

Шифр: «транспортні засоби»

Експериментальне дослідження літій-іонних батарей на
пожежну безпеку

ЗМІСТ

1. Актуальність теми.....	3
2. Постановка задачі	8
3. Розв'язання задачі	8
4. Висновки	17
5. Список використаних джерел	18

Актуальність теми. Електромобіль — автомобіль, що приводиться в рух одним або декількома електродвигунами з живленням від акумуляторів або паливних елементів [1]. Електромобіль слід відрізнити від автомобілів з двигуном внутрішнього згоряння і транспортних засобів, які працюють від зовнішньої електромережі (трамваї, тролейбуси).

Термін електромобільність (англ. Electro Mobility, E-Mobility) включає в себе повністю електричні транспортні засоби, а також гібридні електричні транспортні засоби та автомобілі, які використовують технологію водневих паливних елементів. Підвидами електромобіля вважаються електрокар (вантажний транспортний засіб для руху на закритих територіях) і електробус (автобус з акумуляторною тягою).

Що стосується класифікації, то електромобілі, як і звичайні авто діляться за класами, габаритами і призначенням. З конвеєра електромашин виходять седани, універсали, мінівени, кросовери, вантажівки, автобуси, авто бізнес і економ класів, рис.1.



Рис. 1- Зовнішній вигляд електромобілів різного призначення

Класифікація електромобілів за призначенням :

До першого класу електромобілів визначають тролейбуси, трамваї, метро, поїзди, а з недавніх пір ще й екологічно чисті електроавтобуси.

Другий клас - це малогабаритні електромобілі, низької вартості, які можуть перевозити тільки двох пасажирів.

До третього класу відносять седани. Ціна на такі автомобілі достатні висока, але якість відповідає таким недешевим машинам.

Четвертий клас - це не звичний вид транспорту, так би мовити, нові, досить альтернативні і креативні машини. Електромобілі трицикли - так називають авто цього класу, незвичайні тим, що попереду у них два колеса, а зсади одне.

Гібридні електромобілі - це вже п'ятий клас екологічно чистих машин. У таких автомобілях енергія виробляється від бензинового генератора.. Цей автомобіль рухається від електричної тяги, заснованої на тому ж бензин генераторі, що призводить в рух мотор.

І останній, шостий клас - це вантажні електромобілі. Ціна на них не зовсім низька, і вони значно поступаються звичайним бензиновим вантажівкам

Німецький “Центр досліджень сонячної енергії і водню” (ZSW) оприлюднив статистику продажів електрокарів. Найбільший рівень електрифікації транспорту зафіксований цього року у Китаї, а наймасовішою моделлю стала Tesla Model 3.

Статистика ZSW наводиться за останні п'ять років. За даними організації, у всьому світі налічується вже 5,6 млн електрифікованих автомобілів різного призначення, з них 2,2 млн було придбано у 2019 році (рис.2).

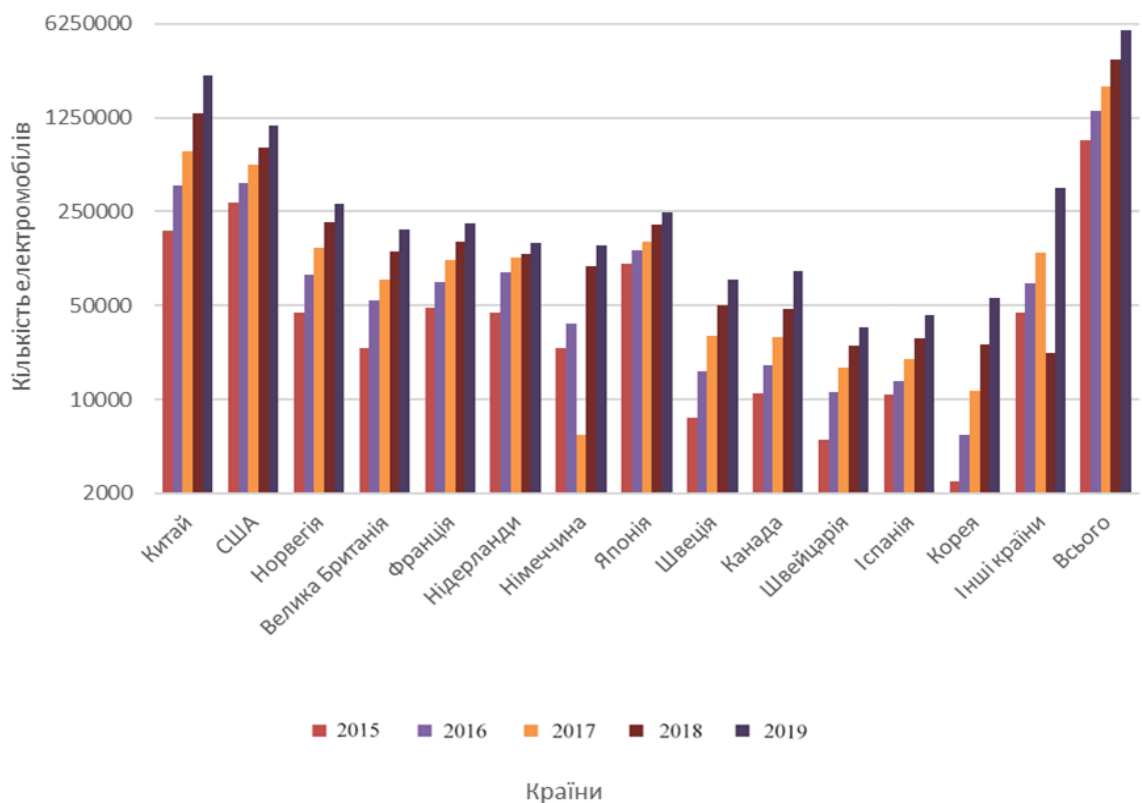


Рис. 2- Динаміка кількості продажів електромобілів з роками у певних країнах світу

Що стосується пасажирських транспортних засобів, то за даними Bloomberg NEF, у світі вже нараховується близько 400 тис. електричних автобусів в рамках систем громадського транспорту, що становить близько 20% всього комерційного пасажирського автопарку.

Для живлення тягових елементів електромобілів необхідне джерело струму. Найбільшого поширення у сучасному виробництві електромобілів, набули літій-іонні батареї. Заявлений період експлуатації таких джерел живлення становить близько 8 років, що підтверджують самі виробники.

Визначальною характеристикою для літій-іонних батарей, є вік і число циклів зарядів батареї. Середнє число повних «зарядок» сучасних акумуляторних батарей для електромобілів становить кілька тисяч циклів.

Літій-іонний акумулятор (англ. Lithium-ion battery, скорочено Li-ion) — один з двох основних типів літієвих електричних акумуляторів з категорії вторинних електричних батарей, який відрізняється з літій-полімерним акумулятором лише типом електроліту, що використовується при їх виготовленні [2].

Крім цього важливу роль грає коректна експлуатація АКБ, яка включає:

- правильну зарядку і розрядку батарей;
- розумну експлуатацію в зимовий період;
- грамотний розрахунок продуктивності;
- температурний режим використання;

-використання ПЗ для визначення стану батарей, яка показує, які клітинки акумуляторів биті, а які живі.

Порушені вимоги до експлуатації літій-іонних батарей, а також їх функціонування призводить до жахливих не передбачуваних наслідків рис.3, а саме: займання електромобілів, самокатів, гаджетів, побутової електроніки, що призводить до матеріальних втрат та людських жертв.





Рис. 3- Зовнішній вигляд займання електротранспорту

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є розкриття особливостей впливу температури і дії відкритого полум'я на літій-іонні батареї.

Для реалізації поставленої мети було передбачено виконання таких задач:

- проаналізувати тенденцію використання літій-іонних батарей у приладах та пристроях сьогодення;

- провести експериментальне дослідження з визначення температури руйнування корпусу, виходу газів та загоряння літій-іонних батарей при дії температури;

- провести експериментальне дослідження з визначення температури руйнування корпусу, виходу газів та загоряння літій-іонних батарей при дії відкритого полум'я;

- провести експеримент з визначення температури руйнування і загоряння типових літій-іонних батарей різного ступеня заряду;

- здійснити аналіз впливу температури та відкритого полум'я на літій-іонні батареї;

Об'єкт дослідження – літій-іонні батареї .

Предмет дослідження – вплив температури та відкритого полум'я на літій-іонні батареї.

Методи дослідження. Експериментальні дослідження проводилися з використанням метрологічного атестованого обладнання і повірених засобів вимірювання.

Наукова новизна одержаних результатів.

Набуло подальшого розвитку уявлення про вплив температури та відкритого полум'я на літій-іонні батареї.

Постановка задачі. Для визначення небезпеки загоряння літій-іонних батарей необхідно оцінити їх температуру руйнування, вихід газів, та температуру займання. Такі умови доцільно досліджувати шляхом проведення експериментальних досліджень із використанням метрологічного атестованого обладнання і повірених засобів вимірювання.

Розв'язання задачі. Дослід проводився в сертифікованій лабораторії Львівського державного університету безпеки життєдіяльності. Для дослідження були вибрані літій-іонні батареї.

Хімічний склад, експлуатаційні характеристики, вартість та безпечність акумуляторів відрізняються залежно від типу літій-іонних акумуляторів. Найбільш поширеним є акумулятори з катодом на оксиді кобальта (LiCoO_2), що мають високу енергетичну густину, але мають недолік з точки зору безпеки експлуатації, особливо при пошкодженні. Літій-ферум-фосфатні (відомі як літій-залізо-фосфатні, LiFePO_4), літій-манган-оксидні (LiMn_2O_4 , Li_2MnO_3 або літій-манганові акумулятори LMO) та літій-нікель-манган-кобальт-оксидні (LiNiMnCoO_2 чи NMC) акумулятори, що теж названі за типом катоду, пропонують нижчі рівні енергетичної густини, але мають довший життєвий цикл та безпечніші з хімічної точки зору. Такі акумулятори широко застосовуються в електроінструментах, медичному обладнанні та ін. NMC, зокрема, є лідером за використанням у автомобільній промисловості. Літій-нікель-кобальт-алюміній-оксидні (LiNiCoAlO_2 або NCA), що теж названий за катодом, та літій-титанатові ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ чи LTO) акумулятори (назва останнього за анодом), спеціально розроблені для певних інших ролей.

Більшість літій-іонних акумуляторів працює на графітних електродах кобальтатов літію з напругою в 3,6В. Також існують літієві джерела живлення, які розрізняються по внутрішніх компонентів на такі типи:

-Нікель-кобальт-марганцеві. Використання кобальту, який трохи дорожче марганцю збільшує термін експлуатації батареї. Невеликим недоліком батарей, вважається їх чутливість до високих температур.

Нікель-кобальт-алюмінієві. За своїми параметрами схожі з п.1, але дешевше завдяки заміні дорого марганцю, алюмінієм.

На основі сплаву фосфат заліза. Надійні та стабільні в експлуатації, проте акумуляторів такого типу потрібно більше, оскільки вони функціонують на зниженій напрузі.

Відзначимо, що перевага віддається літій-іонним джерел живлення, зважаючи на їх більшої місткості і віддачі енергії. Саме вони позиціонуються, як головний тип акумуляторних батарей для електромобілів.

Дослід проводили у спеціальному приміщенні з сертифікованим обладнанням над літій-іонних батареях.

Дослідженню піддавалися зарядженні та розрядженні літій-іонні батареї. Ступінь зарядження батарей визначали вольтметром з рівномірною шкалою від 0 до 6 В з ціною поділки 0,2 В.

На першому етапі, відбувалося нагрівання заряджених батарей на установці зовнішній вигляд якої зображений на рис.4.

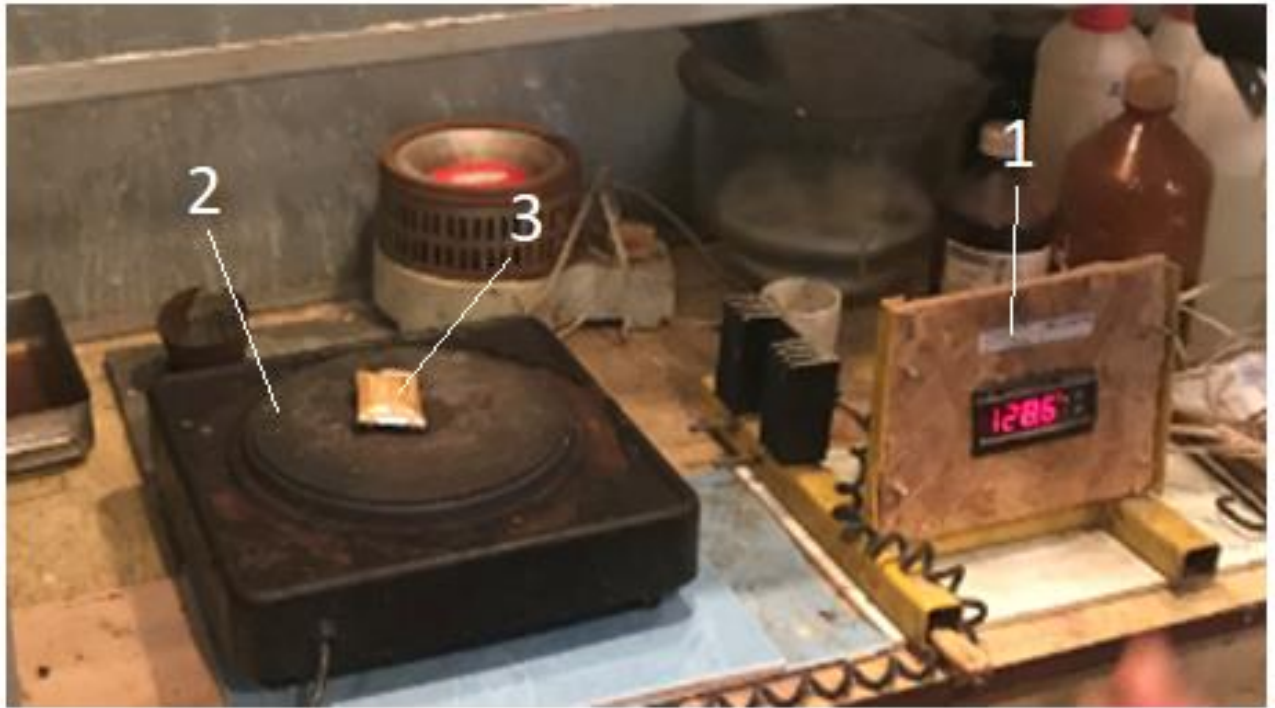


Рис. 3 – Зовнішній вигляд дослідженої установки

1 – термопара, 2 – електронагрівальна плита, 3 – літій-іонна батарея

В якості нагрівального елемента використовувалася електрична електронагрівальна плита потужністю 3 кВт. Температура визначалася за допомогою термоперетворювача хромель-алюмель (ТХА термопари клас 1) та регулятора-вимірювача температур РТ-0102, час фіксувався Секундомір СОП. Характеристики вище названих приладів та обладнання наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Характеристик приладів та обладнання

№ з/п	Найменування приладу чи обладнання	Заводський номер	Границя вимірювання	Клас точності або похибка засобів	Дата наступної

				вимірюваль-ної техніки	атестації, повірки
1	Регулятор- вимірювач РТ 0102-8-К	10.019 10.021	Від 0 до 1200 °С	Клас точн.0,5	08.20 р.
2	Секундомір СОП	8625	Від 0 до 3600 с	2 кл	08.20 р.
3	Термопари ТХА 10	2-7	Від 0 до 800 °С	2 кл	08.20 р.
5	Ваги ТВЕ 150	049	Від 0.04 до 120.0кг	Клас точн. 4	08.20 р.

Дослідні взірці важились до і після проведення експерименту на лабораторній вазі AXIS BTU-210 рис.4.



Рис. 4 – Зовнішній вигляд ваги AXIS BTU-210.

При досягненні температури 150-175°С спостерігалось легке виділення газів з корпусів літій-іонних батарей, що піддавалися дослідженню рис.5а.



а



б

Рис.5 –Зовнішній вигляд виділення газів

При подальшому їх нагріванні до 250-260°C відбувалося руйнування корпусу і вихід під тиском газів, однак самозаймання не спостерігалось рис.5б. Гази виходили на протязі 35секунд. Після цього дія температури продовжувалася до досягнення 600°C, однак самозаймання у жодному з дослідних зразків не відбулося. Результати дослідження наведенні в табл.2, а зовнішній вигляд батарей після випробуванням наведено на рис.6.



Рис. 6 – Зовнішній вигляд батарей після експерименту

Таблиця 2

Результати дослідження літій-іонних батарей при дії температури

№ батареї	Ємність батареї, mAh	Вага батареї до руйнування, г	Зарядженн і/ незаряджені батареї	Температура руйнування корпусу, °C	Вага батареї після руйнування, г	Самозаймання при температурі 600 °C
1	2460 mAh	40,95	заряджена	260 °C	36,76	відсутнє
2	1550 mAh	32,27	заряджена	255 °C	24,6	відсутнє
3	1500 mAh	39,00	заряджена	250 °C	34,01	відсутнє
4	4000 mAh	52,72	незаряджена	260°C	38,42 гр.	відсутнє
5	1500 mAh	38.00	незаряджена	255°C	27.39 гр.	відсутнє
6	860 mAh	19.09	незаряджена	250°C	17.27 гр.	відсутнє

Встановлено, що під час нагрівання зарядженні батареї виділяють більшу кількість газів та інтенсивніше відбувається їх вихід під час руйнування корпусу. Однак ступінь заряду не впливає на температуру під час якої відбувається легке виділення газів або температуру руйнування корпусів літій-іонних батарей.

На другому етапі відбувалося нагрівання батареї при дії відкритого полум'я яке створювалося за допомогою газового пальника. Зовнішній вигляд установки наведено на рис.7.

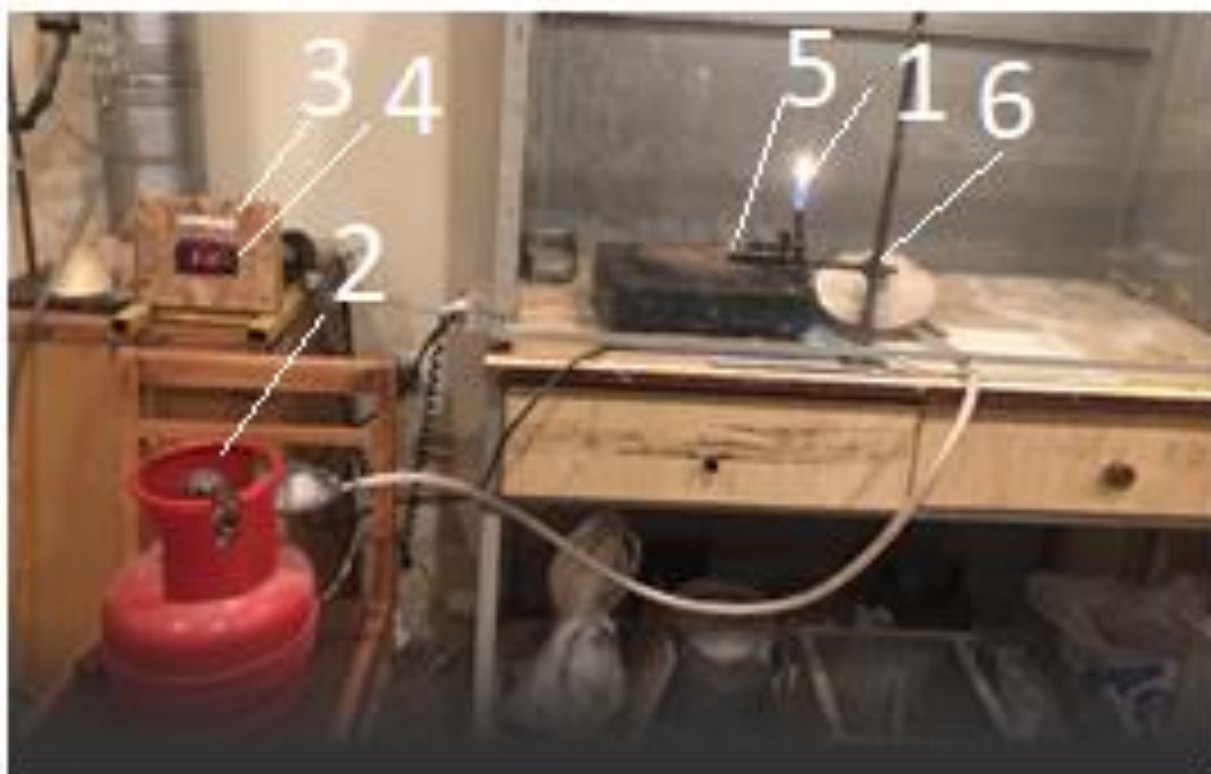


Рис. 7- Зовнішній вигляд установки, що використовувалась

Установка складається з газового пальника (1) та балона (2) в якому містився пропан-бутан, температура визначалася за допомогою термоперетворювача хромель-алюмель (ТХА термопари клас 1) (3) та регулятора-вимірювача температур РТ-0102 (4), літій-іонна батарея (5) утримувалася за допомогою штатива (6). Результати експерименту наведені в таблиці 3.

Результати експерименту при дії відкритого полум'я

№ батареї	Ємність батареї mAh	Вага батареї до руйнування г.	Зарядженні/ незаряджені батареї	Температура батареї коли спостерігався легкий вихід диму °С	Вага батареї після руйнування г.	Температура займання
1	4000 mAh	52,72	заряджена	175°С	36,42	300°С
2	1500 mAh	38.00	заряджена	160°С	25.39	303°С
3	860 mAh	17.09	заряджена	150°С	15.27	303°С
4	2460 mAh	40,95	незаряджена	165°С	36,76	305°С
5	1550 mAh	39,00	незаряджена	165°С	24,6	300°С
6	1500 mAh	37,27	незаряджена	155°С	34,01	305°С

Під час проведення дослідження при досягненні температури 130-140 °С спостерігалось легке виділення газів з корпусів літій-іонних батареї, що піддавалися дослідженню. При досягненні температури 300°С відбувалося різке займання газів та батареї. Розміри полум'я склали 0,3-0,4м. Горіння спостерігалось на протязі 8 секунд. На рис.8 наведено зовнішній вигляд батареї

до, під час і після випробування. Встановлено, що час горіння заряджених батарей у 2,5-3 рази більший ніж час горіння незаряджених батарей

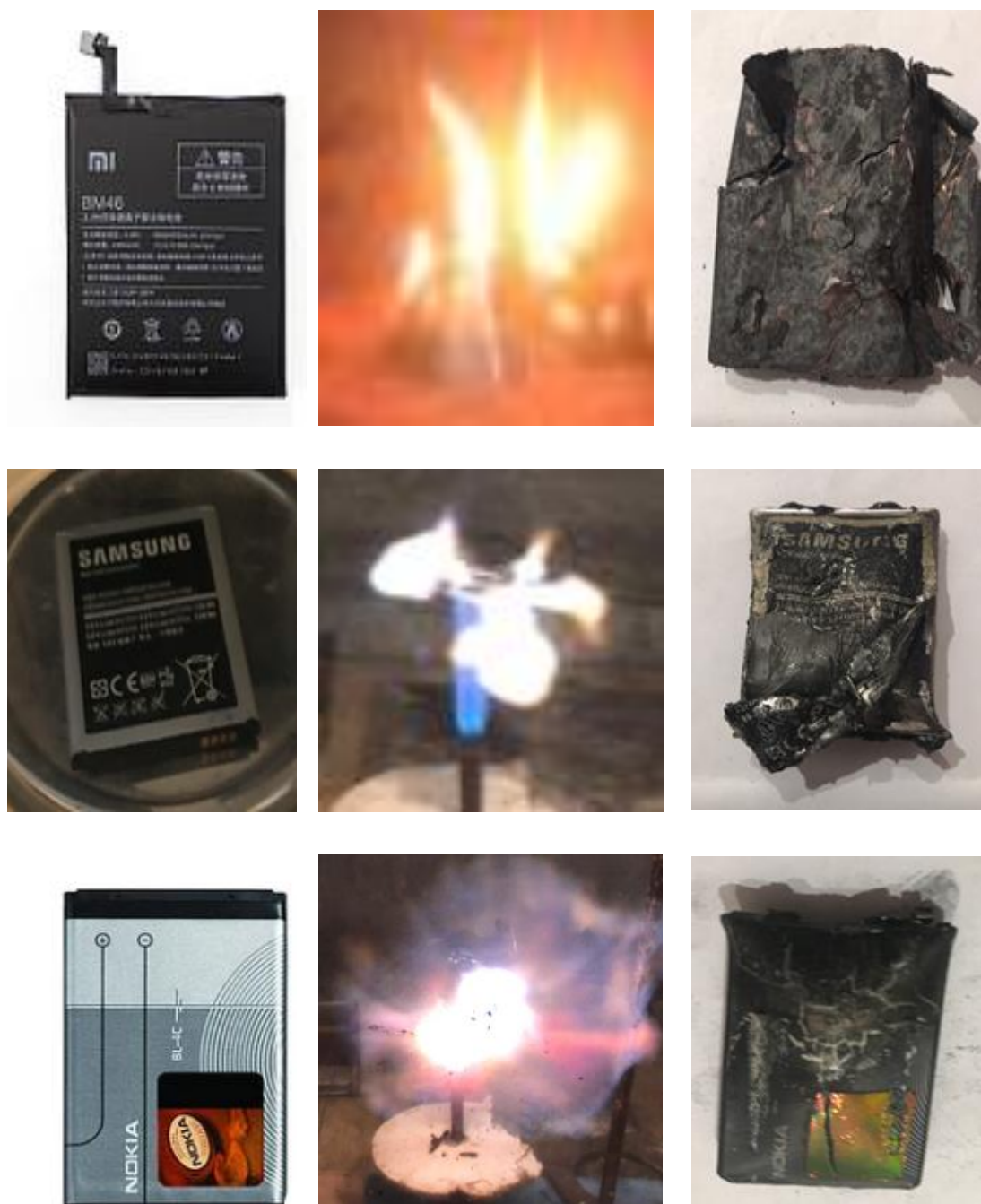


Рис. 8- Зовнішній вигляд батарей до, під час і після експерименту

Висновки

За результатами проведення дослідження розкрито особливості впливу температури і дії відкритого полум'я на літій-іонні батареї.

Проведено аналіз використання літій-іонних батарей на підставі якого встановлено, що літій-іонні батареї бурхливо поширюються у пристроях та приладах зокрема лише електромобілів налічується понад 5,6 млн. одиниць.

На підставі експериментальних досліджень встановлено що при дії температури вже при досягненні 130-140°C відбувається легкий вихід газів, а вже при температурі 250-260 повне руйнування корпусу батареї. При подальшому нагріванні до 600°C самозаймання не спостерігалось.

При дії відкритого полум'я легке виділення газів спостерігалось вже при температурі батареї 150-170°C . При досягненні температури 300-305°C відбувалося руйнування корпусу батареї і інтенсивне виділення газів та їх займання, час горіння складав в середньому 8 с., а довжина полум'я 0,3-04 м., для заряджених батарей. Встановлено, що час горіння заряджених батарей у 2,5-3 рази більший ніж час горіння незаряджених батарей.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Державна наукова установа «енциклопедичне видавництво» за участі Інституту програмних систем НАН України, 2015-2019 Powered by MediaWiki.
2. G. B. Selden, US Patent 549160A, 1895.
3. D. A. Kirsch, *The Electric Vehicle and the Burden of History*, Rutgers University Press, Piscataway, NJ 2000.
4. Інтернет джерело: <https://nachasi.com>
5. Інтернет джерело: <https://arstechnica.com>
6. Інтернет джерело: <https://global.Nissannews.com>
7. Інтернет джерело: <https://hybridCars.com>
8. Інтернет джерело: http://euroavto.in/avto-stati/923-klassifikacija_electromobiley.html
9. . Tran, D. Banister, J. D. Bishop, M. D. McCulloch, *Nat. Clim.* [90] M. Tran, D. Banister, J. D. Bishop, M. D. McCulloch, *Nat. Clim. Change* 2012, 2, 328.
10. J. Tomić, W. Kempton, *J. Power Sources* 2007, 168, 459.
11. a) F. Mwasilu, J. J. Justo, E.-K. Kim, T. D. Do, J.-W. Jung, *Renew. E.-K. Kim, T. D. Do, J.-W. Jung, Renew. Sust. Energy Rev.* 2014, 34, 501; b) M. Longo, D. Zaninelli, F. Viola, *Sust. Energy Rev.* 2014, 34, 501; b) M. Longo, D. Zaninelli, F. Viola, *Sust. Energy Rev.* 2014, 34, 501; b) M. Longo, D. Zaninelli, F. Viola, *Sust. Energy Rev.* 2014, 34, 501; b) M. Longo, D. Zaninelli, F. Viola, P. Romano, R. Miceli, presented at 2015 Tenth Int. Conf. on .
12. Інтернет джерело: <https://auto.24tv.ua/>
13. Шембель, О. М. Основні характеристики сучасних хімічних джерел струму різних електрохімічних систем : [укр.] / О. М. Шембель, В. А. Білогуров // *Сучасна спеціальна техніка.* — 2009. — № 2(17). — С. 66—86.
14. Armand, M. & Tarascon, JM. Створення кращих батарей. *Природа* 451 , 652–657 (2008).
15. Речам, Н. та ін. Інотермальний синтез індивідуальних порошків LiFePO₄ для літій-іонних акумуляторних батарей. *Хім. Матер.* 21 , 1096–1107 (2009).

16. Хайжун Ю, Йонг-Гі, Ян Рень, Тяньхао Ву, Генкай Го, Руджуан Сяо, Джун Лу, Хонг Лі, Юбо Ян, Хаошен Чжоу, Руджі Ван, Халил Амін, Юічі Ікухара . Еволюція температурно-чутливої структури літєво-марганцевих багат шарових оксидів для літій-іонних акумуляторів. Журнал Американського хімічного товариства 2018 , 140 (45), 15279-15289. DOI: 10.1021 / jacs.8b07858.
17. К. Чау, Ю. Вонг, С. Чан, Енергетика *Convers. Manag.* 1999 року, 40, 1021

Анотація

Назва наукової роботи: Експериментальне дослідження літій-іонних батарей на пожежну безпеку

Напрямок дослідження: пожежна безпека

Актуальність теми. Електромобіль — автомобіль, що приводиться в рух одним або декількома електродвигунами з живленням від акумуляторів або паливних елементів. Електромобіль слід відрізнити від автомобілів з двигуном внутрішнього згоряння і транспортних засобів, які працюють від зовнішньої електромережі (трамваї, тролейбуси).

Термін електромобільність (англ. Electro Mobility, E-Mobility) включає в себе повністю електричні транспортні засоби, а також гібридні електричні транспортні засоби та автомобілі, які використовують технологію водневих паливних елементів. Підвидами електромобіля вважаються електрокар (вантажний транспортний засіб для руху на закритих територіях) і електробус (автобус з акумуляторною тягою).

Для живлення тягових елементів електромобілів необхідне джерело струму. Найбільшого поширення у сучасному виробництві електромобілів, набули літій-іонні батареї. Заявлений період експлуатації таких джерел живлення становить близько 8 років, що підтверджують самі виробники.

Літій-іонний акумулятор (англ. Lithium-ion battery, скорочено Li-ion) — один з двох основних типів літійових електричних акумуляторів з категорії вторинних електричних батарей, який відрізняється з літій-полімерним акумулятором лише типом електроліту, що використовується при їх виготовленні.

Порушені вимоги до експлуатації літій-іонних батарей, а також їх функціонування призводить до жахливих не передбачуваних наслідків, а саме: займання електромобілів, самокатів, гаджетів, побутової електроніки, що призводить до матеріальних втрат та людських жертв.

У зв'язку з цим виникає задача визначення особливостей впливу температури і дії відкритого полум'я на літій-іонні батареї.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є розкриття особливостей впливу температури і дії відкритого полум'я на літій-іонні батареї.

Для реалізації поставленої мети було передбачено виконання таких задач:

- проаналізувати тенденцію використання літій-іонних батарей у приладах та пристроях сьогодення;

- провести експериментальне дослідження з визначення температури руйнування корпусу, виходу газів та загоряння літій-іонних батарей при дії температури;

- провести експериментальне дослідження з визначення температури руйнування корпусу, виходу газів та загоряння літій-іонних батарей при дії відкритого полум'я;

- провести експеримент з визначення температури руйнування і загоряння типових літій-іонних батарей різного ступеня заряду;

- здійснити аналіз впливу температури та відкритого полум'я на літій-іонні батареї;

Методи дослідження. Експериментальні дослідження проводилися з використанням метеорологічного атестованого обладнання і повірених засобів вимірювання.

Наукова новизна одержаних результатів. Набуло подальшого розвитку уявлення про вплив температури та відкритого полум'я на літій-іонні батареї.

Структура й обсяг роботи: наукова робота складається з усіх регламентованих структурних частин, містить 8 рисунків та 3 таблиці, а також 17 посилань на використані джерела. Загальний обсяг роботи – 19стор.

Висновки: За результатами проведення дослідження розкрито особливості впливу температури і дії відкритого полум'я на літій-іонні батареї.

Проведено аналіз використання літій-іонних батарей на підставі якого встановлено, що літій-іонні батареї бурхливо поширюються у пристроях та приладах зокрема лише електромобілів налічується понад 5,6 млн. одиниць.

На підставі експериментальних досліджень встановлено що при дії температури вже при досягненні 130-140°C відбувається легкий вихід газів, а вже при температурі 250-260 повне руйнування корпусу батареї. При подальшому нагріванні до 600°C самозаймання не спостерігалось.

При дії відкритого полум'я легке виділення газів спостерігалось вже при температурі батареї 150-170°C . При досягненні температури 300-305°C відбувалося руйнування корпусу батареї і інтенсивне виділення газів та їх займання, час горіння складав в середньому 8 с., а довжина полум'я 0,3-04 м., для заряджених батарей. Встановлено, що час горіння заряджених батарей у 2,5-3 рази більший ніж час горіння незаряджених батарей.

Ключові слова: літій-іонні батареї, пожежа, електромобілі, температура руйнування корпусу батарей.