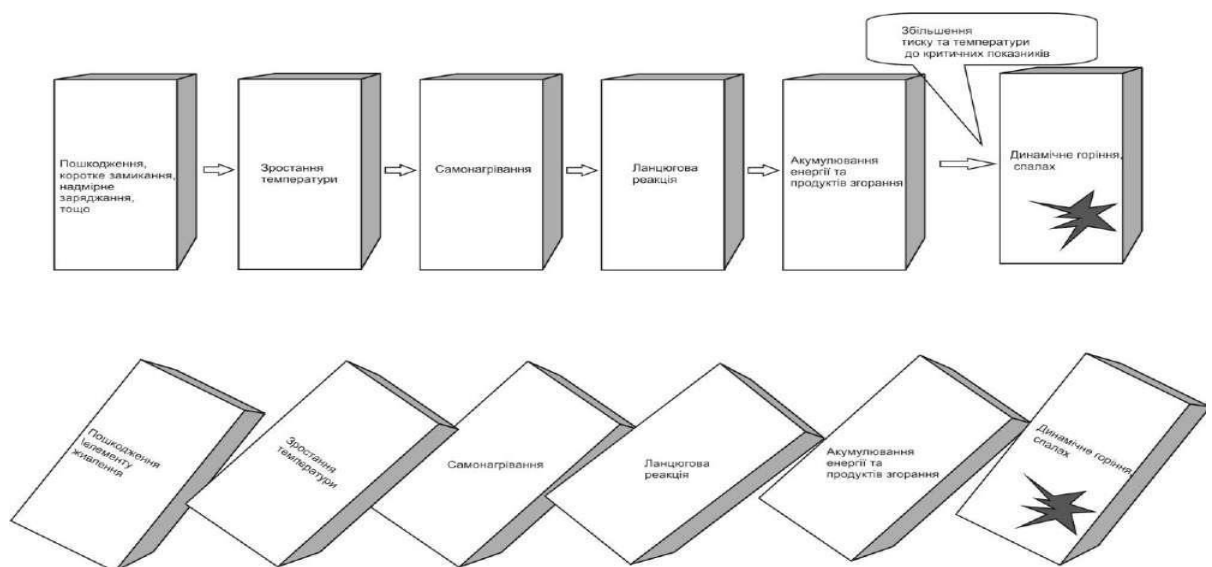
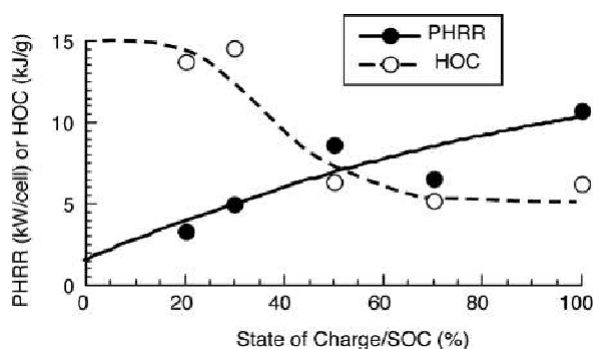


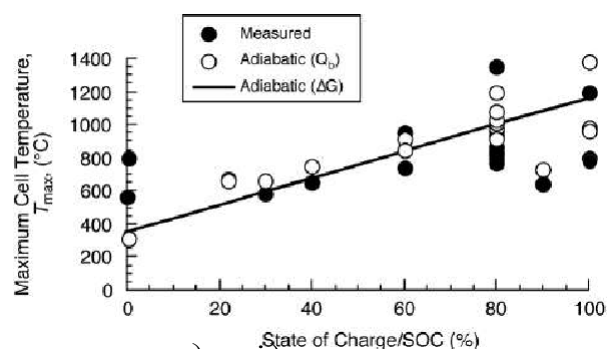
Рис. 70. Ефект доміно в літій-іонному елементі живлення

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

Авторами було досліджено близько дев'яти різних елементів живлення серед яких найбільшу увагу було приділено циліндричним елементів живлення формату 18650 і пакетним полімерним елементам живлення. Для представлених елементів живлення були проведені дослідження по визначенню величини енергії, що виділяється з використанням калориметра, що працює за принципом споживання кисню. У цих тестах елементи живлення піддавалися впливу променистого 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 наступні дані для елементів живлення виду 18650 (рис.71).



а) результати досліджень по визначенню величини теплоти (кВт) і теплоти згорання (кДж/гр) в залежності від величини заряду (%) елемента живлення



б) результати досліджень з визначення максимальної температури (°C) елемента живлення в залежності від величини його заряду (%)

Рис. 71. Результати досліджень по визначенню небезпек літій-іонних елементів живлення 18650.

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

У дослідженнях було проведено ряд експериментів по визначенню темпера-

тури елементів живлення типу 18650 в залежності від величини його заряду і типу укладання елементів. Для експериментів було вибрано два варіанти укладання елементів живлення рис.14. вертикальна і горизонтальна. У кожному з варіантів укладання розміщувався один елемент живлення, який піддавався нагріву шляхом підключення до електричного трансформатора, і служив джерелом тепла для іншого активного елементу живлення. Інші ж елементи живлення були лише імітацією, але які в той же час представляли собою конструкцію максимально схожу на активний елемент живлення з вмонтованими термодатчиками.

Як було сказано раніше експеримент проводився також при різній величині заряду активної батареї: 30%, 100% і більше 100%. В результаті проведених експериментів були отримані наступні результати (рис. 72) .

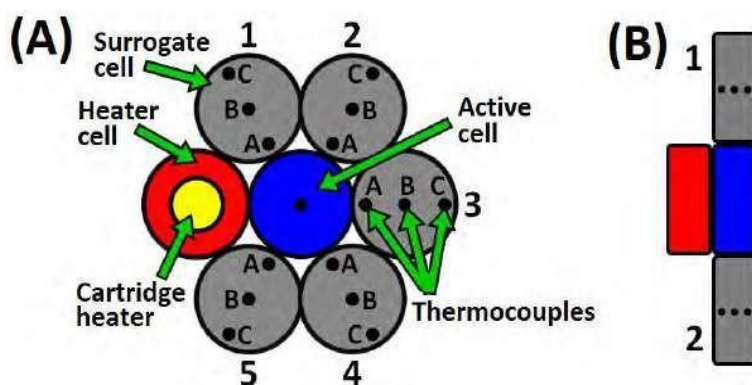


Рис. 72. Приклад розміщення елементів живлення виду 18650: горизонтальне або шестикутне (А) і (В) вертикально

Таблиця 8.

Результати досліджень в залежності від величини заряду елемента живлення і їх розміщення

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

		елемента 1; $T^{cp} = 89-96^{\circ}\text{C}$ – для <i>пр.ел</i> 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 уваги заслуговує робота 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 вчасно їх горіння в залежності від величини заряду елементів живлення [75].

Результати експерименту показали, що величина випромінювання безпосередньо залежить від ступеня заряду елемента живлення (рис.73).

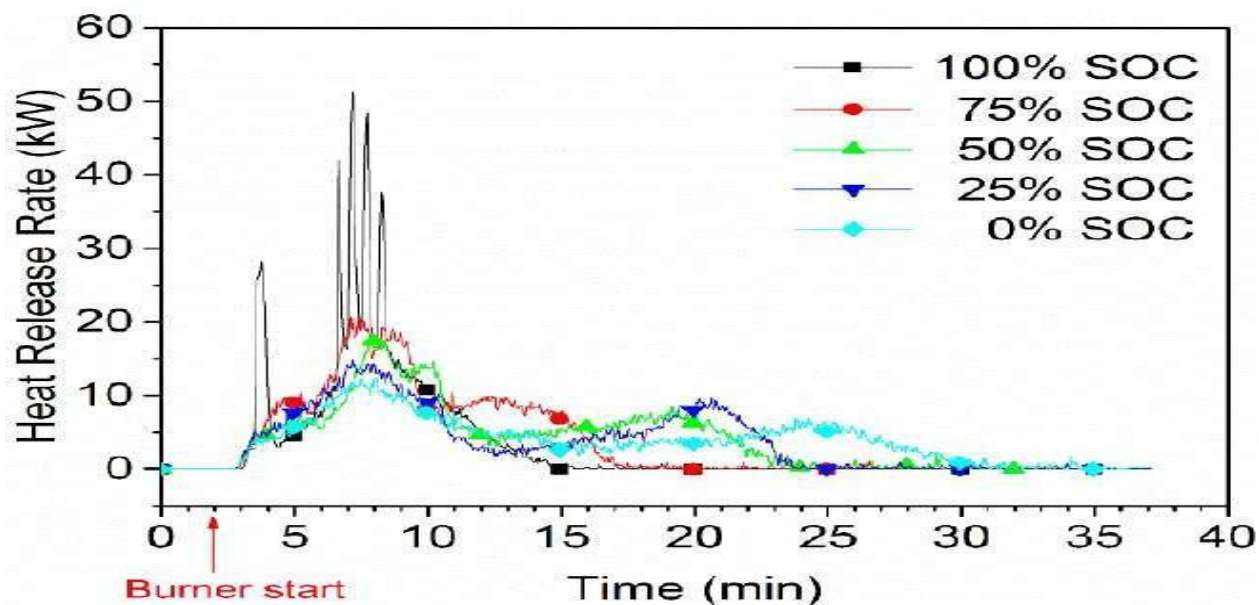


Рис. 73. Величина випромінювання для п'яти елементів живлення в залежності від ступеня їх заряду (0% - 100%).

Як було заявлено раніше в наслідок горіння літій-іонних елементів живлення виділяється не тільки значна кількість теплоти але і значна кількість токсичних продуктів горіння серед яких автори виділяють фтористий водень (HF) і оксифторид фосфору (POF_3).

Важливо відзначити, що швидкість виділення HF набагато вище при ступені заряду елементів живлення 50%, а при 100% показники найменші (рис. 74).

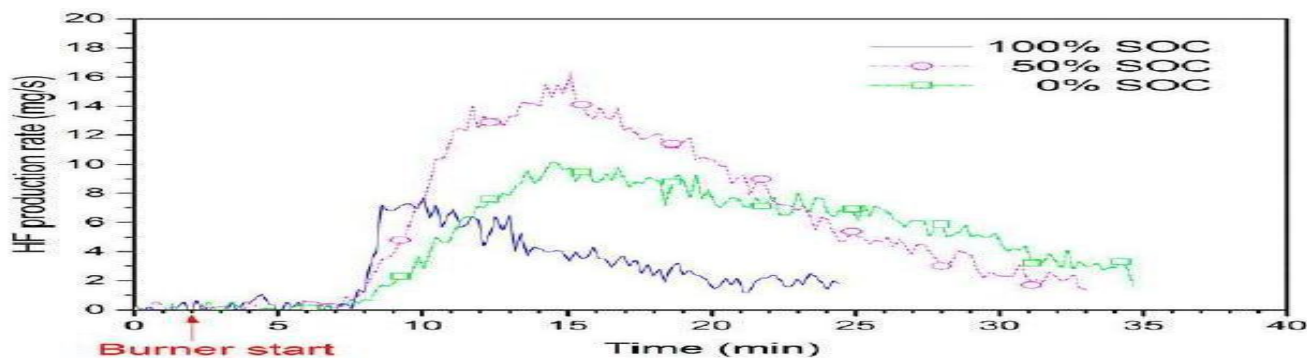


Рисунок 73 -. Швидкість виділення фтористого водню (HF) для п'яти елементів живлення в залежності від ступеня їх заряду (0% - 100%) під час їхнього горіння .

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

Завдяки проведеним повномасштабним вогневим експериментам щодо визначення величини виділеної теплоти, під час згоряння справжньою 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 встановлений в нижній частині задньої частини автомобіля, за заднім сидінням, Рис. 17а. 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 легкозаймистою органічним електролітом.



а) Акумуляторна батарея типу «А» б) Акумуляторна батарея типу «В»

Рис. 74. Приклад акумуляторних батарей для проведення повномасштабних вогневих експериментів акумуляторної батареї «А» від гібридного автомобіля

Акумулятор «В» призначений для електрокарів з ємністю 16 кВт/г укладений в корпус зі скловолокна. Т-подібної форма акумулятора охоплює майже всю довжину транспортного засобу від задньої осі до передньої осі і жорстко змонтована під піддоном автомобіля (рис.74 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 (рис. 75).

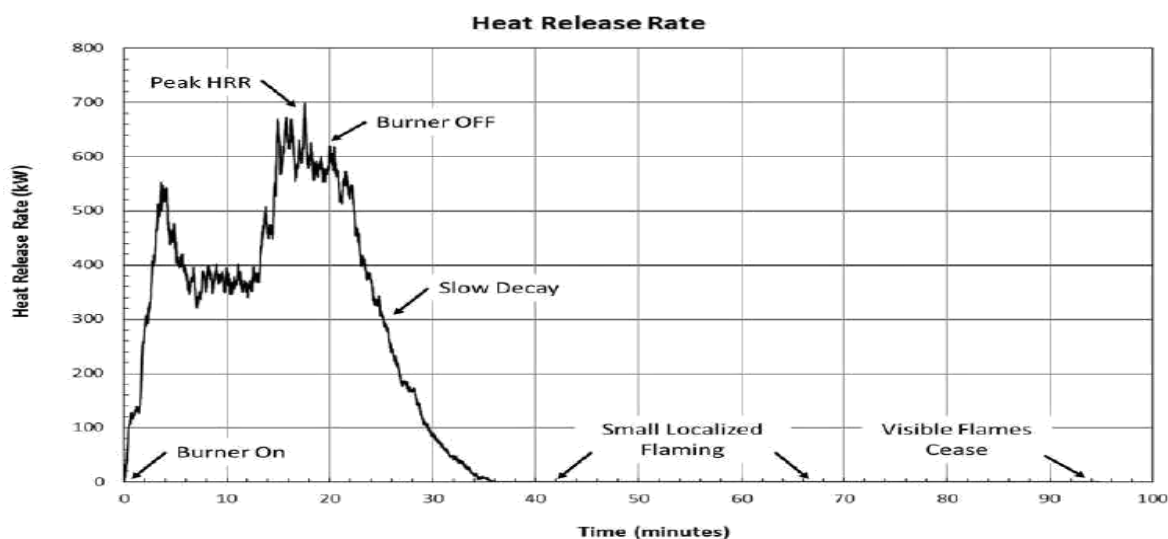


Рис. 75. Результати проведення експериментів з визначення кількості теплоти під час згоряння акумуляторної батареї типу «В»

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 на токсичні або корозійні сполуки. Експеримент вважався завершеним після повного самовигорання акумуляторної батареї без сторонньої допомоги.

Максимальний 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 становила від 94 - 110 °С і 41 - 52 °С відповідно.

У той же час максимальна величина теп-лового випромінювання на аналогічному відстані становила від 17,1 до 18 кВт/м² і 3,7 до 4,7 кВт/м².

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

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

Також під час першого етапу досліджень було взято чотирнадцять зразків продуктів горіння з використанням мішків «Tedlar». Відбір проб проводили кожні 5 хвилин, починаючи з 5 хвилин випробування. Кожен зразок проби робили протягом 1 хвилини. Потім мішки аналізували на HCl, HF, HBr, HCN, CO₂, CO, NO_x, SO₂, акролеїн і формальдегід з використанням інфрачервоного спектрометра з перетворенням Фур'є. Результати показали тільки наявність CO і CO₂. Кожен спектр був безпосередньо досліджений на наявність HCN і HF - не виявлено; однак, автори визнають, що в ході випробувань могло мати місце певна похибка яка вплинула на кінцеві результати.

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

- батарея розміщувалася в кузові автомобіля;
- батарея додатково накривалася захисним листом металу;
- в кузов автомобіля додатково містилися елементи інтер'єру та декору.

Результати проведених тестів наведені в таблиці 9.

Аналогічно з першим етапом під час другого етапу вимірювалася величина теплового випромінювання на відстань 1,5 та 3 метри і таким чином склала 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).

Таблиця 9.

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

Вид батареї / серія тестів	Час витрачений на гасіння, хв	Час подачі во- ди, хв	Загальна кількість во- ди, 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 де- кору
B1	26,52	14,03	6639	Тільки батарея
B2	37,60	21,37	9989	Тільки батарея
B3*	13,88	9,32	4410	Батарея з елемен- тами декору

Час і кількість витраченої води для гасіння пожежі значно відрізняється в наслідок того, що пожежники вже мали досвід гасіння на прикладі попередніх спроб.

Після закінчення кожного варіанта гасіння акумуляторних батарей бралися проби води для подальшого аналізу на наявність шкідливих речовин. Зразки води, зібрані під час випробувань, вказують на присутність хлориду і фториду (ймовірно, в формі HF і хлористого водню HCl).

Однак концентрація хлориду в розчині була тільки в 2-3 рази вище нормальних реєстрованих рівнів, тоді як концентрація фториду була більш ніж в 100 разів вище, ніж нормальні виявлені рівні. Ніякі інші корозійні або токсичні сполуки в зразках води не виявлено.

Отримані на сьогоднішній день результати досліджень щодо літій- іонних елементів живлення акумуляторних батарей дають нам чітке розуміння того, що таке технічне пристосування одночасно з позитивним ефектом несе людству велику небезпеку.

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, POF₃, хоча останнє твердження вимагає 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 по дослідженню гасіння акумуляторних батарей електрокарів показали досить непередбачений результат щодо кількості води необхідної для гасіння подібної пожежі. Виходячи з результатів експерименту середня кількість води необхідне для гасіння подібного загоряння коливається від 2500 до 6000 л, що може перевищувати обсяг вивезеної води одним пожежним автомобілем. Таким чином постає гостра необхідність в удосконаленні тактики гасіння подібних пожеж та тренування особового складу.

В зв'язку з постійним розвитком і вдосконаленням технологій представлені результати будуть відрізнятися від нових видів батарей [16-20] тому в цьому напрямку завжди буде необхідність проводити додаткові дослідження.

За результатами проведеного аналізу конструктивних особливостей та будови автомобілів на альтернативних джерелах енергії було визначено, що на сьогоднішній день існує два основних типів таких автомобілів: електро-автомобілів та автомобілів на водневому паливі. Також відповідно до аналізу можна стверджувати, що основним елементом живлення зазначених транспортних засобів є літій-іонний акумулятор, а у випадку автомобіля на водневому паливі додатково балон(и) зі стисненим воднем під високим тиском (700 атм).

Огляд літературних джерел (наукових статей) показав, що літій-іонні елементи живлення є надзвичайно пожежо-небезпечні за умови утворення короткого замикання, механічного пошкодження, перевантаження електро- мережі.

Горіння літій-іонних елементів живлення відбувається при значних температурах (600°C) та можливе за відсутності окисника. Гасіння літій-іонних елементів живлення вимагає залучення значної кількості вогнегасних речовин (води в кількості близько 5 тон) та необхідності подальшого спостереження після проведення гасіння оскільки можливі повторні самозаймання.

Горіння автомобілів на водневому паливі може супроводжуватися безбарвним факельним горінням водню при температурі близько 2000°C , що вимагає ви-користання додаткового оснащення (пожежний тепловізор) та особливої уваги ке-рівника гасіння пожежі. Додаткову небезпеку може представляти собою неконт-рольований витік водню в приміщенні, що може спричинити руйнування конс-трукцій або удушення (асфексію) особового складу, що перебуває в приміщенні без засобів захисту.

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ БЕЗПЕКИ АВТОМОБІЛІВ З ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ

У електромобілях пасажери сидять дуже близько до електричної системи значної потужності, зазвичай, протягом значного часу. Відносно високі струми, що досягаються в цих системах, і короткі відстані між силовими пристроями та пасажиром означають, що останні можуть зазнавати впливу відповідних магнітних полів. Це означає, що виникає потреба оцінити електромагнітну обстановку всередині цих транспортних засобів, перш ніж випускати їх на ринок. Крім того, при проектуванні електромобілів та їх компонентів необхідно враховувати небезпеку впливу магнітного поля. Для цього інструменти оцінки, засновані на моделюванні методом кінцевих елементів, можуть виявитися дуже корисними. За наявності відповідних рекомендацій щодо проектування електромобілі можна було б зробити безпечними з погляду електромагнітного випромінювання.

Тяговий привід електромобіля є системою значної потужності, від 40 до 120 кВт. Ще більш високі рівні потужності зустрічаються в моделях високого класу або інших транспортних засобах, таких як електричні автобуси.

Ці рівні потужності зазвичай досягаються при великих струмах, а не напруги. Зокрема, більшість комерційних автомобілів в даний час працюють з рівнями напруги нижче 400 В, що має на увазі струми близько сотень ампер. Це означає, що ці приводи можуть генерувати магнітні поля значної сили в порівнянні з іншими традиційними джерелами.

У той же час відстані між цими генераторами магнітного поля та пасажирами у більшості транспортних засобів відносно невеликі; наприклад, акумуляторну батарею зазвичай розміщують якнайдалі від кузова, щоб звести до мінімуму ризик пошкодження акумуляторної батареї та його наслідків у разі аварії; це передбачає розміщення їх прямо під або позаду пасажирських сидінь. Отже, за кілька сантиметрів від пасажирів під час сильного прискорення чи глибокого рекуперативного гальмування можуть циркулювати сотні ампер.

Поєднання великих струмів та коротких відстаней пов'язане з деякими ризиками через наявність сильних магнітних полів. Ці поля потенційно можуть надавати небажаний вплив на електричні та електронні пристрої, а також на живих істот усередині транспортного засобу або поблизу нього. Перші ефекти відомі як електромагнітні перешкоди (ЕМП) та аналізуються в рамках дисципліни електромагнітної сумісності (ЕМС), основною метою якої є забезпечення правильної роботи працюючого обладнання у звичайному електромагнітному середовищі. Зазвичай це робиться шляхом обмеження або кондиціонування електромагнітних полів (ЕМП), випромінюваних кожним пристроєм, але переважно шляхом їх імунізації, щоб на них не впливали електромагнітні перешкоди, що виходять від інших пристроїв.

Другі ефекти називаються електромагнітним випромінюванням (ЕМІ) і відносяться до галузі, відомої як біоелектромагнетизм, яка вивчає всі види взаємодій між ЕМП та біологічними системами. ЕМІ зазвичай поділяють на іонізуюче та неіонізуюче випромінювання залежно від його здатності іонізувати атоми і, отже, розривати хімічні зв'язки. Це можливо тільки в тому випадку, якщо випромінювання несе велику кількість енергії, і, отже, іонізуюча здатність пов'язана безпосередньо з довжиною хвилі і, отже, з частотою.

Кордон між неіонізуючим та іонізу-ючим ЕМІ знаходиться в ультрафіолетовій області електромагнітного спектру. У цьому сенсі все випромінювання, яке випускається електромобілем, є неіонізуючим [76].

Зв'язок між неіонізуючим ЕМІ та здоров'ям людини вивчається десятиліттями. У 1996 році Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ) заснувала Міжнародний проект ЕМП для оцінки наукових даних про можливий вплив на здоров'я низькочастотного ЕМІ (від 0 до 300 ГГц), заохочення цілеспрямованих досліджень для заповнення важливих прогалин у знаннях та розробки міжнародно-ЕМП. Нині деякі можливі наслідки впливу низькочастотного ЕМП досі незрозумілі. У літературі згадуються саме наслідки здоров'я, викликані тривалим впливом (такі як рак чи нейродегенеративні розлади), хоча остаточних результатів отримано був. Багато довгострокові дослідження були описані як сумнівні та з низькою відтворюваністю. Більше того, можна стверджувати, що довгострокові наслідки неможливо визначити з упевненістю, оскільки для їхнього прояву потрібні роки або навіть десятиліття. Отже, довгострокові наслідки є джерелом обговорення у науковому співтоваристві.

З іншого боку, короткострокові неіонізуючі ефекти та їх механізми добре відомі. Ці біологічні ефекти виникають, тільки-но починається вплив, і зникають, коли воно припиняється або незабаром після цього. Вони викликаються надзвичайно сильними низькочастотними (до кількох сотень кГц) та сильними середньочастотними ЕМП (радіохвилі та мікрохвилі до 300 ГГц), тому їх також називають гострими ефектами. Їх можна розділити на дві основні групи: електростимулюючі ефекти та теплові ефекти. Перші є наслідком зв'язку між низькочастотними полями та живою речовиною, прикладом цього можуть бути наведені струми в деяких органічних тканинах, що генеруються зовнішнім магнітним полем. Останні зумовлені енергообміном між середньочастотними полями та біологічними тканинами, що спричиняє підвищення температури у уражених частинах тіла. Теплові ефекти зазвичай незначні для частот поля нижче 100 кГц, але стають дедалі більшими зі зростанням частоти.

Поточні стандарти, керівні принципи та рекомендації щодо максимальних значень впливу розробляються з урахуванням цих гострих ефектів.

Електромобілі є одним із найбільш актуальних додатків, в яких силові пристрої та населення знаходяться в одному просторі. Іншими добре відомими прецедентами є лінії електропередач поряд з будинками чи будинками, електропоїзди та трамваї, побутова техніка тощо. Проте специфічні характеристики електромобілів можуть зробити це особливо тривожним з погляду впливу магнітного поля. Поєднання високих рівнів струму, коротких середніх відстаней між обладнанням та пасажиром та великої тривалості впливу особливо шкідливе для цих транспортних засобів. Як сказано вище, рівні потужності в електромобілях становлять близько де-сятків кВт, а рівні напруги рідко перевищують 600, це показано в таблиці 1 і означає, що рівні струму зазвичай досягають сотень ампер. Існує не так багато програм, в яких люди знаходяться поряд з проводами або пристроями, що передають такі великі струми. Крім того, існуюча тенденція в електромобілях в даний час полягає в максимальному зниженні рівнів напруги, що має на увазі ще вищі струми. Як це не парадоксально, нижча напруга означає підвищену безпеку у разі короткого замикання або ураження електричним струмом, але також знижує безпеку з точки зору впливу магнітного поля.

По-друге, відстань між силовою установкою та пасажиром зазвичай невелика. Для типового електромобіля значення коливаються від 0,2 до 3,0 м залежно від розташування всіх силових пристроїв та силових кабелів. У цьому сенсі топологія та конфігурація транспортного засобу (тобто розташування силових пристроїв у доступному просторі) особливо важливі:

Є також деякі відмінності між чистими та гібридними електромобілями. Перші мають простіші тягові системи, з меншою кількістю пристроїв та механізмів, які легко розміщуються у доступному просторі. З іншого боку, силова передача останніх включає більше обладнання, і тому вони більш схильні до проблем з приміщенням. Наявність більшої гнучкості для розподілу силових пристроїв усередині транспортного засобу – це завжди добре, а вплив магнітного поля – ще один аспект, який виграє від цього, оскільки деякі частини можуть бути віддалені від пасажирів.

Проте, чисті електромобілі споживають більше електроенергії, ніж аналоги. Враховуючи, що рівні напруги аналогічні (див. таблицю 1), це означає, що чисті електромобілі використовують вищі струми і таким чином генерують сильніші магнітні поля. В цілому можна було б очікувати, що другий фактор (сильніші поля) важить більше, ніж перший (великі відстані), тому чисті електромобілі повинні мати на увазі більш високі рівні впливу, ніж гібридні автомобілі. Нарешті, тип приводу також впливає на вплив на пасажирське поле, а саме, автомобілі з заднім приводом зазвичай розміщують більшу частину тягового обладнання (наприклад, електричну машину та інвертор) в задній частині автомобіля, в той час як передні -колісні транспортні засоби розміщують його у передній частині. Оскільки автомобілям надають аеродинамічну форму для мінімізації аеродинамічного опору, передня частина зазвичай довші за задню частину, а відстань між передніми колесами і передніми сидіннями зазвичай більша, ніж відстань між задніми колесами і задніми сидіннями, як показано на малюнку (два приклади на малюнку 2). Це означає, що автомобілі з переднім приводом зазвичай мають більшу відстань між цими силовими пристроями та найближчими пасажирами.

По-третє, щодо тривалості впливу, важливо відзначити, що люди піддаються впливу електромагнітних полів, створюваних електромобілями, протягом значного часу, значно довше, ніж інші види повсякденного впливу, такі як побутові прилади. З результатів, поданих у, можна дійти невтішного висновку, що європейські громадяни проводять у середньому 1 годину 25 хвилин у робочого дня за кермом свого автомобіля. Навіть якщо помітна частина цього часу проводиться із зупиненим транспортним засобом (наприклад, на світлофорах або в пробках), ситуація, при якій магнітні поля мають бути мінімальними, тривалість впливу все одно досить велика. У Сполучених Штатах Америки цей середній час, ймовірно, навіть більший, в середньому до 2 годин. Тут важливо зазначити, що у разі низькочастотних магнітних полів та впливу на здоров'я в даний час немає необхідності враховувати тривалість впливу, оскільки немає наукових доказів будь-яких наслідків для здоров'я через цей тип впливу.

Таблиця 10.

Рівні потужності та напруги деяких комерційних моделей гібридних та електричних транспортних засобів: BEV - електромобіль; HV - гібридний автомобіль; PHV плагін-гібрид.

Модель транспортного засобу	Тип транспортного засобу	Місце виміру напруги ЕМП	Рівень потужності ЕМП (кВт)	Рівень постійної напруги тягової батареї (В)
Пежо Айон	BEV	Заднє колесо	49	400
Ніссан ЛІСТ	BEV	Переднє колесо	80	400
БМВ і3	BEV	Заднє колесо	125	500
Тесла модель S	BEV	Заднє колесо	235	650
Тойота Пріус (3-го покоління)	HV	Переднє колесо	74	400
Тойота Пріус	PHV	Переднє колесо	60	350
Шевроле Вольт	PHV	Переднє колесо	55 (x2)	400

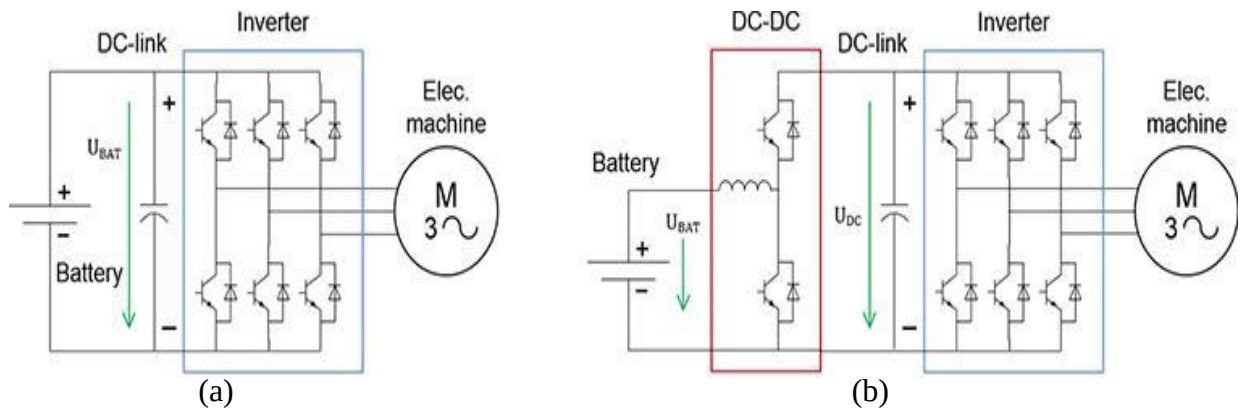


Рисунок 76 - (а) Найпоширена будова в електромобілях зараз. (б) Альтернативна будова, в якій між батареями та інвертором додано перетворювач постійного струму на змінний.

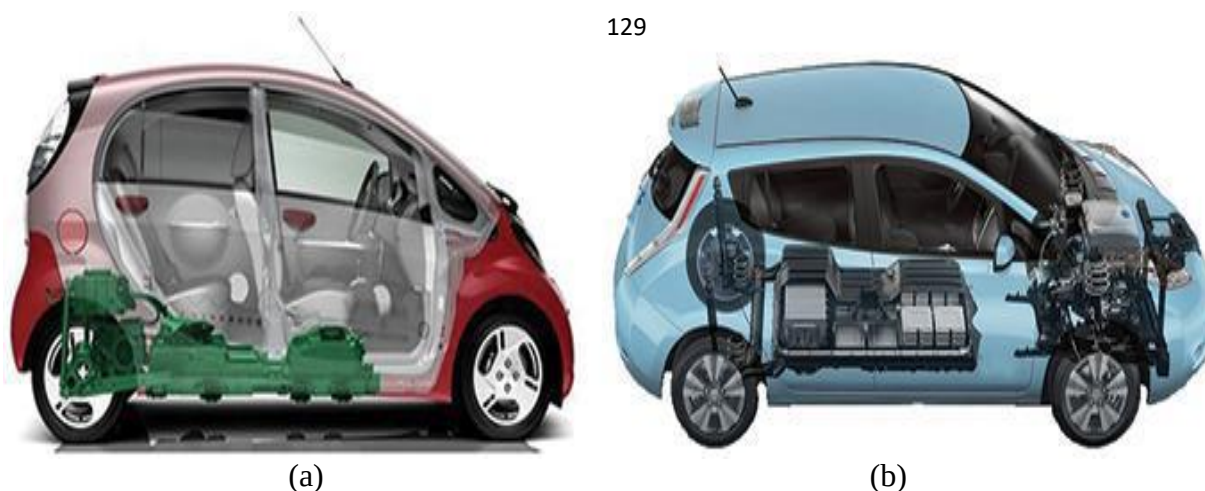


Рисунок 77 - Схема двох відомих електромобілів, що показує розташування основних силових пристроїв: акумуляторів, інвертора та електричного двигуна: а) задній привід та б) передній привід. Оригінальні зображення витягнуті з [3,4] та змінені авторами.

Таким чином, магнітні поля в електромобілях можуть стати проблемою з точки зору здоров'я людини через поєднання трьох факторів: середнього та піко-вого рівнів струму, коротких відстаней між генераторами поля та пасажиром та тривалого впливу.

13. ХАРАКТЕРИСТИКИ МАГНІТНОГО ПОЛЯ АВТОМОБІЛЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ

В статичних електромагнітних умовах електричні поля в основному залежать від рівнів напруги та відстаней між пасажиром та відповідним силовим обладнанням (закон Кулона). Так само магнітні поля залежать від рівнів струму і тих самих відстаней (закон Біо-Савара). Іншими словами, коли ці фізичні величини не змінюються в часі, обидва поля не пов'язані і їх можна вивчати окремо.

Однак більшість електричних систем, включаючи електромобілі, характеризуються електричними величинами, що змінюються в часі. У загальному випадку і відповідно до рівнянь Максвелла обидва поля пов'язані, і їхня залежність по відношенню до змінних, таких як напруги і струми,

набагато складніша, ніж ті, що даються законами Кулону та Біо-Савару. На щастя, у багатьох випадках немає не-обхідності працювати з рівняннями Максвелла, коли застосовні квазістатичні на-ближення.

Зокрема, коли частоти електромагнітних явищ низькі, так що швидкість поширення можна вважати нескінченною - можна використовувати квазістатичну модель, яка дає проміжне рішення між найбільш загальним динамічним випадком (рівняння Максвелла) та чисто статичним випадком (закони Кулона та Біо-Савара) . У цьому сенсі квазістатична система еволюціонує з одного стану в інший, якби вона була статичною системою.

Залежно від конкретної використовуваної квазістатичної моделі (кожен ва-ріант є різним наближенням рівнянь Максвелла) прийняті спрощення будуть різ-нитися. В даному випадку використовується модель Дарвіна, що враховує як єм-нісні, так і індуктивні ефекти і включає вклад магнітного поля в повне електричне поле (закон Фарадея) [77]. У моделі Дарвіна закон Біо-Савара застосуємо безпосередньо, з тією лише різницею, що струми та магнітні поля є змінними, що зміню-ються у часі. Однак закон Кулона необхідно розширити, щоб врахувати магнітну індукцію. Іншими словами, магнітні поля, як і раніше, залежать від струмів і відс-таней, а також від часу, тоді як електричні поля залежать від напруги, відстаней, часу і від магнітних полів.

Електромобілі є транспортом, у якому підходять квазістатичні моделі, оскі-льки частоти, як правило, низькі. В електричному приводі, наприклад, в електро-мобілі, є два основні типи частот:

- Основні частоти: це найнижчі частоти у системі, і вони пов'язані з робочою точкою приводу. Наприклад, в режимі, що встановився, основна частота буде приблизно дорівнює 0 Гц (постійного струму) для струму батареї і 100 Гц для си-нхронної машини з частотою обертання 2000 об/хв і частотою 50 Гц, що працює зі швидкістю 4000 об/хв в області ослаблення потоку. Під час перехідних процесів деякі з цих основних частот будуть містити гармоніки. Одним із прикладів цього є піки потужності в батареях,

які пов'язані з низькочастотними гармоніками струму батареї. Загалом основні частоти будуть дуже низькими, максимум близько сотень герц. Однак відсутність стійкого стану в деяких ситуаціях, таких як міське керування, передбачає широкий частотний спектр.

- Частоти перемикавання: ці значення частоти і відповідні гармонійні складові визначаються роботою силових напівпровідників, таких як біполярні транзистори з ізольованим затвором (IGBT) і діоди. Вони визначаються багатьма факторами, починаючи від методу модуляції (смуга гістерезису, широтно-імпульсна модуляція (ШИМ), просторово-векторна модуляція (SVM), пряме управління моментом (DTC) і т. д.), а також від значення індуктивності відповідного фільтра. Для тих, які використовують змінну частоту перемикавання, її значення також залежатимуть від робочої точки.

Що важливіше, частоти перемикавання значно змінюються з технологією сигової електроніки. Наприклад, існує величезна різниця між звичайними IGBT, швидкодіючими IGBT і карбідокремнієвими (SiC) польовими транзисторами метал-оксид-напівпровідник (MOSFET). Перші зазвичай працюють на частотах від 2

до 20 кГц. Швидкі IGBT можуть досягати частоти до 50 кГц у багатьох додатках, тоді як SiC MOSFET перевищують частоти понад 150 кГц. Враховуючи рівні напруження, які зазвичай використовуються в комерційних електромобілях, неможливо виключити будь-яку з трьох вищеперелічених основних технологій, тому всі вони підходять для цієї програми.

Таким чином, частоти магнітного поля можуть значно відрізнитись від одного транспортного засобу до іншого. Відповідно до поточних конструкцій електромобілів і з урахуванням реалізованих у них технологій (звичайні IGBT, синхронні або асинхронні машини) є розумним очікувати основну частоту і частоту перемикавання до 10 кГц з відповідними гармонічними складовими до 300 кГц. Ці значення класифікуються як «низькі та вкрай низькі частоти» з погляду електро-магнітного впливу. Як би

там не було, електромагнітні поля, що генеруються електромобілями, мають відносно широкий час. Крім самого тягового приводу, транспортний засіб має безліч генераторів магнітного поля. Прикладами, присутніми не тільки в електромобілях, а й у звичайних транспортних засобах з ДВЗ, є інше силове обладнання, таке як система кондиціонування повітря, а також намагнічені шини зі сталевим брекером, які є одним із основних джерел вкрай низькочастотних магнітних полів у звичайних автомобілях. транспортні засоби.

Це ненавмисне намагнічування є наслідком виробничого процесу, і результатом є магнітне поле, частота якого залежить від швидкості транспортного засобу та знаходиться в діапазоні від 0 до 20 Гц [9, 10]. Це поле має значну силу, але дуже швидко слабшає зі збільшенням відстані. Отже, максимальні значення впливу зазвичай мають місце в області стоп. На думку деяких авторів, цим джерелом магнітного поля можна знехтувати при розгляді впливу магнітного поля всередині гібридних та електричних автомобілів, але цей момент не зовсім зрозумілий.

Тим не менш, всі генератори магнітного поля роблять свій внесок у загальний вплив магнітного поля і тому повинні бути включені в дослідження ЕМІ. Тут важливо вказати, що вплив магнітного поля має оцінюватися глобально (загальне магнітне поле), а не індивідуально (магнітне поле, яке створюється кожним пристроєм або частиною обладнання).

Існують інші чинники, які можуть позитивно впливати на вплив магнітного поля. Наприклад, результати, подані у роботі припускають, що корпус автомобіля може поводитися як другорядний магнітний екран для деяких частот. Отже, конструктивні аспекти, такі як форма, матеріал та товщина корпусу, можуть впливати на вплив магнітного поля.

Також зручно враховувати, які робочі точки потенційно небезпечніші для здоров'я людини. При нормальній експлуатації автомобіля піки потужності/струму будуть вищими при сильному прискоренні, ніж при

глибокому рекуперативному гальмуванню. Це пов'язано з двома основними причинами: пасивним характером деяких опорів руху (опір коченню та аеродинамічний опір), з чого випливає, що вони завжди будуть протидіяти руху, і загальною енергоефективністю тягового приводу. Зверніть увагу, що стиль водіння сильно впливає на загальний магнітний вплив електромобілів: чим агресивніший стиль водіння, тим сильніше магнітні поля всередині автомобіля.

Тим не менш, є ще одна ситуація, яка може призвести до потенційно небезпечної дії на пасажирів або навіть на пішоходів, що знаходяться поряд із автомо-білем: швидка зарядка.

У міру вдосконалення технології акумуляторів досягають-ся вищі швидкості перезарядки, що, очевидно, має на увазі більш високі струми і, отже, сильніші магнітні поля. В даний час вже звичайні швидкості заряду 2-4 С, а в найближчому майбутньому можуть бути досягнуті ще більші значення. Тому необхідно вивчати генерацію магнітного поля не тільки при нормальній експлуатації автомобіля, а й при швидкій зарядці. Як правило, під час швидкої за-рядки рекомендується залишатися поза транспортним засобом і на деякій відстані від нього.

Нарешті, важливо враховувати велику різноманітність електромобілів, що випускаються в даний час, і те, як їх різні конфігурації, топології та рівні потужності впливають на вплив магнітного поля. Конфігурації автомобіля (наприклад, тяга передніх та задніх коліс; іншим прикладом може бути розміщення акумуляторної батареї), а також про топологію живлення (суттєві відмінності виникають при додаванні DC-DC). перетворювача або при використанні гібридних систем накопичення енергії, що поєднують батареї та суперконденсатори для підвищення продуктивності. Однак найбільші відмінності виявляються при розгляді електромобілів різних типів, таких як мотоцикли, автобуси, автомобілі або навіть електричні літаки [18, 19]. Магнітний вплив на ці транспортні засоби може відрізнятися в порівнянні з електромобілями, залежно від задіяних рівнів потужності і відстані між

силовим обладнанням і найближчими пасажирями. Оцінка впливу магнітного поля є двоетапний процес: по-перше, необхідно охарактеризувати магнітне поле всередині транспортного засобу (шляхом оцінки або вимірювання). Другий крок полягає у визначенні того, чи можуть отримані значення становити небезпеку для пасажирів. Обидві завдання можуть бути дуже складними, і тому вітається будь-яке керівництво. У цьому сенсі існують деякі стандарти та рекомендації, які допомагають на другому етапі. Занепокоєння щодо потенційно небезпечних наслідків неіонізуючого ЕМІ почало виникати кілька десятиліть тому, приблизно в 1950-х і 1960-х роках, спочатку у зв'язку з радіохвилями та мікрохвилями, а останнім часом також і з полями низької інтенсивності, такими як поля,

що генеруються лініями електропередач, стільниковими телефонами, та пристрої Wi-Fi. Вплив неіонізуючого елект-ромагнітного поля на організм людини вивчається вже багато років, і результати в одних випадках остаточні, а в інших непереконливі.

По суті, існує два типи впливу електромагнітних полів на біологічні тканини: короткочасний та довготривалий вплив. Короткочасні ефекти, також відомі як гострі ефекти, виявляються миттєво або за кілька хвилин після початку впливу. Як правило, ці ефекти виявляються лише в полях значної інтенсивності та зникають при припиненні дії. Біологічні механізми, що беруть участь у цих коротко-строкових ефектах, відносно добре відомі, як і значення полів (інтенсивність та частота), що їх викликають [24-27]. Зазвичай їх поділяють на дві основні групи: електростимулюючі ефекти та теплові ефекти. Перші викликані взаємодією між низькочастотними полями та живою речовиною або поляризацією та дипольною переорієнтацією, викликаною електричними полями, або індукованими струмами, що генеруються магнітними полями (наприклад, сильне змінне магнітне поле може індукувати електричні струми, здатні до небажаної стимуляції нервів та м'язів). Останні відносяться до обміну енергією між полями та тканинами, що підвищує їхню температуру. Цими тепловими

ефектами можна знехтувати на часто-тах нижче 100 кГц, але вони виявляються більш високих частотах (для ілюстрації розглянемо принцип роботи мікрохвильової печі, робоча частота якої становить близько 2,45 ГГц).

З іншого боку, довгострокові ефекти – це ті, які можуть проявитися після кількох місяців чи років дії. У кількох дослідженнях намагалися визначити взаємозв'язок між тривалим впливом електромагнітних полів та різними патологіями (рак, нейродегенеративні розлади тощо), але переконливих доказів цього не знайшли. Приблизно половина цих досліджень показує невеликі кореляції, просто статистично значущі між тривалим впливом і цими захворюваннями. У будь-якому випадку можливість такого взаємозв'язку змусила Міжнародне агентство з вивчення раку (IARC) класифікувати низькоінтенсивні, низькочастотні електромагнітні поля, а також радіочастотні електромагнітні поля як «можливо канцеро-генні для людини (група 2B)».

Взагалі кажучи, надзвичайно важко встановити прямі біологічні ефекти, ви-кликані тривалим впливом, і отримати результати, що відтворюються [23]. Як на-слідок, стандарти та керівні принципи обмеження впливу на людину розробля-ються на основі лише добре відомих, науково доведених короткострокових ефек-тів (з відповідними коефіцієнтами безпеки), і тому довгострокові ефекти не бе-руться до уваги. Це стосується двох найпоширеніших рекомендацій: Міжнародної комісії із захисту від неіонізуючого випромінювання (ICNIRP) та Інституту інже-нерів з електротехніки та електроніки (IEEE). Обидва описані нижче.

14.РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ОБМЕЖЕННЯ ВИПРОМІНЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПОЛІВ

Найбільш розширені критерії рекомендованої межі впливу ЕМП були впе-рше запропоновані Міжнародною комісією із захисту від неіонізуючого випромі-нювання (ICNIRP) у 1998 р. Ці рекомендації ґрунтуються на сучасних науко-вих даних, а також на аналізі ризиків, проведеному Всесвітньою організацією охорони здоров'я (ВООЗ). Вони встановлюють

рекомендації щодо захисту з урахуванням добре відомих механізмів та відповідних факторів безпеки, останні переважно зумовлені науковою невизначеністю.

Через одинадцять років після їх першої публікації не було виявлено жодних нових наукових доказів будь-яких побічних ефектів, тому було вважати непо-трібним перегляд рекомендацій щодо обмеження впливу високочастотних ЕМП (від 100 кГц до 300 ГГц). Проте щодо статичних ЕМП і вкрай низькочастотних ЕМП (від 1 Гц до 100 кГц) у 2009 р. [30] та 2010 р. було опубліковано спеціальні керівництва, відповідно, у спробі включити результати основних науко-вих публікацій за ці 11 років. Згадані публікації не лише встановлюють рекомен-довані межі впливу ЕМП, але й містять пояснення щодо того, як ці поля можуть впливати на здоров'я людини. Ці два посібники пропонують рекомендовані межі впливу (які визначаються у термінах внутрішніх величин, таких як електричні по-ля та індуковані струми в даній тканині, що ускладнює оцінку впливу), але вони також надають референтні рівні для електромагнітного середовища (зовнішні електричні та значення магнітного поля).

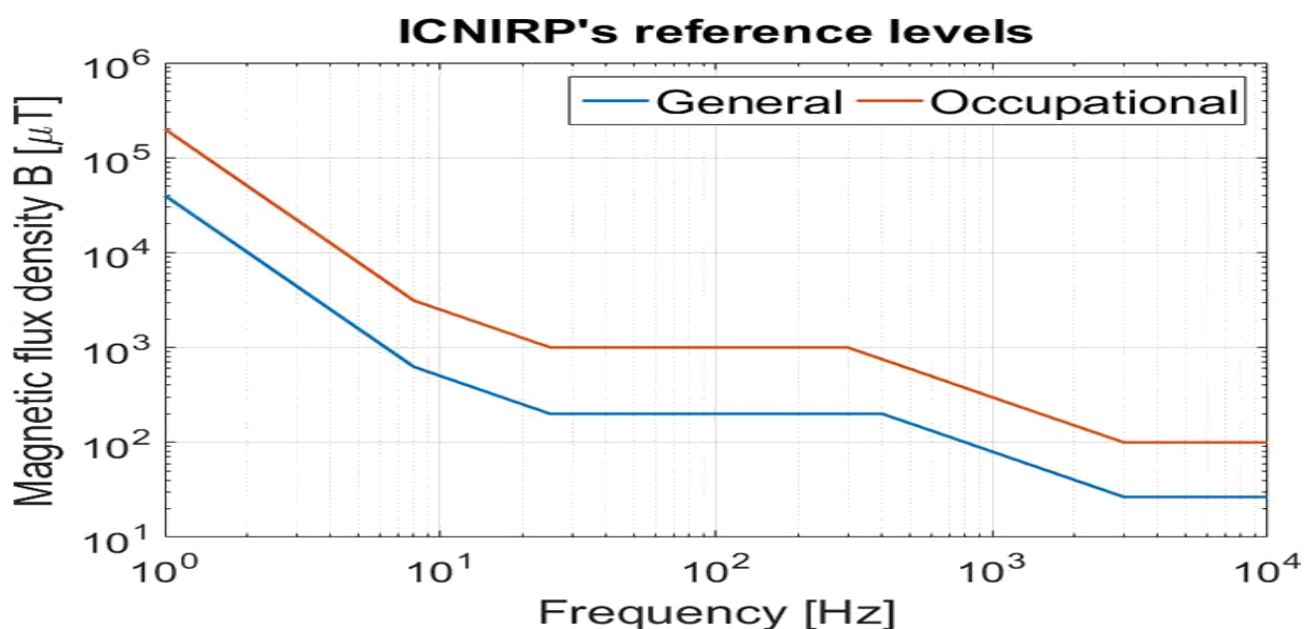
Ці рівні надзвичайно корисні з метою оцінки впливу магнітного поля, оскільки зазвичай застосовується таке міркування: якщо середовище впливу відповідає еталонним рівням поля, можна вважати, що межі впливу не порушені. Звісно, перевищення цих референтних рівнів необов'язково означає порушення відповідних меж впливу. У таких випадках потрібний додатковий аналіз.

Таблиця 12.

Референтні рівні ICNIRP для впливу магнітних полів, що змінюються в ча-сі на населення. Примітки: Н і В у незворушених середньоквадратичних значен-нях. Крім того, для частот вище 100 кГц необхідно враховувати опорні рівні, що стосуються ефектів нагрівання тканин.

Частота (Гц)	Магнітне поле (Ам^{-1})	Щільність магнітного потоку (В/Т)
--------------	------------------------------------	-----------------------------------

1-8	$3,2 \cdot 10^4 / f^2$	$4 \cdot 10^{-2} / f^2$
8-25	$4 \cdot 10^3 f$	$5 \cdot 10^{-3} f$
25-400	$1,6 \cdot 10^2$	$2 \cdot 10^{-4}$
400-3 кГц	$6,4 \cdot 10^4 f$	$8 \cdot 10^{-2} f$
Від 3 кГц до 10 МГц	21	2,7.



Що стосується меж впливу ЕМП, виникають різні міркування залежно від постраждалої людини. Таким чином, існує «професійне опромінення», яке застосовується до тих осіб, які зазнають впливу ЕМП в результаті виконання своєї звичайної трудової діяльності. Існує також «суспільний вплив», який відноситься до решти населення. Таким чином, референтні рівні ICNIRP для статичних магнітних полів становлять 400 мТл для населення (включаючи пасажирів електромобілів) та 2 Тл для професійного населення [30], тоді як магнітне поле Землі колива

-ється від 30 до 60 мкТл, залежно від регіону на Землі. Що стосується полів, що змінюються в часі, межі впливу ЕМП на «широке населення» наведені в таблиці 2, а також на малюнку 3. Зверніть увагу, що ці значення відповідають синусоїдальним, одночастотним, однорідним магнітним полем.

Наведені вище контрольні рівні не розглянуті як функція часу (тривалість впливу). Це максимальні чи абсолютні значення, які ніколи не повинні порушуватися. Це узгоджується з тим, що їх відповідні межі впливу були встановлені тільки на основі короткострокових ефектів. Іншими словами, вищевказані рівні мають гарантувати відсутність шкідливих біологічних ефектів у короткостроковій перспективі на основі поточних наукових даних та відповідно до критеріїв, заснованих на консенсусі експертів.

Що стосується багаточастотної синусоїдальної дії, ICNIRP заявляє, що всі вклади слід розглядати як кумулятивні, так що має дотримуватися наступна спільна межа: Що стосується багаточастотної синусоїдальної дії, ICNIRP заявляє, що всі вклади слід розглядати як кумулятивні, так що має дотримуватися наступна спільна межа:

$$\sum 10 \text{ МГц} = 1 \text{ Гц} B_{\text{ДжБмакс}} , \text{Дж} \leq 1 \sum \text{Дж знак}$$

$$\text{равно} 1 \text{ Гц} 10 \text{ МГц} B_{\text{ДжБМаксимум}} , \text{Дж} \leq 1 \text{ Е1}$$

де БДжБДж - величина поля на кожній заданій частоті, аБ-макс , ДжБМаксимум, Дж - є опорним рівнем, відповідаючи цій частоті. Вираз для магнітного поля ЧАСЧАС є аналогом.

У тому разі несинусоїдна дія процедури оцінки полягає у проведенні частотного аналізу для отримання відповідного гармонійного розкладання. Після цього всі гармонійні складові мають бути враховані одночасно за допомогою рівняння (1).

Ця методологія проста, але дуже консервативна, враховуючи, що вона передбачає, що всі гармонійні складові знаходяться у фазі (найгірший сценарій), що навряд чи реально. Це припущення настільки песимістично, що

навіть фоновий шум може призвести до порушення опорних рівнів ICNIRP, якщо до розрахунку включено достатню кількість гармонійних складових [32]. Отже, натомість рекомендується використовувати другий метод для випадків, коли число гармонійних складових є значним. Цей альтернативний метод полягає у зважуванні компонентів поля за допомогою функції фільтрації (зворотне перетворення Фур'є), пов'язаної з опорними рівнями :

$$| \sum E_{\text{н}} \cos(2\pi f_n t + \theta_n + \phi_n) | \leq | \sum E_{\text{н}} \cos(2\pi f_n t + \theta_n + \phi_n) | \leq 1$$

де $E_{\text{н}}$ - опорний рівень, відповідний гармоніка, частота якої f_n , поки B_n також θ_n - амплітуда і фаза поля, відповідні цій частоті, відповідно, ϕ_n - фаза фільтра (також для цієї частоти), і цей час. Приклад реалізації описаного вище методу можна знайти в, а також, де рівняння (1) дає 99% по відношенню до еталонних рівнів ICNIRP, в той час як рівняння (2) зменшує цей результат до 19%.

Як згадувалося вище, значення ICNIRP дано для однорідного впливу по відношенню до всієї довжини людського тіла. Однак це припущення неправильне, коли джерела магнітного поля знаходяться близько до постраждалих людей, що може статися в електромобілі.

Знову ж таки, розгляд неоднорідного впливу як однорідного (приймаючи максимальні значення за середні значення) призводить до консервативного підходу.

Інші методи включають просторове усереднення або дозиметричний аналіз. Також важливо уточнити, що ці керівні принципи не є юридично обов'язковими і стають юридично обов'язковими лише у тому випадку, якщо країна включає їх у своє законодавство. В даний час багато країн та організацій прийняли ці обмеження безпеки. Наприклад, Європейська комісія використовує керівні принципи ICNIRP для написання правил про обмеження на випромінювання ЕМІ, які застосовуються в Європейському Союзі. Таким чином, більшість країн-членів прийняли ці правила, а деякі з

них навіть застосували більш суворі критерії або розробили заходи щодо їх дотримання на законних підставах Розглянемо стандарт IEEE C 95.6. Цей стандарт визначає рівні впливу захисту від несприятливого на людини електричних і магнітних полів з частотами від 0 до 3 кГц.

Що стосується тривалого впливу магнітних полів, останні огляди, що розглядаються в стандарті, такі: Міжнародна комісія із захисту від неіонізуючого випромінювання (ICNIRP), Міжнародне агентство з вивчення раку (IARC), Національна дослідницька рада США (NRS), Національний інститут наук про навколишнє середовище та гігієну США (NIEHS), Рада з охорони здоров'я Нідерландів, Інститут інженерів-електриків та Консультативна група з неіонізуючого радіолога з випромінювання (AGNIR) захисту Великобританії.

Оскільки в жодному з наведених вище оглядів не було зроблено висновку про те, що будь-яка небезпека від тривалого впливу була підтверджена, цей стандарт не пропонує нижчі межі впливу, ніж ті, які необхідні для захисту від несприятливих короткострокових ефектів. Метою цього стандарту є визначення норм впливу частотного режиму 0–3 кГц. Для імпульсних або несинусоїдальних полів може знадобитися оцінка критерію приймання на частотах, що виходять за межі цього частотного режиму, шляхом підсумовування від найнижчої частоти форми хвилі впливу до максимальної частоти 5 МГц, як зазначено в стандарті.

Таблиця 13. Максимально допустима дія синусоїдальних магнітних полів за стандартом IEEE для населення: голови та тулуба. Нотатки: f - частота в Гц; МРЕ належать до просторового максимуму.

Частота (Гц)	Магнітне поле H ($A \cdot m^{-1}$)	Щільність магнітного потоку B (Т)
$\leq 0,135$	$9,35 \cdot 10^4$	$118 \cdot 10^{-3}$

0,153 - 20	$1,44 \cdot 10^4 f$	$18,1 \cdot 10^{-3}/f$
20 - 759	719	$0,904 \cdot 10^{-3}$
759 – 3 кГц	$5,47 \cdot 10^5 f$	$687 \cdot 10^{-3}/f$

На додаток до обмежень електричного поля на місці, зібраних у стандарті, але не обговорюваних у цьому розділі, магнітне поле на місці нижче 10 Гц повинно бути обмежене піковим значенням 167 мТл для населення та до 500 мТл у контрольоване середовище. Для частот вище 10 Гц основне обмеження магнітного поля на місці не зазначено у стандарті IEEE. Таблиця 3 наведено максимально допустимі межі магнітного поля (щільність потоку B і напруженість магнітного поля H), що відповідає експозиції голови та тулуба для широкої публіки. Час усереднення для вимірювання середньоквадратичного значення (RMS) становить 0,2 с для частот вище 25 Гц. Для нижчих частот час усереднення вибирають таким, щоб у середнє включалося щонайменше п'яти циклів, але збільше 10 з. Так само в Таблиці 14 показані межі на руки і ноги, зокрема населення. Всі ці максимальні межі впливу ґрунтуються на запобіганні наступним короткостроковим реакціям.

Таблиця 14.

Максимально допустима дія синусоїдальних магнітних полів за стандартом IEEE для широкої публіки: руки та ноги. Примітка: частота в Гц.

Частота (Гц)	Магнітне поле H (Ам ⁻¹)	Щільність магнітного потоку B (Т)
$\leq 10,7$	-	$353 \cdot 10^{-3}$

10,7 – 3 кГц	-	$3790 \cdot 10^{-3}/f$
--------------	---	------------------------

Негативні дії ЕМВ на людину:

- хвороблива стимуляція сенсорних та рухових нейронів;
- порушення м'язів, що може призвести до травми під час потенційно небезпечних видів діяльності;
 - порушення нейронів або пряма зміна синаптичної активності в головному мозку;
 - серцеве збудження.

Побічні ефекти, пов'язані з індукованими потенціалами або силами, що впливають на заряди, що швидко рухаються в організмі, наприклад, у кровотоку.

Максимально допустимі значення впливу IEEE слід розуміти як ті, які є ета-лонними рівнями INCIRP. У цьому сенсі дотримання Таблиць 3 і 4 забезпечує відповідність основним обмеженням, що визначаються з погляду кількостей в організмі. Однак недотримання цих таблиць не обов'язково означає недотримання основних обмежень, а скоріше можливо необхідно оцінити, чи були дотримані основні обмеження. Для отримання додаткової інформації читач надсилається до самого стандарту.

Інформація, що міститься в таблицях 3 і 4 також показана на рисунку 4 для ясності. З іншого боку, порівняння рисунку також включені контрольні рівні ICNIRP для широкої публіки.

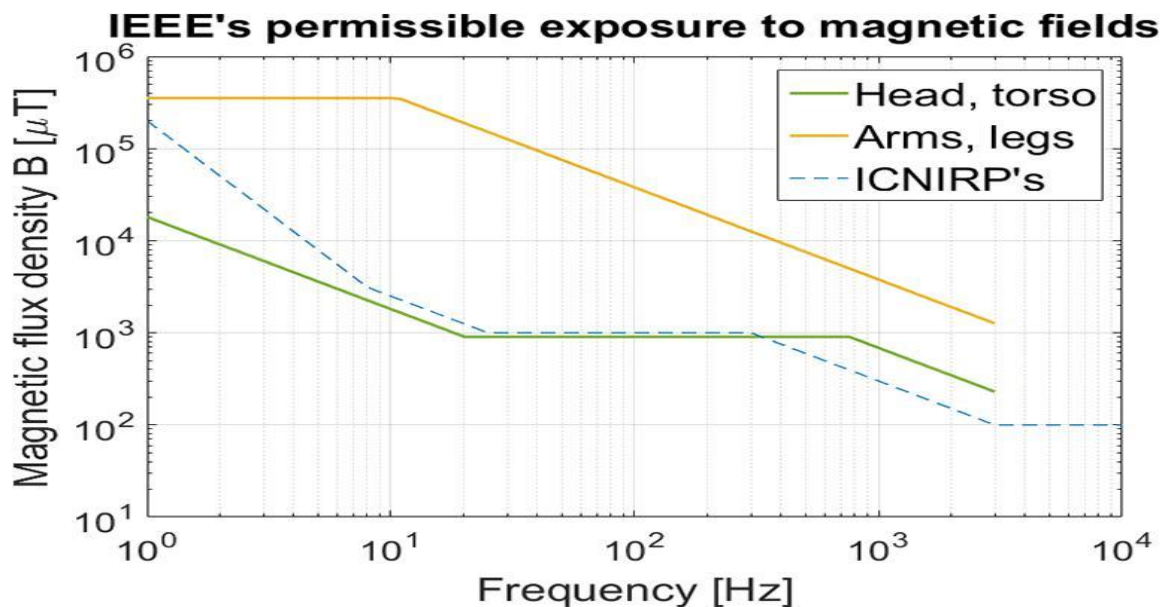


Рисунок 78 - Максимально допустима дія синусоїдальних магнітних полів згідно з IEEE залежно від частоти (до 3 кГц).

15.СУЧАСНИЙ СТАН ВПЛИВУ МАГНІТНОГО ПОЛЯ ВІД АВТОМОБІЛІВ З ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ

Цей розділ присвячений короткому огляду останніх публікацій, присвячених ЕМП та впливу магнітного поля в електромобілях. Тут також коротко викладено деякі основні висновки, зроблені під час цих досліджень. Також згадуються пов'язані публікації, наприклад, ті, які аналізують ЕМС в електромобілях або ЕМП в інших додатках.

Загалом публікацій про вплив магнітного поля на електромобілі та гібридних автомобілях небагато. Більшість робіт про електромагнітні поля та електромобілі присвячені проблемам, що належать до області ЕМС. Деякі приклади таких досліджень можна знайти. Звичайно, є кілька публікацій, присвячених ЕМП та їх потенційно небезпечним впливам на здоров'я людини як з медичної, так і з інженерної точок зору, але для інших додатків. Огляд медичної літератури, безумовно, виходить за межі цього розділу, тому для цієї мети читач надсилається до спеціалізованої бібліографії, такої як [77].

Що ж до інженерних публікацій, однією з класичних областей досліджень є лінії електропередач, підстанції та інші центри перетворення. Більшість цих робіт присвячено впливу ЕМП на робітників (тобто професійне опромінення). Медичне обладнання в лікарнях — ще один типовий приклад електромагнітної оцінки, знову ж таки з акцентом на людей, які щодня експлуатують ці машини. Зовсім недавно в деяких дослідженнях електромагнітний вплив розглядався з погляду широкої публіки, наприклад, у будинках та міському середовищі. Перші дослідження транспортних засобів, ймовірно, стосувалися електропоїздів та трамваїв, а також звичайних автомобілів на базі ДВС.

Загалом публікації про електромобілі та ЕМІ можна розділити на дві основні групи: дослідження, в яких виконуються вимірювання в транспортних засобах (експериментальний підхід), та дослідження, в яких використовуються аналітичні апроксимації або чисельне моделювання, що зазвичай засноване на методі кінцевих елементів (МКЕ) (імітаційний підхід). Ці дві групи розглядаються окремо у наступних розділах.

Однією з перших публікацій, спеціально присвячених ЕМВ в гібридних та електричних автомобілях, є публікація “Електромагнітне здоров'я”.org[60], в якому основна увага приділяється Toyota Prius 2004 року (друге покоління). Це попереднє дослідження, мотивом для якого стала стаття в пресі, опублікована в 2008 р. під назвою «Страх, але мало фактів про гібридні ризики», приходить до висновку, що виконувати повторювані та точні вимірювання в транспортному засобі, що рухається, без відповідних засобів значно складно. Значення магнітного поля, отримані в ході цього дослідження, були невисокими (завжди нижче 1 мкТл), але, можливо, вищими, ніж у звичайних автомобілів з ДВЗ. Згідно з цією роботою, задні сидіння були найбільш відкритими. Через рік, у 2009 р., було опубліковано ще два дослідження, що включали вимірювання в електромобілі та гібридному автобусі відповідно в динамічних умовах руху.

Наступні дві варті уваги публікації Ref. від 2010 р. та вих. від 2013 р. описують деякі питання, які слід враховувати під час вимірювання магнітних полів у транспортних засобах. Робота в Ref. займається в основному поїздами та трамваями, але також розглядаються і гібридні автомобілі.

У цій статті узагальнено попередні вимірювання, проведені в поїздах, локомотивах та на залізничних станціях різними дослідниками. Наведено усереднені результати щодо кожного виду транспорту, що розглядається в дослідженні: 200 поїздів і трамваїв (як міських, так і приміських), а також один гібридний вагон. Виміри поїздів і трамваїв проводилися в різних умовах: у будні та вихідні дні, вдень та вночі, усе-редині та зовні. Що стосується гібридного автомобіля, враховувалися різні положення (передня та задня частини, ліва та права сторони, рівень підлоги, сидіння та голови). Діапазон частот від 5 Гц до 100 кГц. Значення магнітного поля в автомобілі низькі (близько декількох мкТл), особливо в порівнянні з еталонними рівнями ICNIRP. хоча незрозуміло, який метод використовувався для обліку багаточастотної дії (див. підрозділ 3.1). У середньому найвищі значення магнітного поля виявили в задній лівій частині гібридного автомобіля. Максимальні рівні зареєстрованої напруженості магнітного поля випромінюються на частоті 12 Гц, що дуже низькою частотою. Про дослідження, опубліковане [57], це приклад того, як боротися з багаточастотним впливом відповідно до рекомендацій ICNIRP. Ця робота присвячена виключно електромобілям, і отримані значення магнітного поля відповідають значенням і становлять близько 15–20% еталонних рівнів ICNIRP.

В роботі також наведено результати моделювання. 2015 році було опубліковано дві журнальні статті з результатами вимірювань найрізноманітніших гібридних та електричних автомобілів. Деякі їх авторів брали участь у двох публікаціях з попереднього пункту. Дослідження включає в себе в цілому три звичайних автомобіля і вісім електромобілів, в тому числі деякі з них засновані на паливних елементах замість

акумуляторів. Були проведені як лабораторні вимірювання, так і дорожні вимірювання, і вони були зіставлені з еталонними рівнями INCIRP у широкому діапазоні частот до 10 МГц.

Транспортний засіб, який показав найвищі значення, досяг 18% рівнів ICNIRP. Не дивно, що дослідники виявили, що вплив магнітного поля був вищим у електро-мобілів, ніж у середньому у автомобілів на базі ДВС. Однак положення максима-льного впливу в кожному транспортному засобі (передня або задня частина, рі-вень стопи та сидіння) було різним. На це положення, ймовірно, впливає конфігу-рація та топологія транспортного засобу, як описано в розділі 2. У цьому дослі-дженні визначено основні джерела магнітного поля: на частотах нижче 1 Гц при-сутні сотні мкТл (скоріше за все, через струм батареї). У діапазоні від декількох Гц до 1 кГц були виявлені поля до 2 мкТл, що генеруються більшістю джерел (у статті згадуються двигун внутрішнього згоряння, кермовий насос і колеса, але, ймовірно, основні струми в інверторі та електричній машині також відповідали за це).). Нарешті, вище 1 кГц було виміряно менше 100 нТл і автори визначили ін-вертор як єдине джерело (що логічно, оскільки це єдиний пристрій силової елект-роніки в тяговому приводі).

Дослідження відкритого доступу до Ref. фокусується на дизельних, бензинових та гібридних автомобілях. Аналізується до 10 автомобілів і результа-ти узгоджуються з попередніми розслідуваннями. Результати представлені окремо

для різних сидінь та для різних типів двигунів. Загалом вплив магнітного поля був вищим у гібридних автомобілях, а потім у автомобілях з бензиновим двигуном. Автори стверджують, що вплив магнітного поля залежить від умов експлуатації (швидкість, прискорення тощо), що не дивно.

Інші дослідні проекти використовують інший підхід та аналізують пробле-му за допомогою моделювання методом кінцевих елементів (МКЕ) та навіть ана-літичних наближень. Моделювання МКЕ допомагає краще зрозуміти проблему, проаналізувати залежність впливу магнітного поля від

певних параметрів (напри-клад, шляхом аналізу чутливості) і розробити методологію прогнозування. Мож-ливість оцінити вплив магнітного поля без фактичного виконання вимірювань може бути надзвичайно корисною для розробників електромобілів. Як запропо-вано у Ref. [62], повністю робочий інструмент оцінки дозволить би оптимізувати попереднє проектування ще до створення першого прототипу, тим самим скоро-тивши час та вартість проектування.

146

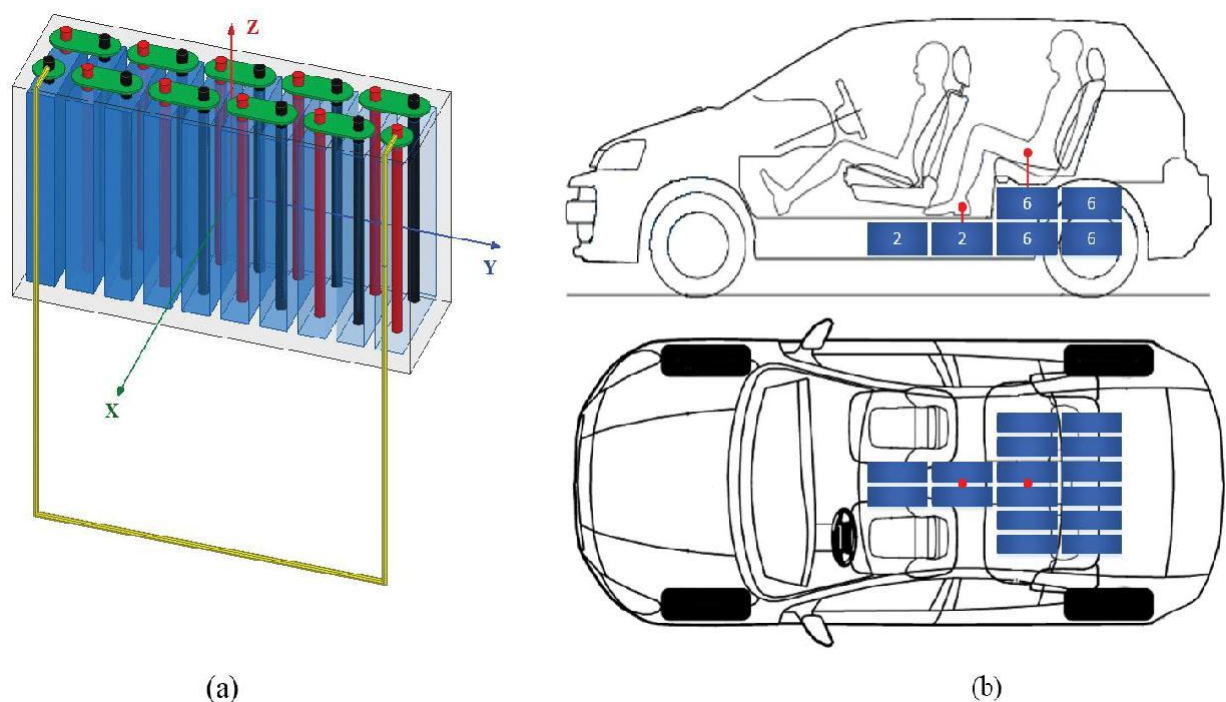


Рисунок 79 - (а) Модель FEM, використана в Ref. [64] з метою оцінки магнітного поля, створюваного одним елементом NiMH батареї. (б) Гіпотетичний акумулятор, що належить гіпотетичному електромобілю, проаналізованому в Ref. [64].

Це підхід, прийнятий у роботах[63, 64], роботи, в яких аналізується магнітне поле, створюване інвертором і батареями, відповідно, гіпотетичного електро-мобіля за допомогою моделювання методом кінцевих елементів (рис. 5). Результати моделювання підтверджуються експериментальними вимірами в обох випадках, а потім вони використовуються для оцінки найгірших робочих точок з погляду на

пасажирів. Так само в роботах [14] і [34] містять два приклади того, як симуляції МКЕ можна використовувати з метою оцінки та прогнозування (рис.79).

Із вище сказаного слід надати деякі рекомендації щодо проектування та ре-комендації відповідно мінімізації впливу магнітного поля в електромобілях. Зауважимо, що ці заходи носять суто електричний характер і тому можуть бути непридатні під час розгляду інших чинників. Вони ґрунтуються на принципі ALARP («Настільки низько, наскільки це практично можливо»). Іншими словами, мета полягає в тому, щоб підтримувати рівні впливу на розумно низькому рівні за допомогою наявних коштів як у технічному, так і в економічному сенсі.

Цей критерій дозволяє реалізувати стратегії безпеки з прийнятними витратами, та його бажано застосовувати на перших етапах проектування ЕМ та його компонентів.

Загальна рекомендація щодо проектування полягає в тому, щоб розміщувати силові пристрої та їх з'єднання як найдалі від пасажирів. Однак у цьому сенсі транспортний засіб зазвичай надає мало місця для маневру, особливо у разі гібридних електромобілів. Акумуляторна батарея, електронні перетворювачі та двигун повинні бути якомога далі від пасажирів. Акумулятори зазвичай розміщують прямо під сидіннями, щоб мінімізувати ризики у разі аварії. Однак це передбачає наближення їх до пасажирів. Має бути досягнуто компромісу.

Крім того, силові пристрої повинні бути орієнтовані так, щоб магнітне поле, що впливає на пасажирів, було зведено до мінімуму. Як описано в розділі 4, деяке силове обладнання, таке як батареї та інвертори, може генерувати сильніші поля у певних напрямках [63, 64]. Тому слід ретельно обирати їх відносний напрямок до пасажирів.

Однотипні дроти повинні розташовуватися якомога ближче один до одного: обидва дроти постійного струму повинні бути скручені разом;

аналогічно три фазні дроти змінного струму повинні бути з'єднані разом стрічкою, переважно трикутним розташуванням. Таким чином, магнітне поле, створюване кожним кабелем у салоні автомобіля, компенсуватиметься іншими.

Провід повинен бути якомога коротшим, за винятком випадків, коли це вимагає їхнього наближення до пасажирів.

Під час розміщення акумуляторів під сидінням, акумулятор можна змінити, щоб можна було розмістити клеми вниз. Це збільшило б відстань від з'єднанням штабеля до пасажирів на величину, що дорівнює висоті осередків батареї. Це дуже зручно, враховуючи, що ці з'єднання, як правило, знаходяться близько до мешканців, по них проходять струми до сотень ампер, і їх дуже складно розмістити разом, щоб магнітне поле, створюване ними всіма, компенсувалося в цілому.

Природно, хімічний склад батарей повинен допускати це перевернене положення, що не є проблемою для технологій на основі літію. Зверніть увагу, що ця дія не обов'язково збільшує відстань між пасажирами та осередками.

Завжди вітаються великі відстані між силовим обладнанням та пасажирами. Як було обговорено в розділі 2, тягові приводи на передні колеса зазвичай краще підходять для забезпечення таких великих відстаней.

У цьому сенсі технологія мотор-колеса [65] дозволяє розподіляти пристрої всередині електромобіля набагато гнучкішим чином. Місце, відведене для звичайного двигуна внутрішнього згорання, можна було б замість цього зайняти блоком батарей, а це означало б, що під сидіннями не розміщуватимуться при-строї, що генерують поле.

Чим вище напруги, тим нижчі струми і магнітне поле, але електричне поле може стати вище (враховуючи квазістатичне наближення [8], вищі напруги і вищі ЕМП мають на увазі більш високе кулонівське електричне поле, але нижчі струми вимагають нижчих значень. (Магнітні поля і, отже, менше електричне поле Фарадея під час перехідних процесів [62]). Тим не

менш, висока бортова напруга може бути небезпечною у разі аварії, тому знову потрібен компроміс.

Навколо основних пристроїв, які відповідають за магнітне поле у салоні автомобіля, можна розмістити магнітний екран. Як альтернатива, вся внутрішня частина може бути екранована, що забезпечить більш високий захист за рахунок збільшення ваги та вартості щита. В обох випадках ефективність щита визначатиметься його властивостями та особливо його товщиною. У першому випадку можна використовувати феромагнітний сплав з високою магнітною проникністю, такий як мю-метал або аналогічний [66].

Для екранування всього інтер'єру натомість рекомендуються феромагнітні листи, подібні до тих, які використовуються для екранування лікарняних палат і деяких лабораторій [67]. Зверніть увагу, що якщо частоти перемикання перевищують 100 кГц (наприклад, при використанні силових пристроїв SiC), може виникнути потреба у фарадіївському екрануванні. Вони складаються з радіочастотних екранів з міді або аналогічного матеріалу [67], таких як ті, що використовуються в мікрохвильових печах.

Вплив магнітного поля викликає зростаючу стурбованість у суспільстві. Останнім часом низькоінтенсивному опроміненню приділяється велика увага у зв'язку з його можливим небезпечним впливом на здоров'я людини у довгостроковій перспективі. Проте невизначеність висока, і ще багато досліджень. У цьому сенсі короткострокові ефекти доведені і добре відомі, тоді як довгострокові ефекти ще мають бути виявлені (хоча деякі теоретичні основи та деякі експериментальні результати вказують існування потенційно небезпечних ефектів [23]. Зокрема, щодо електромобілів результати, представлені на даний момент у науковій літературі, свідчать про те, що ця стурбованість не є науково обґрунтованою, принаймні відповідно до чинних стандартів та рекомендацій, які враховують лише короточасний вплив. У цілому нині рівні впливу електромобілів низькі проти рівнями,

рекомендованими ICNIRP і IEEE, але високі проти іншими щоденними впливами, наприклад, вдома чи роботі. Це збільшення загального впливу магніт-ного поля викликає занепокоєння, попри відсутність наукових доказів.

Невизначеність — це не єдиний тривожний аспект впливу магнітного поля в електромобілях. Деякі нові та багатообіцяючі технології, такі як силова електро-ніка SiC, можуть становити серйозну загрозу з огляду на те, що вони допускають більш високі частоти перемикання. Звичайно, тут задіяно багато аспектів, і тому потрібний глибокий аналіз, перш ніж робити якісь висновки. Однак ясно, що заміна кремнієвих IGBT на SiC MOSFET може радикально змінити спектр магніт-ного поля всередині автомобіля, на краще або на гірший бік. У цьому сенсі є кілька публікацій, які попереджають про погіршення явищ ЕМС під час використання технології SiC [68].

Як це не парадоксально, деякі наукові результати свідчать про те, що низь-коінтенсивні низькочастотні магнітні поля можуть благотворно впливати на здо-ров'я людини. Звичайно, вони зазвичай ставляться до лікування на основі ЕМП, але все ж таки мало інформації про те, що станеться з пасажиром електромобілів у довгостроковій перспективі. Інші експерти зазначили, що навіть якщо магнітні поля мають небажаний вплив на людину, цілком можливо, що наші тіла мають вбудовані механізми для компенсації цих ефектів [23]. Ще раз, потрібні подальші дослідження.

Нарешті, автори хотіли б заявити, що стиль водіння дуже впливає на вплив магнітного поля. У зв'язку з цим водії, які віддають перевагу агресивному стилю (сильні прискорення і глибоке рекуперативне гальмування), будуть піддаватися впливу сильніших магнітних полів. Ефективне водіння не тільки знижує енерге-тичну витрату та потребу в технічному обслуговуванні; це також знижує вплив магнітного поля.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кількість ДТП у світі зростає – ВООЗ. URL: <https://phc.org.ua/news/kilkist-dtp-u-sviti-zrostaе-vooz> (дата звернення: 11.09.2020).
2. Волков В.П., Комов П.Б., Комов Е.А. Организация ежедневного контроля без-опасности транспортных машин в автохозяйствах автомобильного транспорта. Збірник наукових праць ДонІЗТ. Донецьк, 2010. № 21. С. 5–22.
3. Скільки ДТП в Україні виникає через технічні несправності. URL: https://auto.24tv.ua/skilky_dtp_v_ukraini_vynykaе_cherez_tekhnichni_nespravnosti_n_16227 (дата звернення: 11.09.2020).
4. Патрульна поліція України. Статистика. URL: <http://patrol.police.gov.ua/statystyka/> (дата звернення: 11.09.2020).
5. Еннанов В. Дослідження МВС щодо основних причин ДТП. *АвтоЦентр*. 2005. № 5.
6. Техогляд скасували. Кому і скільки доведеться платити. URL: <https://www.unian.ua/economics/transport/515193-tehoglyad-skasuvali-komu-i-skilki-dvedetsya-platiti.html> (дата звернення: 11.09.2020).
7. Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо усунення надмірного державного регулювання у сфері автомобільних перевезень : Закон України від 5.07.2011 р. № 3565-VI. *Відомості Верховної Ради України*. 2012. № 5.
8. Про затвердження Порядку проведення обов'язкового технічного контролю та обсягів перевірки технічного стану транспортних засобів, технічного опису та зразка протоколу перевірки технічного стану транспортного засобу : Постанова Кабінету Міністрів України від 30.01.2012 р. № 137. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/137-2012-%D0%BF#Text> (дата звернення: 11.09.2020).
9. Головний сервісний центр МВС. Обов'язковий технічний контроль. URL: <https://hsc.gov.ua/index/poslugi/faq/obov-yazkovij-tehnichnij-kontrol-shho-tse-ta-dlya-kogo/obov-yazkovij-tehnichnij-kontrol/> (дата звернення: 11.09.2020).
10. Про дорожній рух : Закон України від 30.06.1993 р. №3353-XII. *Відомості Верховної Ради України*. 1993. № 31. С. 338.

11. Реєстр суб'єктів проведення обов'язкового технічного контролю транс-портних засобів. URL: <https://data.gov.ua/dataset/b081b611-e14f-485b-8bbb-00555859a36d> (дата звернення: 11.09.2020).
12. Мапа суб'єктів ОТК. URL: <https://hsc.gov.ua/map-otk/> (дата звернення: 11.09.2020).
13. Анисимов А.П. Экономика, планирование и анализ деятельности автотран-спортных предприятий : учебник. Москва : Транспорт, 2004. 245 с.
14. Генкин Б.М. Экономика и социология труда : учеб. Москва : НОРМА-ИНФРА М, 2008. 125 с.
15. Мороз С.М. Диагностирование при государственном техническом осмотре техническом обслуживании автомобилей. Новгород: НГТУ, 2002. 330 с.
16. Кулев М.В. Повышение эффективности функционирования диагностических линий технического осмотра транспортных средств: дис.канд. техн. Наук: Орловский государственный технический университет. Орел, 2010. 140 с.
17. Інформаційний інтернет ресурс «Interesting Engineering», 6 Interesting Statistics about Electric Vehicles–режим досту-
пу:<https://interestingengineering.com/6-interesting-statistics-about-electric-vehicles>.
18. Інформаційний інтернет ресурс «Consumer Reports» – режим доступу:
<https://www.consumerreports.org/car-safety/tesla-fires-demonstrate-challenges-firefighters-face-with-evs/>.
19. Інформаційний інтернет ресурс «Theverge» – режим доступу:
<https://www.theverge.com/2018/7/3/17530646/tesla-battery-fire-electric-vehicles-transportation-science>.
20. Інформаційний інтернет ресурс «IRS Group» – режим доступу:
<http://irsgroup.com.ua/ecars>.
21. 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.
22. Lazarenko O. Research on the Fire Hazards of Cells in Electric Car Batteries

23. O. Lazarenko, V. Loik, B. Shtain, D. Riegert // Bezpieczeństwo i technika pożarnicza – 2018. – Vol. 52. – Issue 44. – pp.58-67.

24. Лазаренко О.В. Пожежогасіння та проведення інших невідкладних робіт в електрокарах / О.В. Лазаренко, О.Д. Синельников, І.М. Биков, А.С. Кусковець /

25. Пожежна безпека : зб. наук. праць. – Львів : ЛДУ БЖД, 2019. – №34. – С. 54 - 58.

26. Інформаційний інтернет ресурс «BBC»–режим доступу:

<https://www.bbc.com/news/uk-england-merseyside-46290095>.

27. Інформаційний інтернет ресурс «Jalopnik» – режим доступу:

<https://jalopnik.com/watch-volunteer-firefighters-in-austria-extinguish-a-fire-1819665352>

28. Brennan, S., Molkov, V. Safety assessment of unignited hydrogen discharge from onboard storage in garages with low levels of natural ventilation. International Journal of Hydrogen Energy, 2013, 38(19), 8159–8166.

29. Б. Фріске, М. Клетцьку, Ф. Маузер. Тенденції у концепції транспортних засобів та розробка ключових технологій для гібридних та акумуляторних електромобілів. Всесвітній симпозіум та виставка електромобілів (EVS27), Барселона (Іспанія), 17–20 листопада 2013 р.

30. Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ). The International EMF Project 1996. Доступно за адресою: <http://www.who.int/peh-emf/project/en/>

31. Технічні характеристики автомобіля: 2012 Mitsubishi I-MiEV. Доступно за адресою: <http://carspecprice.blogspot.com.es/2012/06/2012-mitsubishi-i-miev.html>

32. Дж. Кобб. Nissan тестує Leaf Mule з запасом ходу більше ніж 250 миль з новим хімічним складом батареї. 14 червня 2015 р. Доступно за адресою: <http://www.hybridcars.com/nissan-testing-250-mile-range-leaf-with-new-battery-chemistry/>

33. Г. Пасаоглу, Д. Фіорелло, А. Мартіно, Л. Зані, А. Зубарева та К. Тіль. Моделі поїздок та потенційне використання електромобілів – результати прямого опитування у шести європейських країнах. Технологічне прогнозування та соціально-лінійні зміни, Vol. 87, випуск 0, стор. 51–59, 2014 р.

34. Г. Пасаоглу, А. Зубарева, Д. Фіорелло, К. Тіль. Аналіз європейських досліджень мобільності та їх потенціал для підтримки досліджень впливу електромобілів на потреби енергії та інфраструктури в Європі. Технологічне прогнозування та соціальні зміни, Vol. 87, випуск 0, стор. 41–50, 2014 р.

35. Джей Ді Джексон. Класична електродинаміка (3-тє вид.). Wiley, 1999.
36. Дж. Ларсон. Електромагнетизм із квазістатичної точки зору. Американський журнал фізики, том 75, випуск 3, стор 230-239, 2007 р.
37. А. Васильєв, А. Фербер, К. Верман, О. Піно, М. Шиллінг, А. Р. Раддл. Оцінка впливу магнітного поля на електромобілях. Транзакції IEEE з електромагнітної сумісності, том 57, випуск 1, стор. 35–43, 2015 р.
38. Харевені, М. Судан, М. Халгамуге, Ю. Яффе, Ю. Цабарі, Д. Намір та Л. Хейфец. Характеристика вкрай низькочастотних магнітних полів від дизельних, бензинових та гібридних автомобілів у контрольованих умовах. Міжнародний журнал екологічних досліджень та охорони здоров'я, том 12, випуск 2, стор. 1651–1666, 2015 р.
39. С. Мілхем, Дж. Б. Хетфілд, Р. Телль. Магнітні поля радіальних шин із сталевим поясом: значення для епідеміологічних досліджень. Біоелектромагнетизм, том 20, випуск 7, стор 440-445, 1999.
40. С. Станковскі, А. Кессі, О. Бешейраз, К. Мейєр-Енгель та М. Мейєр. Низькочастотні магнітні поля, індуковані намагнічування автомобільних шин. Фі-зика здоров'я, том 90, випуск 2, стор 148-153, 2006
41. Г.Шмід, Р. Убербахер, П. Гет. Вплив магнітних полів СНЧ та НЧ у гібридних та електричних автомобілях. Конференція з біоелектромагнетизму, Давос (Швейцарія), 2009 р.
42. А. Р. Раддл, Л. Лоу. Вплив каркаса кузова на низькочастотні магнітні поля силових кабелів електромобілів. Міжнародний симпозіум з електромагнітної сумісності (EMC EUROPE), Рим (Італія), 17–21 вересня 2012 р.
43. М. Йилмаз, П. Т. Крейн. Огляд топологій зарядних пристроїв, рівнів зарядної потужності та інфраструктури для електромобілів, що підключаються до мережі, та гібридних транспортних засобів. IEEE Transactions on Power Electronics, том 28, випуск 5, стор. 2151–2169, 2013
44. Г. Пистя (редактор). Літій-іонні батареї. Досягнення та додатки. Ельзевір, 2014. ISBN-13: 978-0-444-59513-3.
45. А. Остаді, М. Казерані. Оптимальний розмір акумуляторної батареї в електромобілі, що підключається. IEEE Transactions on Vehicular Technology, том 63, випуск 7, стор. 3077–3084, 2014
46. К. Раджашекара. Паралель між технологіями перетворення енергії в електромобілі та гібридні автомобілі. Журнал IEEE Electrification, том 2, випуск 2, стор. 50–60, 2014 р.

47. А. Остаді, М. Казерані. Порівняльний аналіз оптимальних розмірів гібридних систем накопичення енергії тільки на батареях, тільки на ультраконденсаторах та на батареях та ультраконденсаторах для міського автобуса. IEEE Transactions on Vehicular Technology, том 64, випуск 0, стор. 4449–4460, 2014
48. Національний інститут наук про навколишнє середовище (NIEHS). Вплив на здоров'я від впливу електричних та магнітних полів частоти лінії електропередач. 1999. Доступно за адресою: <http://nirem.fiac.cnr.it/docs/niehs99.pdf>.
49. Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ). Електромагнітні поля та здоров'я населення: вплив полів вкрай низької частоти. Женева (Швейцарія), 2007 р.
50. Міжнародна комісія із захисту від неіонізуючого випромінювання (ICNIRP). Посібник з обмеження впливу змінних у часі електричних, магнітних і електромагнітних полів (до 300 ГГц). Фізика здоров'я, том 74, випуск 4, стор 494-522, 1998
51. Ф. Барнс та Б. Гріненбаум. Деякі дії слабких магнітних полів на біологічні системи. Радіочастотні поля можуть змінювати концентрацію радикалів та швидкість зростання ракових клітин. Журнал сигової електроніки IEEE. Том 3, випуск 1, с. 60–68, 2016
52. Міжнародне агентство з вивчення раку (IARC). Неіонізуюче випромінювання, частина 1: статичні та вкрай низькочастотні електричні та магнітні поля (3-тє вид.). Ліон (Франція), 2002 рік.
53. МАІР. Неіонізуюче випромінювання, Частина 2: Радіочастотні електромагнітні поля. Ліон (Франція), 2013 рік.
54. ICNIRP. Вплив статичних та низькочастотних електромагнітних полів, Біологічні ефекти та наслідки для здоров'я (0 –100 кГц). Мюнхен (Німеччина), 2003 р. ISBN-13: 978-3-934994-03-4.
55. ВООЗ. Критерії гігієни довкілля 238. Поля вкрай низької частоти (ELF). Женева (Швейцарія), 2007 р.
56. Л. Хейфец та Р. Шимхада. Епідеміологічні дослідження електромагнітних полів дуже низької частоти. Розділ 6 у Біологічних та медичних аспектах електромагнітних полів, стор. 227–264. CRC Press, 2007. ISBN-13: 978-0-8493-9538-3.
57. ICNIRP. Заява про Посібник з обмеження впливу електричних, магнітних та електромагнітних полів, що змінюються в часі (до 300 ГГц). Фізика здоров'я, том 97, випуск 3, стор. 257-259, 2009

58. ICNIRP. Посібник з меж впливу статичних магнітних полів. Фізика здоров'я, том 96, випуск 4, стор. 504-514, 2009
59. ICNIRP. Посібник з обмеження впливу електричних і магнітних полів, що змінюються в часі (1 Гц – 100 кГц). Фізика здоров'я, том 96, випуск 6, стор. 818-836, 2010
60. Дж. Дж. Нельсон, Ст Клемент, Б. Мартель, Р. Каутц і Нельсон К.Х. Оцінка активної взаємодії медичних пристроїв, що імплантуються, в гібридних електромобілях. Міжнародний симпозіум IEEE з електромагнітної сумісності (EMC 2008), Детройт (США), 18–22 серпня 2008 р.
61. К. Джокела. Обмеження впливу імпульсних та ширококутових магнітних полів. Фізика здоров'я 2000, том 79, випуск 4, стор 373-388.
62. А. Р. Раддл, Л. Лоу, А. Васильєв. Оцінка впливу низькочастотного магнітного поля від перехідних процесів тягового струму електромобілях. Міжнародний симпозіум з електромагнітної сумісності (EMC Europe 2013), Брюгге (Бельгія), 2–6 вересня 2013 р.
63. К. Джокела. Оцінка складних ситуацій впливу ЕМП, включаючи неоднорідний розподіл поля. Фізика здоров'я, том 92, випуск 6, стор 531-540, 2007.
64. ВООЗ. Основа розробки стандартів електромагнітного поля для здоров'я. Женева (Швейцарія), 2006
65. 1999/519/ЄС. Рекомендація Ради від 12 липня 1999 про обмеження впливу електромагнітних полів на населення (від 0 Гц до 300 ГГц). Офіційний журнал Європейських спільнот, сс. 59–70, 1999 р.
66. 73. IEEE. Стандарт рівнів безпеки щодо впливу на людину радіочастотних електромагнітних полів, від 3 кГц до 300 ГГц. Стандарт IEEE C951-2005 (перегляд стандарту IEEE C951-1991), 2006
67. Комітет з можливого впливу електромагнітних полів на біологічні системи (NRC). Можливі наслідки для здоров'я від впливу побутових електричних та магнітних полів. Видавництво Національної академії, 1997р.
68. Національний інститут наук про навколишнє середовище (NIEHS). Оцінка наслідків здоров'я від впливу електричних і магнітних полів частоти ме-режі електропередач. 1998.
69. К. Олден. Вплив на здоров'я електричних та магнітних полів частоти мережі електропередач. 1999.
70. Рада охорони здоров'я Нідерландів. Вплив електромагнітних полів (0 Гц-10 МГц). Гаага (Нідерланди), 2000
71. Робоча група Інституту інженерів-електриків з біологічних ефектів. Можливі шкідливі біологічні ефекти електромагнітних полів низького рівня до ГГц. 2000.
72. Консультативна група з неіонізуючого випромінювання (AGNIR). Звіт Консультативної групи з неіонізуючого випромінювання. Електромагнітні поля ELF та ризик раку. Національна рада з радіологічного захисту, 2001 р.

73. MC Di Piazza, A. Paгуза, Г. Віталі. Ефекти активного фільтрування синфазних перешкод в асинхронних двигунах електромобілів. IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol 59, Issue 6, pp 2664-2673, 2010.

74. Д. Хамза, М. Пахлеванинежад, П. К. Джайн. Реалізація нового цифрового активного методу електромагнітних перешкод цифрового контролера постійно-го струму на основі DSP, що використовується в електромобілі (EV). IEEE Transactions on Power Electronics, том 28, випуск 7, стор. 3126–3137, 2013

75. А. Р. Раддл, Р. Армстронг. Огляд стандартів ЕМС, що діють, щодо транспортних засобів з електричними силовими агрегатами. Міжнародний симпозіум з електромагнітної сумісності (ЕМС Europe 2013), Брюгге (Бельгія), 2–6 вересня 2013 р.

76. С. Єшке, Х. Хірш. Дослідження електромагнітних перешкод тягової системи електромобіля динамічному режимі. Міжнародний симпозіум з електромагнітної сумісності (ЕМС Europe 2014), Гетеборг (Швеція), 1–4 вересня 2014 р.

77. MC Ді П'яцца, М. Місяць, Г. Віталі. Зниження електромагнітних перешкод електроприводах постійного струму за допомогою активного компенсатора синфазних перешкод. Транзакції IEEE з електромагнітної сумісності, тому 56, випуск 5.

Наукове видання

Бажинов Олексій Васильович
Кравцов Михайло Миколайович

Монографія

В авторській редакції

Друковано 09.12.2022 р

Формат 296х210. Папір офсетний. Друк ксерографічний

Наклад 20 прим. Стор. 160

ЧП Стариченко Л.А. Рег. №2683201183

М. Харків, Просп. Л. Свободи. Тел. +(380) 67-583-77-59